



doi: 10.18720/CUBS.77.1

## Качественная оценка стоимости ремонта исторических зданий при использовании систем автоматизированного мониторинга

### Qualitative assessment of the cost of repair of historical buildings using automated monitoring systems

А.О. Мохирева<sup>1\*</sup>, Е.А. Глебова<sup>2</sup>, П.В. Логинова<sup>3</sup>,  
Л.Г. Назинян<sup>4</sup>

<sup>1-4</sup>Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия

A. Mohireva<sup>1\*</sup>, E. Glebova<sup>2</sup>, P. Loginova<sup>3</sup>, L. Nazinyan<sup>4</sup>,  
<sup>1-4</sup>Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia

#### КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

мониторинг зданий;  
BIM модель, энергетическая модель;  
Биоповреждение;  
деструкция штукатурного слоя;  
ограждающие стены;  
автоматизированный мониторинг;  
исторические здания;  
капитальный ремонт;  
реставрация

#### KEYWORDS

structural health monitoring;  
BIM mode;  
energy model;  
biodegradation;  
plaster destruction;  
masonry walls;  
automated monitoring;  
historic buildings;  
restoration keywords

#### АННОТАЦИЯ

На сегодняшний день имеется большое количество зданий, нуждающихся в реставрации. Большие расходы на данный вид работ обуславливают поиск решений по использованию систем мониторинга за состоянием зданий и сокращение расходов денежных средств. Предпринята попытка качественной оценки потенциала снижения затрат на ремонт при использовании систем автоматизированного мониторинга. Использовались проектные материалы обследований и сметной стоимости ремонта фасадов 65 исторических зданий в Санкт-Петербурге. На основе картограмм дефектов и фотофиксации определены характерные для всех подобных зданий участки наиболее вероятного появления дефектов. Выявлены ключевые показатели, определяющие появление повреждений и их развитие. К таким показателям относится влажность, изменение температуры, перемещения и загрязненность. Составлена условная схема развития и взаимосвязи повреждений, имеющих в основе действие данные четыре показателя. Исходя из характерных участков и необходимых параметров мониторинга определен принцип снижения стоимости систем мониторинга, с учетом того, что система является разрабатываемой. На основе данных из сметных расчетов о распределении затрат при ремонте выявлен объем потенциальной экономии при использовании систем автоматизированного мониторинга.

#### ABSTRACT

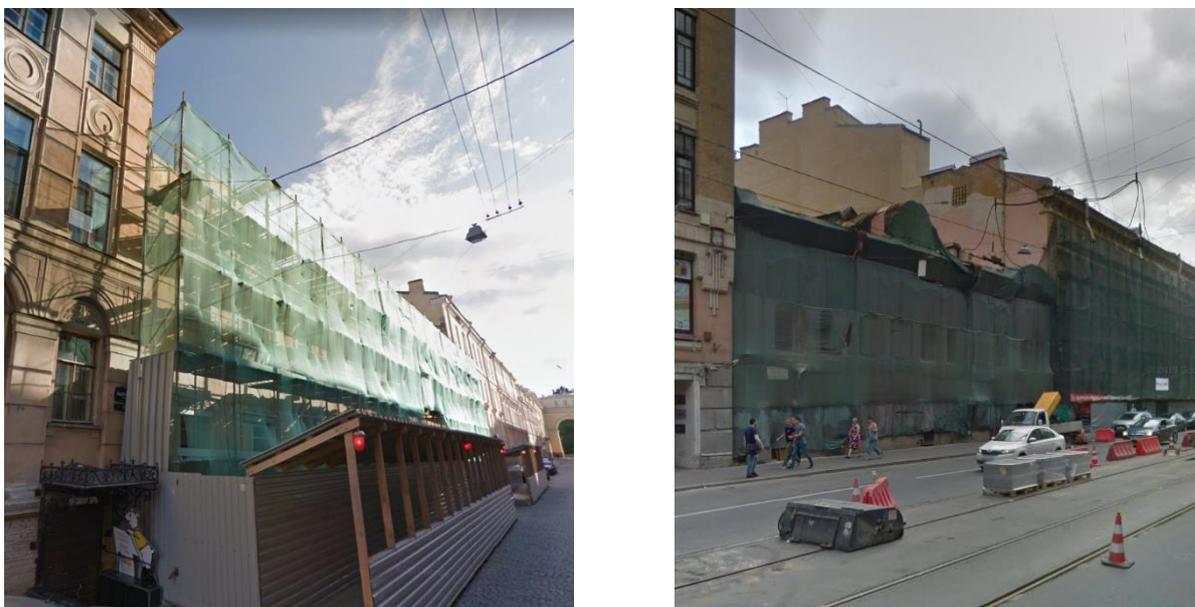
To date, there are a large number of buildings in need of restoration and repair. The high cost of these types of work leads to the search for solutions on the use of structural health monitoring (SHM) systems and reducing the cost of funds. For that reason an attempt was made to qualitatively assess the potential for reducing repair costs when using automated SHM systems. Project materials of building inspections and the estimated cost of repairing the facades of 65 historical buildings in St. Petersburg were used for analysis. On the basis of the cartograms of defects and photographic images, the areas of the most likely occurrence of defects are determined for all similar buildings. The key indicators were received, that determine the appearance of damage and their development. These indicators include humidity, temperature change, movements and pollutions. Then, a simple scheme of development and the relationship of damage, based on these four indicators, has been compiled. Based on the characteristic areas and the required monitoring parameters, the principle of reducing the cost of monitoring systems was defined. On the basis of data of the distribution of costs during repairs, the amount of potential savings in the use of automated SHM systems has been revealed.

## Содержание

1.	Введение	8
2.	Методы	9
3.	Результаты и обсуждение	10
4.	Заключение	19

## 1. Введение

Сегодня существует большое количество зданий, нуждающихся в реставрации. По данным Министерства культуры в РФ около 30000 зданий, являющихся объектами культурного наследия [1]. Кроме них существует неопределенное, но вероятно значительно большее количество зданий, построенных до 1950 года, но не включенных в перечень объектов культурного наследия. Как правило, капитальный ремонт и реставрация таких зданий требуют значительных затрат бюджетных средств, и в городах с историческими кварталами вызывают создание на улицах обстановки «вечного ремонта» (рис. 1). Из-за большого объема старого фонда сроки капитального ремонта, при котором устраняются возникающие повреждения, увеличиваются до 15-25 лет [2]. Данная ситуация в свою очередь негативно сказывается на 2 главных функциях конструкций: эстетической и несущей.



**Рисунок 1. Адмиралтейский район (слева) и Васильевский остров (справа) – районы Санкт-Петербурга, где в любой момент времени есть значительное количество ремонтируемых фасадов**

Предлагаемый адаптируемый модельный подход к мониторингу конструкций зданий значительно облегчил бы процедуру оценки состояний здания и обеспечил бы своевременное устранение повреждений [3-5]. Необходимость комплексного и своевременного мониторинга зданий обоснована в работе [6]. При тестировании новых систем мониторинга в условиях, приближенных к реальности, будет возможность избежать многих ошибок при постройке здания и проведение оценки целесообразности таких систем. Например, в работе [7] предлагается система критериев ввода в эксплуатацию на основе мониторинга, позволяющая непрерывно контролировать процесс строительства, принимать более обоснованные решения строителям при возведении здания и использовать эти результаты для эмпирического тестирования конкретных решений, уменьшая затраты временных ресурсов на их принятие.

Система мониторинга зданий способна предоставлять данные обратной связи, способствующие решению текущих проблем управления. Необходимо иметь хорошее понимание того, что работает, а что нет при эксплуатации здания [8; 9]. В работах [10, 11] представлены системы мониторинга зданий с разработкой классификаторов для обнаружения и изоляции неисправностей на основе алгоритмов нейросетевого обучения. Так же поднимается проблема связи BIM технологий с существующими системами мониторинга [12]. Появление новых методов мониторинга [13] и их анализ говорит о постепенном решении данной проблемы в сторону обязательного создания BIM-модели здания, учитывающей его энергетические, деформационно-прочностные и другие характеристики. Они очень

интересны в своем разнообразии и построения логики исследования, например в работе [14-16], ставится акцент на мониторинг условий окружающей среды за счет применения новых процессоров для правильного составления энергетической модели здания. Или совмещение методов контроля за деформациями зданий в виде установки внутренних датчиков и внешнего лазерного сканирования [17,18].

