

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Уральский федеральный университет имени первого Президента России  
Б. Н. Ельцина»

Физико-технологический институт  
Кафедра технической физики

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Зав. кафедрой ТФ

\_\_\_\_\_ В. И. Токманцев

« \_\_\_\_ » июня 2017 г.

# ПРОГРАММНЫЙ ИНТЕРФЕЙС ДЛЯ СИСТЕМЫ АНАЛИЗА ТЕПЛОВЫХ УТЕЧЕК

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА  
ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Руководитель проф., к. т. н.

Рогович В. И.

Нормоконтролёр доц., к. т. н.

Ковалёв В. В.

Студент гр. ФТ-430206

Молодых А. А.

Екатеринбург

2017

# Реферат

Пояснительная записка: 38 страницы.

# Содержание

Введение . . . . .	4
1. Проблематика . . . . .	6
1.1 Технология поиска информации . . . . .	6
1.2 Литературно-аналитический обзор . . . . .	6
1.3 Аналоги системы и их оценка . . . . .	9
1.3.1 MyHEAT . . . . .	9
1.3.2 National Heat Map . . . . .	10
1.3.3 HEAT . . . . .	10
1.3.4 blomURBEX . . . . .	12
1.3.5 Jersey Heat Loss Map . . . . .	12
1.3.6 Оценка аналогов . . . . .	13
1.4 Критика прототипа . . . . .	19
1.5 Аналоги по подсистеме . . . . .	19
1.6 Уточнение целей и задач . . . . .	19
1.7 Результаты и выводы по главе 1 . . . . .	20
2. Моделирование . . . . .	21
2.1 Концептуальная модель . . . . .	21
2.2 Системно-структурная модель . . . . .	23
2.3 Функционально-структурная модель . . . . .	26
2.4 Алгоритмическая модель . . . . .	28
2.4.1 Алгоритмическая модель прототипа . . . . .	29
2.4.2 Алгоритмическая модель предлагаемого решения . . . . .	31
2.4.3 Результаты и выводы по главе 2 . . . . .	33
3. Проектирование предлагаемого решения . . . . .	35
3.1 Внешнее проектирование . . . . .	35

3.2	Внутреннее проектирование . . . . .	35
3.3	Результаты и выводы по главе 3 . . . . .	36
4.	Моделирование . . . . .	37
	Список использованных источников . . . . .	37
A	Техническое задание . . . . .	39

## Введение

Согласно аналитическим данным, в России расход тепловой энергии на отопление многоквартирных домов составляет примерно 45% от объёма всех энергетических ресурсов страны [1]. Такое повышенное по сравнению с мировым значение можно объяснить тем, что большая часть территории страны расположена в северных областях, характеризующихся холодным климатом. По оценкам, проводимым организацией IEA, в мировом масштабе процент потребления тепловой энергии для отопления зданий составляет 32-33% [2]. Прогноз этого показателя в долгосрочной перспективе показывает его рост в ближайшие несколько десятков лет при большинстве сценариев увеличения суммарной площади помещений [5].

В связи с этим актуальна задача повышения энергоэффективности зданий. Существует ряд причин возникновения тепловых потерь в помещениях, в частности имеют место тепловые утечки, происходящие в различных областях помещений (стены, крыши, окна, элементы вентиляции и пр.) [3, 4].

Для решения этой задачи применяют различные методы анализа тепловых потерь. Наиболее распространенным на сегодняшний день считается использование тепловизионного сканирования зданий, которое позволяет не только дать точную оценку уровня тепловых утечек, но и обнаружить источники самих тепловых потерь. Существует большое число частных компаний, занимающихся тепловизионным анализом помещений и выполняющих эту работу вручную. В этой связи возникла тенденция к созданию автоматизированных систем контроля тепловых утечек в городских зданиях. Потенциал таких систем, несомненно, высок, поскольку они способны накапливать в себе большие объёмы данных, которые можно подвергнуть статистическому анализу и на этой основе получать полезную информацию для частных владельцев домов, коммунальных организаций и городских служб.

Целью данной работы является проведение анализа имеющихся в мире систем контроля тепловых утечек, выбор прототипного решения среди этих систем и разработка улучшенной системы на его основе путём исправления выявленных недостатков.

# 1 Проблематика

## 1.1 Технология поиска информации

## 1.2 Литературно-аналитический обзор

На сегодняшний день активно разрабатываются и поддерживаются веб-сервисы, использующие для своей работы данные геоинформационных систем. Одной из разновидностей таких сервисов являются системы контроля тепловых утечек (СКТУ), предоставляющих информацию об уровне энергетической эффективности зданий.

СКТУ позволяют пользователям узнать оценки теплоэнергетической эффективности выбранных зданий; в некоторых случаях также возможно увидеть локализацию утечки тепла. Оценка эффективности основывается на результатах анализа тепловизионных изображений, сделанных наземно или с использованием воздушной съемки.

Большинство СКТУ работают со снимками крыш зданий. Это можно объяснить следующими причинами:

- простота и доступность процесса воздушной съёмки, возможность автоматизации за счёт использования БПЛА,
- масштабируемость системы за счет универсальности алгоритмов анализа зданий,
- большой охват обследуемой территории за относительно короткое время съёмки,
- достаточный уровень достоверности результатов для невысоких зданий, для которых рассеивание тепла незначительно.