В соответствии со стратегией Европейского Союза в области сокращения энергопотребления в ближайшие годы многие здания, находящиеся в эксплуатации, будут подвергаться энергетическому наблюдению с целью получения их основных тепловых характеристик для повышения или подтверждения их энергоэффективности. Поэтому многие работы посвящены совместному применению энергетической модели и систем мониторинга здания. Основной целью их является представление новых способов отслеживания и снижения энергоресурсов здания. В данных исследованиях часто упоминается о перспективах применения данных технологий в мониторинге состояния зданий, так как слежение за условиями содержания здания позволяет сделать наиболее точный расчет его возможных повреждений, а сопоставление этих данных и данных сенсоров системы мониторинга позволит рассчитать вероятность появления того или иного повреждения. Такие исследования дают возможность получения больших объемов информации о повреждениях. Это может использоваться для разработки единой универсальной структуры системы мониторинга, которая будет применима в любых сценариях внешних воздействий и развития дефектов [19-24].

Для устранения различного рода повреждений также встает вопрос о том какие материалы будут для этого использоваться, что порождает необходимость в их исследовании. Как в работе [25], или как в работах [26-28] был предложен вариант мониторинга влажностойкости материалов на здании. Использование новых бетонных смесей [29] позволит повысить прочность и долговечность выполненных работ.

Для соответствия современным энергетическим нормам необходима комплексная оценка потенциала модернизации фасадов. Системы мониторинга, используемые на уникальных объектах, достаточно энергозатратны для массового применения в городской застройке. В то же время разрабатываемые сейчас сенсоры и системы на основе сверхпроводящего графена [30] позволяют уменьшить затраты на энергопотребление до минимального уровня, что важно и для общего повышения энергоэффективности города [31]. Применение подобных систем позволяет учитывать и количество тепла, исходящее от больших фасадных поверхностей [32-34].

Исходя из всего вышеуказанного, можно вывести основные проблемы использования систем мониторинга для исторических зданий. Это дороговизна обслуживания традиционных систем, ориентированных в первую очередь на уникальные и особо ответственные объекты. Также это отсутствие систем, которые позволяют контролировать вторичные дефекты – такие, как биопоражение, увлажнение, расслоение, утрату отделочных слоев и тому подобные, не связанные непосредственно с деформациями или трещинообразованием. Кроме того, пока не разработаны решения, обеспечивающие связь таких систем с BIM моделью здания.

Целью данной работы было определить стратегию снижения стоимости ремонтных работ для фасадов исторических зданий при использовании систем автоматизированного мониторинга. Было необходимо решить следующие задачи:

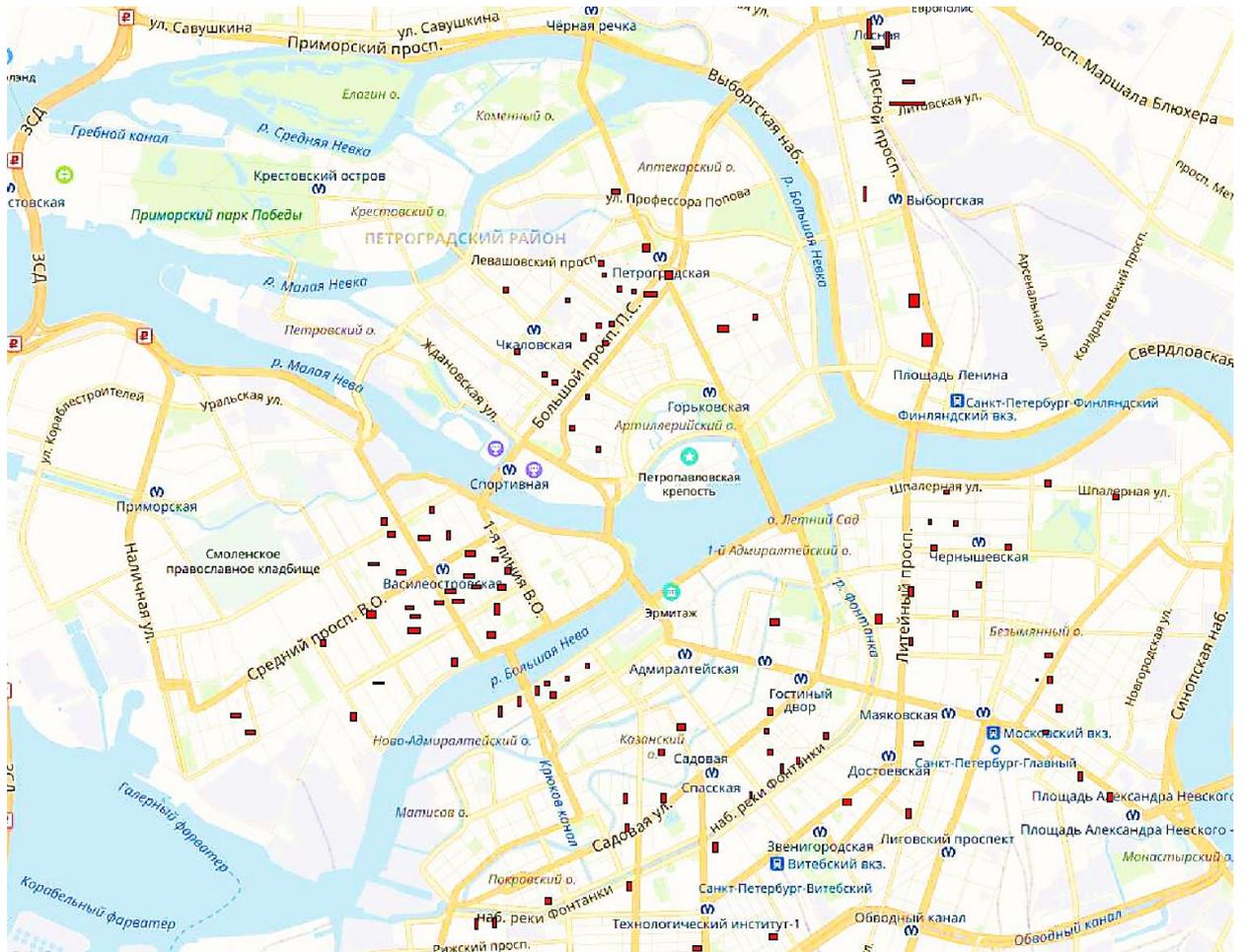
- 1) На основе материалов обследования определить типовые участки, подлежащие мониторингу;
- 2) Определить какие параметры необходимо отслеживать на каждом участке;
- 3) Определить общее количество сенсоров для системы и алгоритм их совместной работы;
- 4) Выполнить оценку снижения стоимости на основе данных о затратах на каждую зону.

## 2. Методы

Для анализа участков, подлежащих мониторингу были взяты картограммы дефектов фасадов 65 жилых домов Санкт-Петербурга, относящихся к объектам культурного наследия (рис. 2). Всего было проанализировано 224 фасада, что обеспечило достаточную статистическую выборку. Выявлялись общие для всех зданий участки расположения дефектов и повреждений, оценивалась стадийность развития и распространения каждого вида дефекта.

Для каждого из выявленных типов дефектов на основании стадийности их развития и с учетом ГОСТ 31937-2011 определялись параметры, по которым можно идентифицировать их появление и развитие.

Общее количество сенсоров системы мониторинга назначалось исходя из особенностей развития дефектов и ожидаемой площади их вероятного появления. Назначался алгоритм совместной работы сенсоров на основе технологии Интернета вещей (IoT) [35]. Такой механизм позволяет реализовывать сценарии комплексного определения состояния конструкции и выявлять ситуации, приводящие к возникновению дефектов до начала их зарождения и развития.



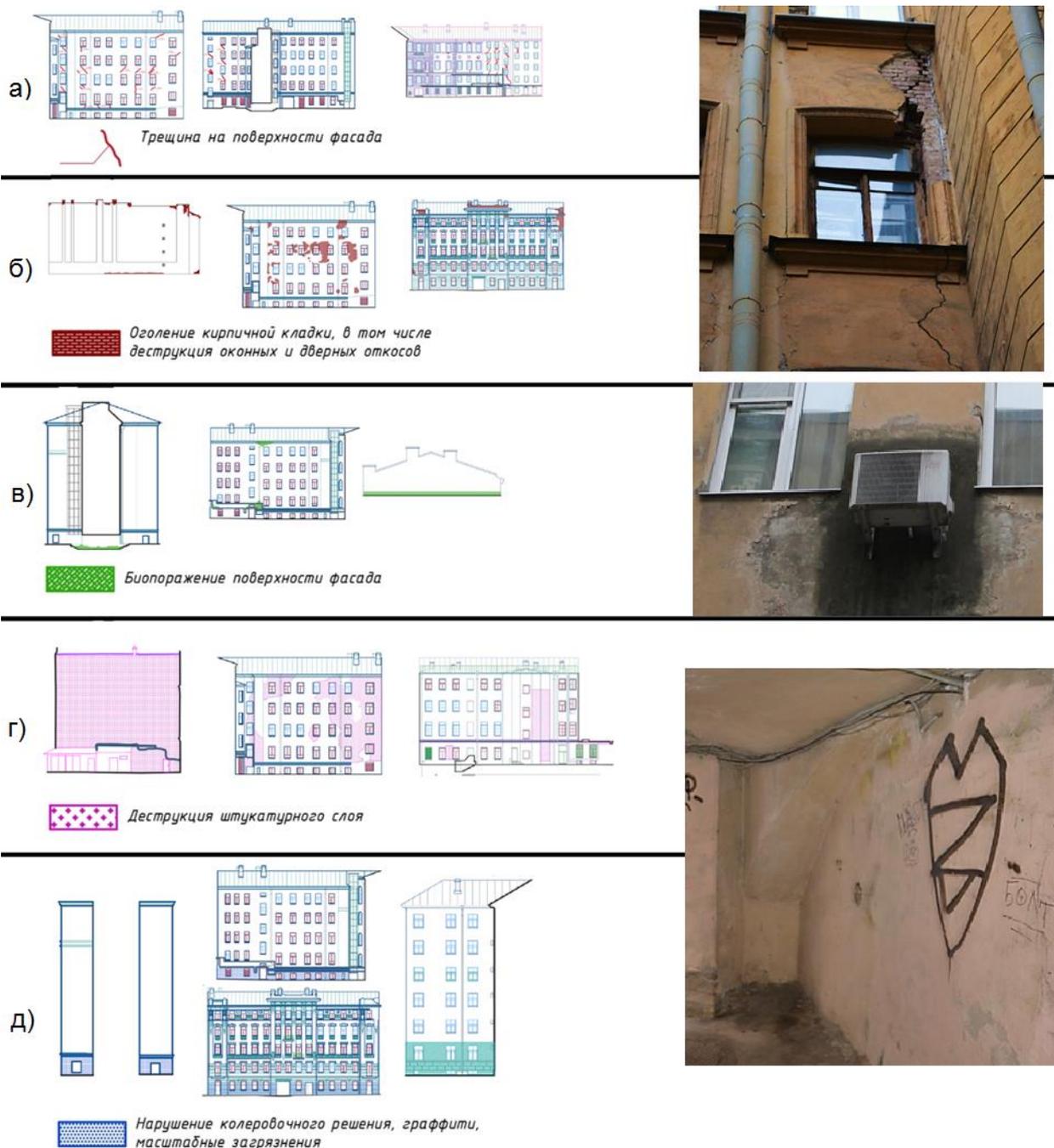
**Рисунок 2. Карта с расположением зданий, у которых проводился анализ картограмм дефектов (условно показаны прямоугольниками)**

На основании сметных расчетов по тем-же зданиям, по которым проводился анализ дефектов было получено статистическое распределение стоимости работ по различным элементам фасадов. Выводились усредненные затраты, по которым затем оценивалась возможность сокращения расходов при внедрении системы мониторинга и отказе от капитального ремонта в пользу предупреждения повреждений. Далее под долей расхода сенсоров имеется в виду использование их как фактора снижения последующих ремонтных работ за счет включения их в стоимость предустановки и возможности контролирования и анализа появляющихся дефектов. В виду их разработки на данный момент невозможно точно определить процентное снижение стоимости, но выявлено их преимущество.

### **3. Результаты и обсуждение**

Были проанализированы около 70 фасадов, для выявления общей закономерности их повреждений и предложены методы минимизирования затрат на их восстановление. Минимизация затрат основана на использовании систем автоматизированного мониторинга. Общий принцип работы системы – каждый сенсор независимо от других фиксирует состояние, затем передает данные в BIM-модель. Согласно заданным сценариям анализируются показания каждого сенсора в сочетании с показаниями ближайших к нему других сенсоров и выявляется наличие или отсутствие повреждения и динамика показателей. Далее вся расчетная стоимость будет производиться из расчета р./м<sup>2</sup>.

Примеры повреждений представлены на рисунке ниже. Исходя из обычного визуального осмотра сразу видно характерные местоположения дефектов.



**Рисунок 3. Наиболее распространенные типы повреждений фасадов исторических зданий.**

**а) Трещины; б) Оголение кирпичной кладки; в) Биопоражение; г) Бухтение и деструкция штукатурного слоя; д) загрязнения и вандализм**

На основе проведенного анализа дефектов были обнаружены закономерности расположения разрушений и их взаимосвязь, что поможет определить наиболее важные зоны мониторинга, представленные на диаграммах ниже. Из представленной диаграммы можно сделать вывод, что месторасположения оголения и эрозии кирпичной кладки будут с одной стороны совпадать с расположением разрушения штукатурки и биопоражений, т.к оно является их следствием, с другой стороны оголение кладки можно ожидать в зонах оконных и дверных проемов, месте наибольших напряжений, как следствие множественных трещин.

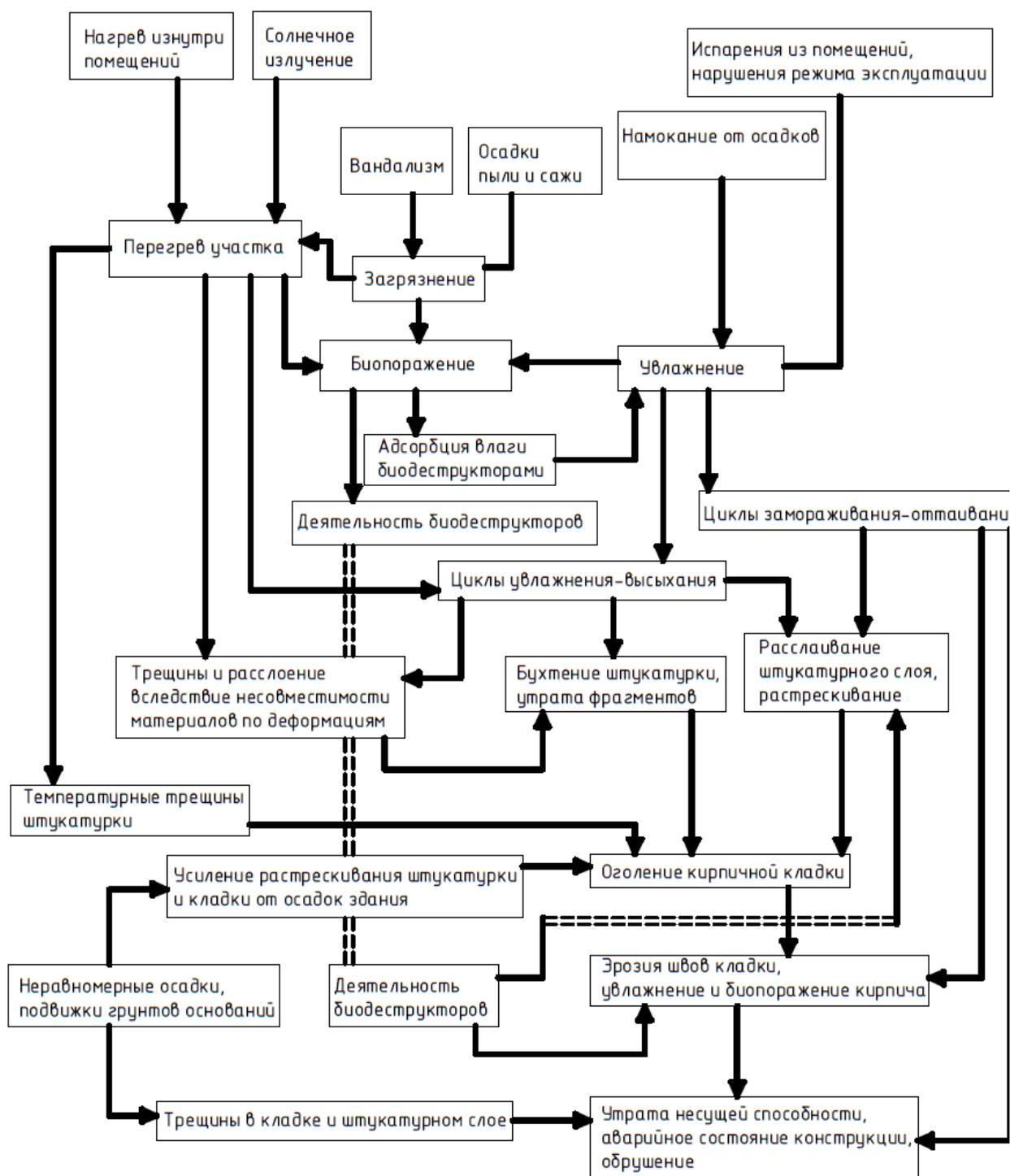
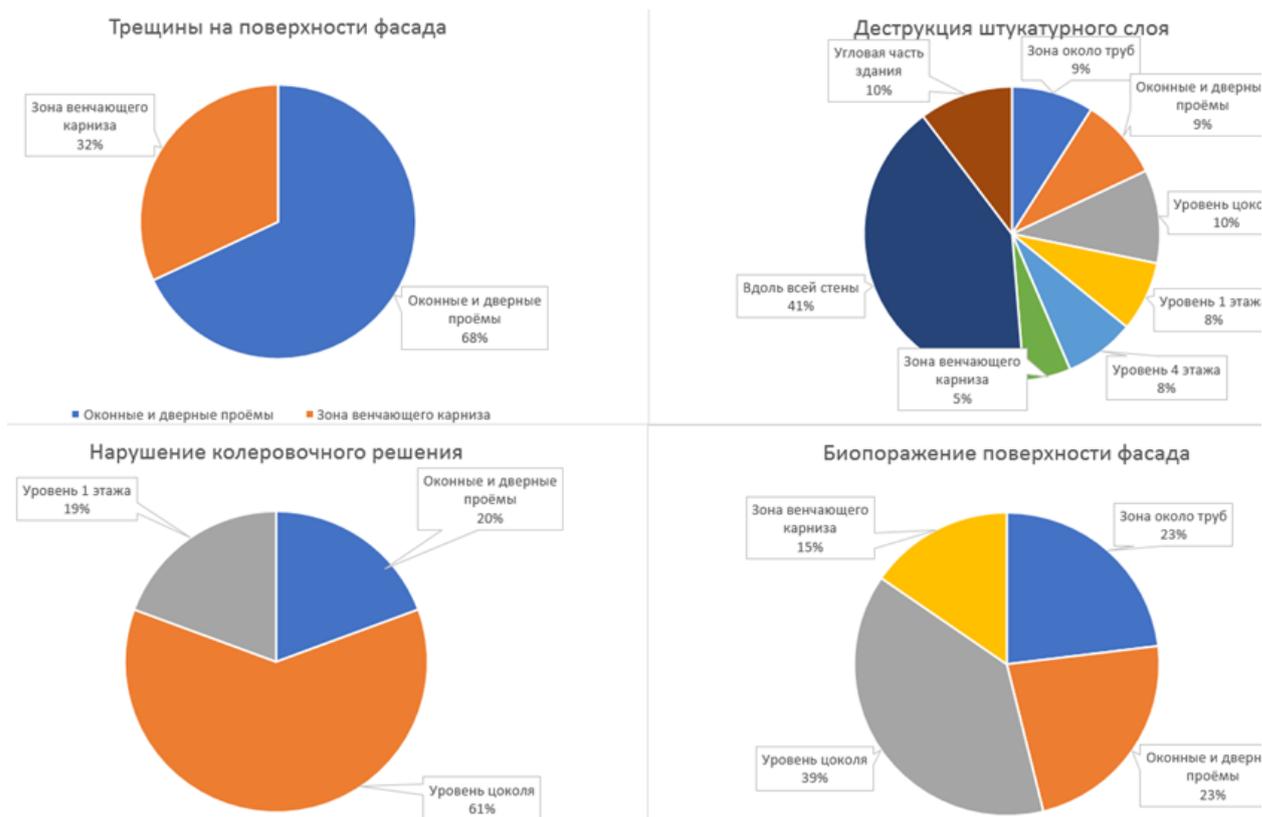


Рисунок 4. Взаимосвязь повреждений и причин их возникновения

На рис. 4 представлена попытка систематизировать взаимосвязь причин повреждений и стадии их развития. Так, биопоражение возникает при условии достаточной увлажненности. Также ему способствуют общее загрязнение (создание питательной среды и занос органических частиц) и умеренный нагрев участка. Биопоражение в результате деятельности биодеструкторов приводит к еще большему увлажнению. В результате деятельности биодеструкторов, вместе с циклами увлажнения-высыхания и замораживания-оттаивания создаются условия для растрескивания и расслаивания отделочных слоев. После повреждения отделки данные процессы продолжают на самой кирпичной кладке, снижая ее несущую способность. Одновременно с этим могут возникать температурные и осадочные трещины, которые значительно ускоряют вышеописанные процессы на участках рядом с трещинами. В итоге

совокупность этих факторов, усиливающих действия друг друга, приводит к утрате несущей способности конструкции, достижению аварийного состояния и обрушению отдельных элементов.



**Рисунок 5. Статистическое распределение повреждений по зонам**

Совместив полученные данные на рисунках 4 и 5 можно сделать выводы о том, какие способы минимизации затрат возможно применить при реставрации и эксплуатации здания. Можно минимизировать факторы, которые будут отслеживаться сенсорами. Таким образом стоимость системы будет снижена и увеличится ее надежность. Первопричины всех дефектов – это увлажнение конструкций, перегрев конструкций, загрязнение поверхности и неравномерные осадки здания. Исходя из этого, систему можно свести к четырем основным сенсорам: измерителям влажности, детекторам загрязнения, термосенсорам и датчикам деформаций.

Данные анализа картограмм дефектов фасадов были условно сведены в схему типовых участков повреждений условного фасада (рис. 6). Зона 1 характеризуется в основном увлажнением, биопоражением, зона 2 – замачивание, загрязнение, биопоражение, 3 – появление деформаций, трещин, а также биопоражения (так как по всем сторонам образуются внутренние углы, естественный концентратор биопоражения), 4 – увлажнение, биопоражение, деструкция, 5 – деформации основания, биопоражение, отлуп и сколы отдельных плиток облицовки, зона 6 – несущие конструкции балкона – появление деформаций, трещин, а также биопоражения, 7 – декоративные элементы: потеря целостности, увлажнения, загрязнения (на лицевых фасадах), 8 – деформации и трещины, 9 – вандализм, загрязнение, увлажнение. Все эти участки определяют характер применяемых на них сенсоров. Помимо этого необходима установка фоновых сенсоров в остальных участках с равномерным распределением, замеряющих относительное положение точек (для деформационной BIM модели), фиксирующих увлажнение и сцепление отделочных слоев, и служащих также узлами передачи информации от сенсоров других зон. Оценка экономии сенсоров с учетом зонирования повреждений сведена в таблицу 2. Стоимость системы с учетом зонирования составила 40% от исходной (где на 100% поверхности использовались все 4 типа датчиков).

Проведенный анализ позволил выделить 5 наиболее встречающихся видов повреждений, устраняемых в рамках ремонта или реставрации. Это трещины, деструкция штукатурного слоя, биопоражение поверхности фасада, нарушение колеровочного решения, оголение кирпичной кладки. Для их устранения необходимы крупные суммы денег. Имея доступ к сметам проектов ремонта данных зданий была выявлена средняя цифра ремонта – 20 миллионов рублей. Усредненная стоимость на 1 квадратный метр колеблется от 3000 до 6000 р в зависимости от архитектурной сложности здания. Распределение затрат, входящих в эти суммы представлено в таблице 2. На их основе появляется возможность определения возможностей для снижения затрат при использовании систем автоматизированного мониторинга.

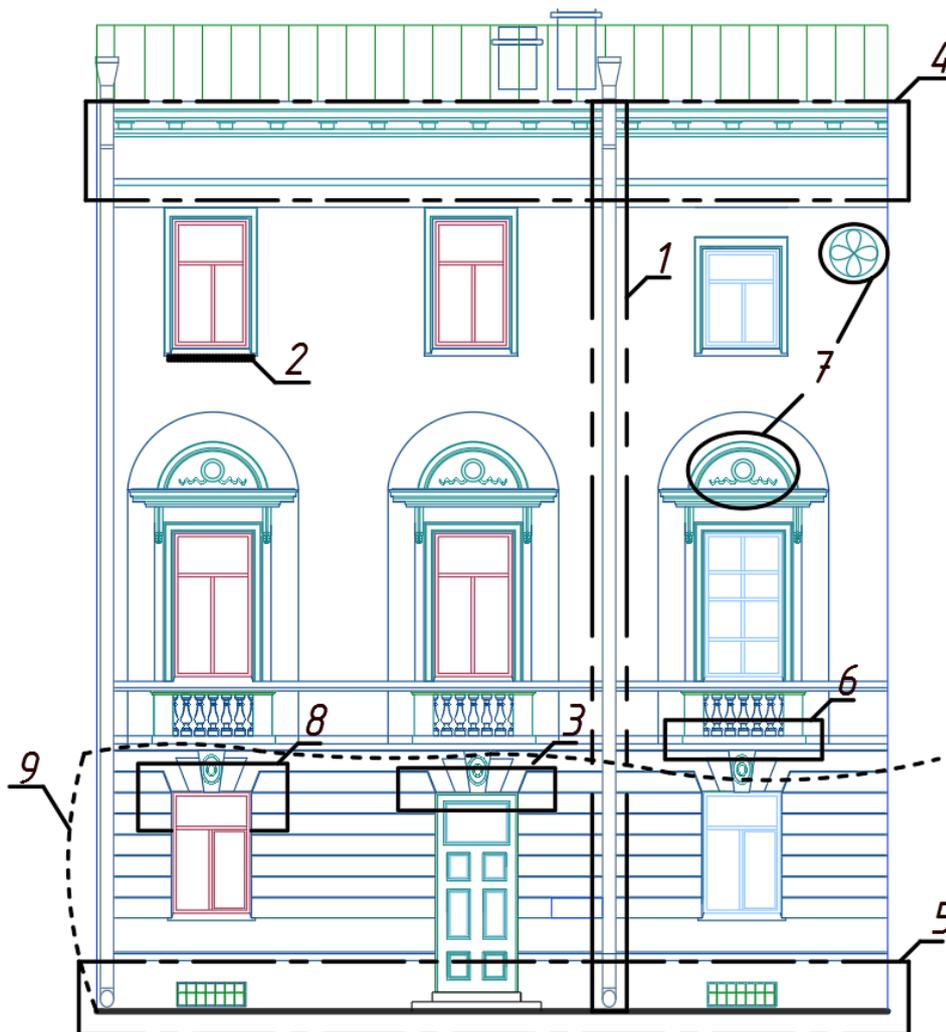


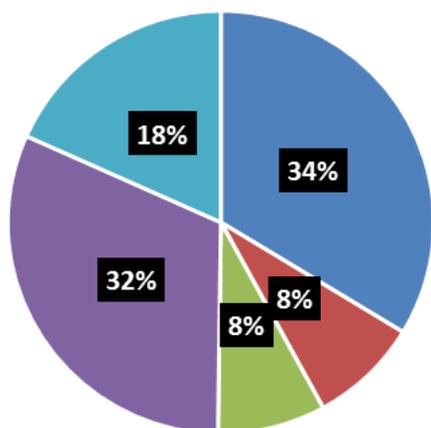
Рисунок 6. Зоны типовых повреждений фасадов: 1 – за водосточными трубами шириной до 1 м; 2 – под окнами, высотой до 60 см; 3 – консольный железобетонный козырек и прилегающая кладка стены; 4 – венчающий карниз и участок стены до 60 см под ним; 5 – цокольная кладка и облицовка; 6 – несущие конструкции балкона и прилегающая кладка; 7 – декоративные элементы; 8 – участок кладки высотой 10 см над окном, включая угловые зоны; 9 – поверхность стены в уровне первого этажа.

Таблица 1. Сокращение сенсоров на основе данных о зонировании повреждений

Зона	Процент площади	Количество сенсоров на единицу площади	Доля расхода сенсоров
1	6	1	0.015
2	8.5	3	0.06375
3	0.5	4	0.005
4	7	4	0.07
5	5	3	0.0375
6	2	4	0.02
7	5	3	0.0375
8	1	2	0.005
9	20	3	0.15
ИТОГО:			0.40375

Таблица 2. Распределение затрат и усредненная стоимость

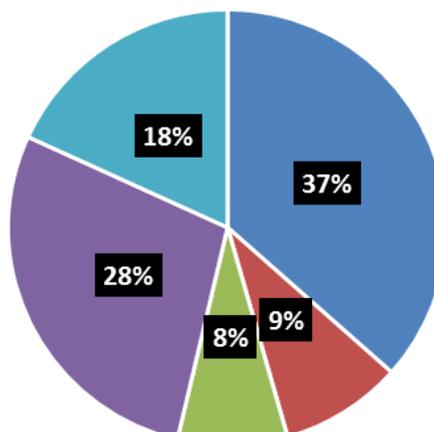
**Разные работы**



- Зарплата
- Машины и механизмы
- Материалы
- Итого накладных расходов
- Итого сметной прибыли

Средний объем: 1084,92 м<sup>2</sup>  
 Средняя стоимость: 278 360,01р.  
 Стоимость на 1 м<sup>2</sup>: 256р

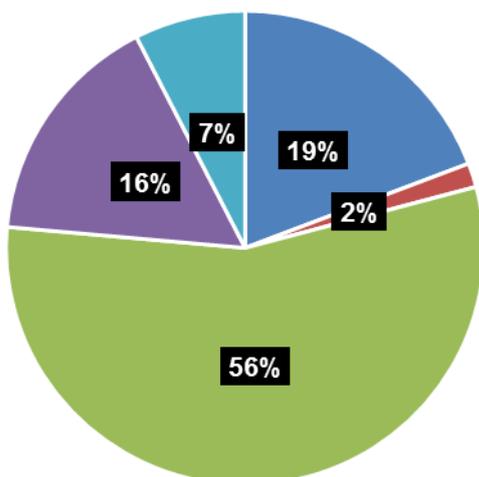
**Штукатурные элементы и кирпичная кладка**



- Зарплата
- Машины и механизмы
- Материалы
- Итого накладных расходов
- Итого сметной прибыли

Средний объем: 264,136 м<sup>2</sup>  
 Средняя стоимость: 44062,8875 р.  
 Стоимость на 1 м<sup>2</sup>: 167р

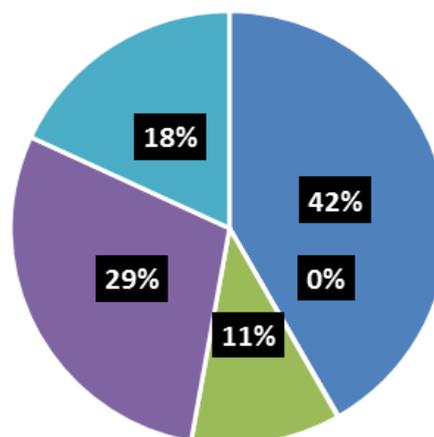
**Биоцидная и антисолевая обработка**



- Зарплата
- Машины и механизмы
- Материалы
- Итого накладных расходов
- Итого сметной прибыли

Средний объем: 401,914 м<sup>2</sup>  
 Средняя стоимость: 47682,70 р.

**Штукатурная отделка стен (гладкая поверхность)**



- Зарплата
- Машины и механизмы
- Материалы
- Итого накладных расходов
- Итого сметной прибыли

Средний объем: 1014,673 м<sup>2</sup>  
 Средняя стоимость: 599590,98 р.

Стоимость на 1 м<sup>2</sup>: 119р

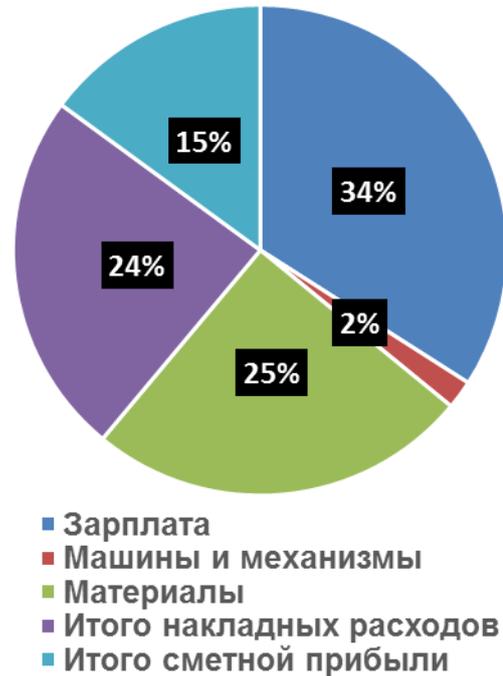
### Штукатурная отделка стен



Средний объем: 199,36 м<sup>2</sup>  
 Средняя стоимость: 127828,03 р.  
 Стоимость на 1 м<sup>2</sup>: 642р

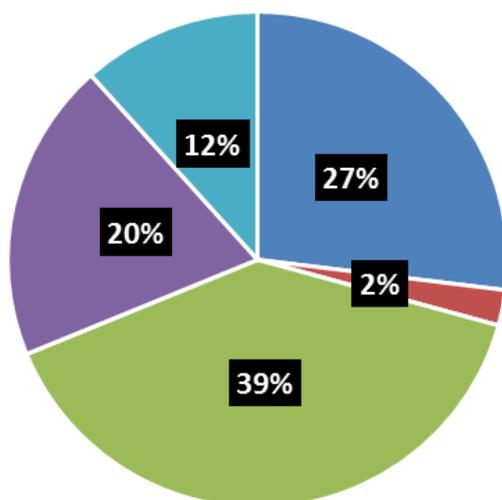
Стоимость на 1 м<sup>2</sup>: 591р

### Штукатурка карниза



Средний объем: 219,28 м<sup>2</sup>  
 Средняя стоимость: 146421,9 р.  
 Стоимость на 1 м<sup>2</sup>: 668р

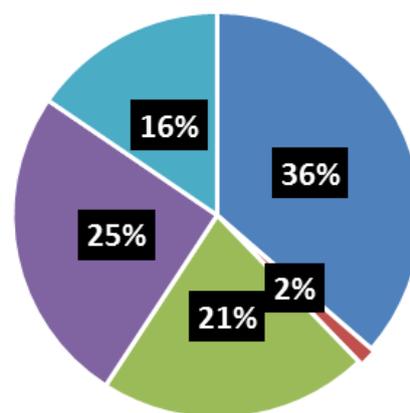
### Цоколь



- Зарплата
- Машины и механизмы
- Материалы
- Итого накладных расходов
- Итого сметной прибыли

Средний объем: 114,846 м<sup>2</sup>  
 Средняя стоимость: 74484,63 р.  
 Стоимость на 1 м<sup>2</sup>: 648р

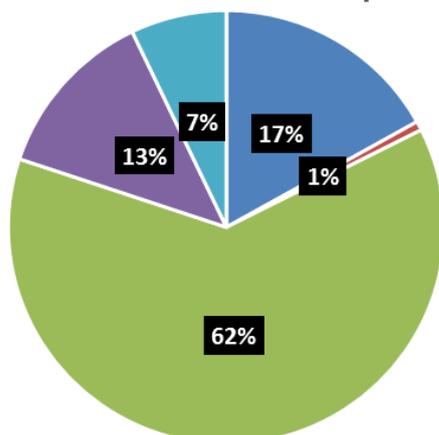
### Откосы



- Зарплата
- Машины и механизмы
- Материалы
- Итого накладных расходов
- Итого сметной прибыли

Средний объем: 185,56 м<sup>2</sup>  
 Средняя стоимость: 111856,5 р.  
 Стоимость на 1 м<sup>2</sup>: 601р

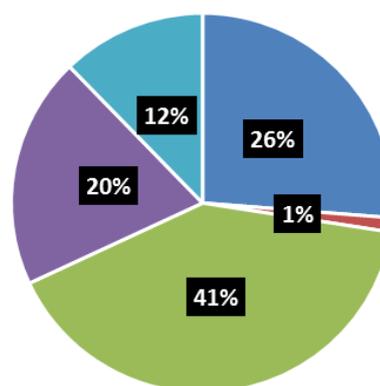
### Заполнение оконных проемов



- Зарплата
- Машины и механизмы
- Материалы
- Итого накладных расходов
- Итого сметной прибыли

Средний объем: 42,98 м<sup>2</sup>  
 Средняя стоимость: 44679,73  
 Стоимость на 1 м<sup>2</sup>: 1039р

### Единичные элементы



- Зарплата
- Машины и механизмы
- Материалы
- Итого накладных расходов
- Итого сметной прибыли

Средний объем: 213,6 м<sup>2</sup>  
 Средняя стоимость: 185326,8 р.  
 Стоимость на 1 м<sup>2</sup>: 866р

С учетом того, что данная система является разрабатываемой по результатам таблицы 1 был сделан вывод о явной выгоде при ее использовании и косвенном подтверждении выгоды использования подобных систем.

По результатам исследования 157 пунктов смет, по пунктам зарплата, машины и механизмы, материалы, итого накладных расходов, итого сметной прибыли были выявлены следующие закономерности:

Главная закономерность заключается в том, что практически половина расходов идет на сметную прибыль и на зарплату рабочим. В ряде случаев половину стоимости составляют материалы. Это связано с уникальностью необходимых объектов восстановления, например балясин, балюстрад, горельефов. Одной из самых значительных статей расходов являются прочие работы, так как главной их составляющей является установка строительных лесов, и в некоторых случаях стоимость таких работ 1100 рублей на квадратный метр. В работах по штукатурному слою стоимость материалов составляет 10-25%, в то время как затраты на данные работы составляют большую часть итоговой стоимости ремонта и реставрации.

В связи с большими затратами на проводимые работы предлагается следующий метод мониторинга зданий: установка датчиков в наиболее часто встречающихся местах возникновения дефектов, таких как цоколь, зоны венчающего карниза, угловые части здания и проемы. С их помощью будет возможно определить точечное месторасположение дефектов. При данном методе основным его достоинством является возможность существенно снизить стоимость ремонта фасада, за счет отсутствия необходимости проводить комплексные работы. Так же есть возможность отследить повреждения, которые могут вывести здание из эксплуатации. По результатам анализа была выявлена необходимость комплексного подхода к мониторингу зданий. Для предварительного расчета было принято следующее влияние системы мониторинга на стоимость ремонта:

- 1) За счет выявления точных мест повреждений вдвое уменьшается расход материала;
- 2) Затраты на машины и механизмы не изменяются;
- 3) Затраты на заработную плату также уменьшаются вдвое, соразмерно с затратами на материалы;
- 4) Сметная прибыль исключается, накладные расходы составляют 10% от исходных, поскольку ремонт назначается автоматизированным образом силами обслуживающих организаций.

Результаты пересчета сведены в таблицу 3.

**Таблица 3. Результаты оценки снижения стоимости ремонта при использовании систем мониторинга.**

Наименование работ	Объем, м2	Стоимость, р	Удельная стоимость	Удельная стоимость с системой мониторинга	Стоимость с системой мониторинга, р	Экономия, %
Разные работы	1085	278360	256	74	80550	0.71
Штукатурные элементы и кирпичная кладка	264	44063	167	53	13888	0.68
Биоцидная и антисолевая обработка	402	47683	119	51	20331	0.57
Гладкая штукатурка	1015	599591	591	157	158964	0.73
Прочая штукатурка	199	127828	642	193	38327	0.70
Штукатурка карниза	219	146422	668	210	46082	0.69
Цоколь	115	74485	648	227	26082	0.65
Откосы	186	111857	601	183	34095	0.70
Оконные заполнения	43	44680	1039	509	21892	0.51
Единичные элементы	214	185327	866	411	88029	0.53

Итого:	1660296	5597	2068	528240	0.68
--------	---------	------	------	--------	------

Выявлено, что общее снижение стоимости находится на уровне 70%, однако такой уровень требует существенного пересмотра организационно-технологических схем ремонта.

При анализе работ было выявлено 2 наиболее близких исследования этого направления. В исследовании [35] также главный акцент был установлен на сложность и большие временные затраты при мониторинге состояния здания. Но решение проблемы представлено не в понимании постоянного оффлайн контроля, а как способ облегчение работы в режиме реального времени. Работникам, проводящим обследование здания, будет предоставлена возможность на базе android устройства сканировать структурные элементы здания и автоматически выделять дефекты и их размер. Но по результатам нашего исследования, более целесообразен комплексный подход, включающий в себя сеть датчиков, которая будет передавать информацию без участия человека с постоянным онлайн доступом к данным. В области анализа данных также существует работа из США [36]. Ценность данных этого исследования для нас заключается в возможности сравнения данных с данными из другого континента. Способ проведенного ими исследования отличается от нашего, это метод экспертных оценок, и заключается в проведении опроса среди специалистов. Наиболее важным результатом является выявление всего 15% энергетически переоснащенных фасадов, мотивация ради эстетического преобразования в виде 36 процентов, что говорит о реконструкциях зданий по необходимости. Треть респондентов отметила не важность энергетической модели здания. Более чем в половине ответов респондентов в качестве основного ответа было зарегистрирована косметическая реставрация фасада и замена оконных систем. Наше статическое исследование показывает примерно те же результаты, но с точки зрения практического анализа сметных данных и зарегистрированных повреждений.

#### 4. Заключение

Прослеживается необходимость модернизации системы мониторинга зданий. Пол полученным данным схемы местоположения повреждений и ее совместного анализа с данными диаграм о стоимости работ можно прийти к выводу, о том, что главным образом нужно сокращать расходы не на материалы, а на работу сотрудников и сметную прибыль. Сделать это возможно по средствам упрощения и автоматизации системы мониторинга. То есть создания общей сетки данных о состоянии здания и своевременное прогнозирование, и устранение дефектов. На перспективу по полученным данным возможна разработка новых методов предупреждения появления дефектов в местах их наиболее вероятного месторасположения.

В результате исследования выявлено 9 характерных участков, на основе которых может базироваться мониторинг фасадов зданий. Это зоны за водосточными трубами, участки у плит балконов и козырьков, декоративные элементы, зоны цоколя и венчающего карниза, зоны под окнами и небольшой участок над окнами, а также весь уровень первого этажа. На каждом из них нужно отслеживать свои характерные показатели, что позволяет снизить стоимость системы мониторинга до 40% от исходной.

По результатам анализа дефектов и повреждений к таким показателям относятся влажность, изменение температуры, перемещения и загрязненность. Составлена условная схема развития и взаимосвязи повреждений, имеющих в основе действие данных четырех факторов.

По проведенному анализу сметных расчетов можно сделать вывод о снижении стоимости мероприятий по ремонту на 60-70% при переходе на использование систем автоматизированного мониторинга в эксплуатации зданий. Однако это потребует значительного пересмотра организационных и технологических схем, что может быть предметом дальнейших исследований.

#### Литература

- [1]. Единый государственный реестр объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) народов Российской Федерации
- [2]. Постановление Правительства Санкт-Петербурга от 18.02.2014 N 84 (ред. от 17.11.2016, с изм. от 04.12.2018) "О региональной программе капитального ремонта общего имущества в многоквартирных домах в Санкт-Петербурге"
- [3]. Першина А.С. О формировании структурного покрытия для фасадов зданий. Сухие строительные смеси. Композит XXI век (Москва). 2008. С. 12-13.
- [4]. Молотков Г.С., Подтелков В.В. Основные причины разрушения конструкций навесных вентилируемых

#### References

- [1]. Unified State Register of Cultural Heritage Objects (Historical and Cultural Monuments) of the Peoples of the Russian Federation (rus)
- [2]. Decree of the Government of St. Petersburg of February 18, 2014 No. 84 "On the regional program for the overhaul of common property in apartment buildings in St. Petersburg" (rus)
- [3]. Pershina A.S. O formirovanii strukturnogo pokrytiya dlya fasadov zdaniy [On the formation of a structural coating for the facades of buildings]. Sukhiye stroitel'nyye smesi. Kompozit XXI vek [Dry mixes. Composite XXI century]. 2008. pp. 2-13. (rus)
- [4]. Molotkov G.S., Podtelkov V.V. Osnovnyye prichiny

- фасадов «СИАЛ км» и рекомендации по их устранению. Научный журнал КубГАУ. 2015. № 107. С. 1579-1600.
- [5]. Обзоров В.И., Давидюк А.А. Анализ повреждений кирпичной облицовки фасадов каркасных зданий. Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. Российская Ассоциация по сейсмостойкому строительству и защите от природных и техногенных воздействий (Москва). 2010. С. 51-56.
  - [6]. Нугужинов Ж.С., Ережепов Б.Б., Курохтин А.Ю. Проблемы оценки физико-технических характеристик ограждающих конструкций при мониторинге жилых зданий на стадии их возведения. Научный вестник воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. 2012. С. 16-22.
  - [7]. Harrisa N., Tripp S., Parrishb K., Grandersonc J. Cognitive barriers during monitoring-based commissioning of buildings. *Sustainable Cities and Society*. 2019. No. 46. art.no. 101389.
  - [8]. Siromboa E., Filippia M., Catalanob A., Sicac A. Building monitoring system in a large social housing intervention in Northern Italy. *Energy Procedia*. 2017. No. 140. pp. 386-397.
  - [9]. Boncib A., Carbonaria A., Cucchiarellib A., Messia L., Piranib M., Vaccarini M. A cyber-physical system approach for building efficiency monitoring. *Automation in Construction*. 2019. No. 64. pp. 68-85.
  - [10]. Khorasgania H., Biswasb G., A methodology for monitoring smart buildings with incomplete models. *Applied Soft Computing*. 2018. No. 28. pp. 396-406.
  - [11]. Hattab O., Matthew M., Franchek A., Wassar T. An adaptive modeling approach to structural health monitoring of multistory buildings. *Journal of Sound and Vibration*. 2019. No. 440. pp. 239-255.
  - [12]. Zhongab B., Ganab C., Luoab H., Xingab X. Ontology-based framework for building environmental monitoring and compliance checking under BIM environment. *Building and Environment*. 2018. No. 141. pp. 127-142.
  - [13]. Subramanian V., Perumala A., Baskarana K., Khalid Raia S. Implementation of effective and low-cost building monitoring system(BMS) using raspberry pi. *Energy Procedia*. 2017. Vol. 143. pp. 179-185.
  - [14]. Afzalana M., Jazizadeha F., Wang J. Self-configuring event detection in electricity monitoring for human-building interaction. *Energy and Buildings*. 2019. Vol. 187. pp. 95-109.
  - [15]. Joaquim L., Colomer M., Massana J., Pous C. Multivariate statistical monitoring of buildings. Case study: Energy monitoring of a social housing building. *Energy and Buildings*. 2015. Vol. 103. pp. 338-351.
  - [16]. Mustafin M.G., Valkov V.A., Kazantsev A.I. Monitoring of Deformation Processes in Buildings and Structures in Metropolises. *Procedia Engineering*. 2017. Vol. 189. pp. 729-736.
  - [17]. Корнев В.В., Орлова Н.С., Улыбин А.В., Федотов С.Д. Строительный контроль зданий и сооружений с применением мультикоптеров и фотограмметрии. Строительство уникальных зданий и сооружений. 2018. №2(65). С. 40-58.
  - [18]. Guerra-Santinab O., Tweedc C. In-use monitoring of buildings: An overview of data collection methods. *Energy and Buildings*. 2015. Vol. 93. pp. 189-207.
  - [19]. Afzalan M., Jazizadeh F., Wang J. A generative model for non-Intrusive load monitoring in commercial buildings. *Energy and Buildings*. 2019. Vol. 187. pp. 95-109.
  - [20]. Quesada-Olmo N., Jimenez-Martinez M.J., Farjas-Abadi M. razrusheniya konstruksiy navesnykh ventiliruyemykh fasadov «SIAL km» i rekomendatsii po ikh ustraneniuyu [The main reasons for the destruction of structures mounted ventilated facades "SIAL km" and recommendations for their elimination]. *Nauchnyy zhurnal KubGAU [Scientific journal KubGAU]*. 2015. No. 107. pp. 1579-1600. (rus)
  - [5]. Obzorov V.I. Davidyuk A.A. Analiz povrezhdeniy kirpichnoy oblitsovki fasadov karkasnykh zdaniy [Analysis of damage to the brick cladding facades of frame buildings]. *Seysmostoykoye stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzheniy. Rossiyskaya Assotsiatsiya po seysmostoykomu stroitel'stvu i zashchite ot prirodnykh i tekhnogennykh vozdeystviy [Earthquake resistant construction. Safety of buildings. Russian Association of Earthquake Engineering and Protection against Natural and Technogenic Impacts]*. 2010. pp. 51-56. (rus)
  - [6]. Nuguzhinov ZH.S., Yerezhepov B.B., Kurokhtin A.YU. Problemy otsenki fiziko-tekhnicheskikh kharakteristik ograzhdayushchikh konstruksiy pri monitoringe zhilykh zdaniy na stadii ikh vozvedeniya [Problems of assessing the physical and technical characteristics of enclosing structures when monitoring residential buildings at the stage of their construction]. *Nauchnyy vestnik voronezhskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura. [Scientific Proceedings of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and architecture]* 2012. pp. 16-22.
  - [7]. Harrisa N., Tripp S., Parrishb K., Grandersonc J. Cognitive barriers during monitoring-based commissioning of buildings. *Sustainable Cities and Society*. 2019. No. 46. art.no. 101389.
  - [8]. Siromboa E., Filippia M., Catalanob A., Sicac A. Building monitoring system in a large social housing intervention in Northern Italy. *Energy Procedia*. 2017. No. 140. pp. 386-397.
  - [9]. Boncib A., Carbonaria A., Cucchiarellib A., Messia L., Piranib M., Vaccarini M. A cyber-physical system approach for building efficiency monitoring. *Automation in Construction*. 2019. No. 64. pp. 68-85.
  - [10]. Khorasgania H., Biswasb G., A methodology for monitoring smart buildings with incomplete models. *Applied Soft Computing*. 2018. No. 28. pp. 396-406.
  - [11]. Hattab O., Matthew M., Franchek A., Wassar T. An adaptive modeling approach to structural health monitoring of multistory buildings. *Journal of Sound and Vibration*. 2019. No. 440. pp. 239-255.
  - [12]. Zhongab B., Ganab C., Luoab H., Xingab X. Ontology-based framework for building environmental monitoring and compliance checking under BIM environment. *Building and Environment*. 2018. No. 141. pp. 127-142.
  - [13]. Subramanian V., Perumala A., Baskarana K., Khalid Raia S. Implementation of effective and low-cost building monitoring system(BMS) using raspberry pi. *Energy Procedia*. 2017. Vol. 143. pp. 179-185.
  - [14]. Afzalana M., Jazizadeha F., Wang J. Self-configuring event detection in electricity monitoring for human-building interaction. *Energy and Buildings*. 2019. Vol. 187. pp. 95-109.
  - [15]. Joaquim L., Colomer M., Massana J., Pous C. Multivariate statistical monitoring of buildings. Case study: Energy monitoring of a social housing building. *Energy and Buildings*. 2015. Vol. 103. pp. 338-351.
  - [16]. Mustafin M.G., Valkov V.A., Kazantsev A.I. Monitoring of Deformation Processes in Buildings and Structures in Metropolises. *Procedia Engineering*. 2017. Vol. 189. pp. 729-736.
  - [17]. Korenev V.V., Orlova N.S., Ulybin A.V., Fedotov S.D., Building inspection of buildings and structures by means of

- Real-time high-rise building monitoring system using global navigation satellite system technology. *Measurement*. 2018. Vol 123. pp. 115-124.
- [21]. Erkoreka A., Garcia E., Martin K., Teres-Zubiaga J., Del Portillo L. In-use office building energy characterization through basic monitoring and modelling. *Energy and Buildings*. 2016. Vol. 119. pp. 256-266.
- [22]. Bolchini C., Geronazzo A., Quintarelli E. Smart buildings: A monitoring and data analysis methodological framework. *Building and environment*. 2017. Vol. 121. pp. 93-105.
- [23]. David Y., Thambiratnam P., Chan T., Nguyen A. Method development of damage detection in asymmetric buildings. *Journal of Sound and Vibration*. 2018. Vol. 413. pp. 41-56.
- [24]. Roberta W., Piotra K. On rehabilitation of buildings with historical façades. *Energy Procedia*. 2017. Vol. 132. pp. 927-932.
- [25]. Ruiz L., Virginia V., Sasso F., Viciosoc E. In situ assessment of superficial moisture condition in façades of historic building using non-destructive techniques. *Case Studies in Construction Materials*. 2019. Vol. 10. art. No. 00228.
- [26]. Medveda S., Begelja Ž., Domjana S., Šuklje T., Černe B., Arkara C. The dynamic thermal response model and energy performance of multi-layer glass and BIPV facade structures. *Energy and Buildings*. 2019. Vol. 188–189. pp. 239-251.
- [27]. Arena G., Rippa M., Mormile P., Grilli M., Paturzo M., Fatigati G., Ferraro P. Concurrent studies on artworks by digital speckle pattern interferometry and thermographic analysis. *SPIE Proceedings*. 2016. Vol. 9771. pp. 101-107.
- [28]. Šahmenko G., Aispurs S., Krasnikovs A. The Use of High Performance Cement Composite in Renovation and Restoration of Architectural Elements of Buildings Facades. *Procedia Engineering*. 2015. Vol. 117. pp. 317-324.
- [29]. Viswanathan K., Ravi T., Boddula R. Synthesis graphene based sensor for strain data and its characterization. *Materials Science for Energy Technologies*. 2019. Vol. 2. pp. 203-207.
- [30]. Saretta E., Caputo P., Frontini F. A review study about energy renovation of building facades with BIPV in urban environment. *Sustainable Cities and Society*. 2019. Vol. 44. pp. 343-355.
- [31]. Sung D. A New Look at Building Facades as Infrastructure. *Engineering*. 2016. Vol. 2. pp. 63-68.
- [32]. Ren Longhua F., Xiepeng H., Kaizhi Hu S. An experimental study on vertical temperature profile of facade fire plume ejected from compartment with an opening subjected to external wind normal to facade. *International Journal of Thermal Science*. 2018. Vol. 130. pp. 94-99.
- [33]. Bishara A., Kramberger-Kaplan H., Ptatschek V. Influence of different pigments on the facade surface temperatures. 2017. *Energy Procedia*. Vol. 132. pp. 447-453.
- [34]. Brad S., Murar M. Smart Buildings Using IoT Technologies. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2014. No. 5. pp. 15-27.
- [35]. Martinez A., Patterson M., Carlson A., Noble D. Fundamentals in Façade Retrofit Practice. *Procedia Engineering*. 2015. Vol. 118. pp. 934-941.
- [36]. Wanga N., Zhao X., Zhao P., Zhanga Y., Zoua Z., Jinping Ou. Automatic damage detection of historic masonry buildings based on mobile deep learning. *Automation in Construction*. 2019. Vol. 103. pp. 53-66.
- multicopters and photogrammetry. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2018. 2(65). Pp. 40-58. (rus)
- [18]. Guerra-Santinab O., Tweedc C. In-use monitoring of buildings: An overview of data collection methods. *Energy and Buildings*. 2015. Vol. 93. pp. 189-207.
- [19]. Afzalan M., Jazizadeh F., Wang J. A generative model for non-Intrusive load monitoring in commercial buildings. *Energy and Buildings*. 2019. Vol. 187. pp. 95-109.
- [20]. Quesada-Olmo N., Jimenez-Martinez M.J., Farjas-Abadi M. Real-time high-rise building monitoring system using global navigation satellite system technology. *Measurement*. 2018. Vol 123. pp. 115-124.
- [21]. Erkoreka A., Garcia E., Martin K., Teres-Zubiaga J., Del Portillo L. In-use office building energy characterization through basic monitoring and modelling. *Energy and Buildings*. 2016. Vol. 119. pp. 256-266.
- [22]. Bolchini C., Geronazzo A., Quintarelli E. Smart buildings: A monitoring and data analysis methodological framework. *Building and environment*. 2017. Vol. 121. pp. 93-105.
- [23]. David Y., Thambiratnam P., Chan T., Nguyen A. Method development of damage detection in asymmetric buildings. *Journal of Sound and Vibration*. 2018. Vol. 413. pp. 41-56.
- [24]. Roberta W., Piotra K. On rehabilitation of buildings with historical façades. *Energy Procedia*. 2017. Vol. 132. pp. 927-932.
- [25]. Ruiz L., Virginia V., Sasso F., Viciosoc E. In situ assessment of superficial moisture condition in façades of historic building using non-destructive techniques. *Case Studies in Construction Materials*. 2019. Vol. 10. art. No. 00228.
- [26]. Medveda S., Begelja Ž., Domjana S., Šuklje T., Černe B., Arkara C. The dynamic thermal response model and energy performance of multi-layer glass and BIPV facade structures. *Energy and Buildings*. 2019. Vol. 188–189. pp. 239-251.
- [27]. Arena G., Rippa M., Mormile P., Grilli M., Paturzo M., Fatigati G., Ferraro P. Concurrent studies on artworks by digital speckle pattern interferometry and thermographic analysis. *SPIE Proceedings*. 2016. Vol. 9771. pp. 101-107.
- [28]. Šahmenko G., Aispurs S., Krasnikovs A. The Use of High Performance Cement Composite in Renovation and Restoration of Architectural Elements of Buildings Facades. *Procedia Engineering*. 2015. Vol. 117. pp. 317-324.
- [29]. Viswanathan K., Ravi T., Boddula R. Synthesis graphene based sensor for strain data and its characterization. *Materials Science for Energy Technologies*. 2019. Vol. 2. pp. 203-207.
- [30]. Saretta E., Caputo P., Frontini F. A review study about energy renovation of building facades with BIPV in urban environment. *Sustainable Cities and Society*. 2019. Vol. 44. pp. 343-355.
- [31]. Sung D. A New Look at Building Facades as Infrastructure. *Engineering*. 2016. Vol. 2. pp. 63-68.
- [32]. Ren Longhua F., Xiepeng H., Kaizhi Hu S. An experimental study on vertical temperature profile of facade fire plume ejected from compartment with an opening subjected to external wind normal to facade. *International Journal of Thermal Science*. 2018. Vol. 130. pp. 94-99.
- [33]. Bishara A., Kramberger-Kaplan H., Ptatschek V. Influence of different pigments on the facade surface temperatures. 2017. *Energy Procedia*. Vol. 132. pp. 447-453.
- [34]. Brad S., Murar M. Smart Buildings Using IoT Technologies. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2014. No. 5. pp. 15-27.
- [35]. Martinez A., Patterson M., Carlson A., Noble D. Fundamentals in Façade Retrofit Practice. *Procedia Engineering*. 2015. Vol. 118. pp. 934-941.

[36]. Wanga N., Zhaoa X., Zhao P., Zhanga Y., Zoua Z., Jinping Ou. Automatic damage detection of historic masonry buildings based on mobile deep learning. Automation in Construction. 2019. Vol. 103. pp. 53-66.

---

**Контактная информация**

- 1.\* +79229690863, mohirevaarina@mail.ru (Мохирева Арина Олеговна, студент)
2. +79006395801, glebova\_katerina\_glk@mail.ru (Глебова Екатерина Алексеевна, студент)
3. +79992166339, loginova.pv@edu.spbstu.ru (Логинова Полина Владимировна, студент)
4. +79189026085, nazinyan.lg@edu.spbstu.ru (Назинян Левон Гайкович, студент)
5. +79117035943, tikhonovitch.nik@gmail.com (Тихонович Никита Андреевич, студент)

**Contact information**

- 1.\* +79229690863, mohirevaarina@mail.ru (Mohireva Arina, Student)
  2. +79006395801, glebova\_katerina\_glk@mail.ru (Glebova Ekaterina, Student)
  3. +79992166339, loginova.pv@edu.spbstu.ru (Loginova Polina, Student)
  4. +79189026085, nazinyan.lg@edu.spbstu.ru (Nazinyan Levon, Student)
  5. +79117035943, tikhonovitch.nik@gmail.com (Tikhonovich Nikita, Student)
- 

© Мохирева А.О., Глебова Е.А., Логинова П.В., Назинян Л.Г., Тихонович Н.А., 2019