Такой подход позволяет получить оценку уровня теплоэффективности для каждого здания в исследуемом районе без значительного вмешательства

человека в этот процесс. При обследовании изображений автоматически учитывается различная вспомогательная информация с целью повышения точности оценки. Так, в [10.3390/rs3071380] системе HEAT, использующей ИК-изображения, данные со спутников об излучении тепла и технологию TURN (нормализация по температуре дорожной поверхности), конечная оценка включает в себя не только результат анализа распределения температуры, но и внешние условия, такие как температура почвы, элемент нагрева поверхности крыш в зависимости от материала и пр. Автоматизированность, кроме того, обеспечивается алгоритмами обнаружения жилых объектов на фотографиях, последующей сегментацией изображения и идентификацией этих объектов.

Тем не менее, более качественный и информативный анализ требует тщательного подхода к съёмке анализируемого объекта. Съёмка фасадов зданий может дать больше полезной информации, чем съёмка крыш с воздуха. Так, при частном исследовании зданий бригады экспертов используют специальное ИК-оборудование для захвата всех деталей фасадов, поскольку в этом случае важно выявление причин утечек, что не всегда возможно сделать при помощи только снимков крыш. Существующие способы [10.1109/JURSE.2011.5764737, 10.21611/qirt.2014.041, 10.1109/URS.2009.5137681], позволяющие с определённой долей вероятности выделить, а в некоторых случаях даже сформулировать [10.1016/j.eswa.2008.02.043] причины утечек, работают именно со снимками фасадов зданий. В целом, для оценки тепловой энергоэффективности невысоких зданий достаточно изображений поверхности кровли, однако при работе с более высокими зданиями, в том числе с многоэтажными, таких снимков не будет достаточно для объективного результата.

В этом случае возникает вопрос о том, как автоматизировать процесс съёмки фасадов зданий. Беспилотная съёмка позволяет быстро получать данные при съёмке крыш, но в применении к фасадам зданий в городской мест-



ности такой метод реализовать практически невозможно по ряду причин (технические и юридические причины). Проявляющаяся в настоящее время в геоинформационных системах тенденция к использованию VGI - добровольно предоставляемой географической информации - способна решить эту проблему [10.1007/s10708-007-9111-y]. Под термином VGI подразумеваются принципы сбора, обработки и распространения геоданных, предоставляемых лично владельцами (пользователями, имеющими к ним доступ) [wikipedia]. Такая практика используется в проектах OpenStreetMap, Google Earth, WikiMapia, Panoramio и др. С развитием доступности Интернет по всему миру этот подход получения данных становится неоспоримо эффективным. В этой связи он может обеспечить СКТУ более актуальными сведениями, а также значительно увеличить количество анализируемых объектов.

Для сбора и отправки VGI-данных можно использовать любое устройство, обладающее необходимыми датчиками и имеющее выход в Интернет. Такой подход используется, например, в системах регистрации сейсмической активности, работающих с данными акселерометров пользовательских устройств. Для этой цели хорошо подходят смартфоны, так как они мобильны и их использование широко распространено.

**Смартфон** — сложное многофункциональное устройство, как правило, снабженное встроенной фото- и видеокамерой, модулем Wi-Fi, датчиками положения в пространстве, ускорения. Существуют портативные камеры инфракрасной съемки, представляющие из себя модули, подключаемые к смартфону. Используя эти устройства, можно сделать распределенную систему сбора информации, добровольно предоставляемой пользователями смартфонов.

## 1.3 Аналоги системы и их оценка

### 1.3.1 МуНЕАТ

**МуНЕАТ** - система, разработанная исследовательским университетом Калгари, Канада. Система представлена веб-интерфейсом, позволяющим просмотреть тепловую карту местности, полученную в результате анализа тепловизионных аэроснимков зданий, исходные изображения зданий, а также узнать оценки их теплоэнергетической эффективности по шкале от 1 до 10 баллов, где 1 балл соответствует низкой эффективности, а 10 - высокой[\*]. Для визуального представления используется картографический сервис **Google Maps** с наложением слоев с информацией об утечках тепла. При построении карты используются проприетарные алгоритмы, исключая микроклиматическую изменчивость и геопространственные эффекты, а также учитывающие материал крыши и количество растительности на них, что повышает точность построения карт [\*]. Интерфейс системы представлен на рисунке 1.1.



Рисунок 1.1 – Внешний вид интерфейса системы МуНЕАТ

### 1.3.2 National Heat Map

**National Heat Map** - разработка Центра по устойчивой энергетике (CSE) в Великобритании. Этот проект существует с 2010 года, данные в нём постоянно обновляются [\*]. NHM позволяет получать данные по адресам зданий, в открытом доступе предоставляет интерактивную тепловую карту с выбором различных слоёв по категориям зданий (производственные, коммерческие и жилые). Эти слои представляют собой цветные изображения областей по уровням тепловыделения.

Данные о распределении тепла в конкретных зданиях предоставляются административным органам, а также организациям, имеющим специальную лицензию. Отличительная особенность данной системы - проработанный веб-интерфейс, который позволяет рассматривать карту по разным слоям одновременно, выделять интересующие области. Имеется возможность вывода результатов статистических расчётов по выбранной области в различных форматах (табличные, такие как **CSV**, диаграммы и графики). [\*] Такое решение подходит для случаев, когда нужен охват территории в масштабе целого континента. Однако оно не позволяет увидеть оценки для конкретных зданий в открытом виде, предоставляя лишь усреднённые показатели для комплексов зданий или отдельных улиц, районов и т. п.

### 1.3.3 HEAT

**HEAT** - веб-ориентированная система анализа потерь тепла, использующая тепловые аэроснимки. Используются стандарты **OGC** (Open Geospatial Consortium) для геопространственных сервисов.[\*], картографический сервис **Google Maps** с возможностью выбора слоя тепловых утечек. Слой представляет из себя совокупность зданий, каждое из которых окрашено в соответствии с присвоенным ему одним из десяти классов энергетической эффективности, основанных на средней температуре крыш всех зданий. Система предоставляет

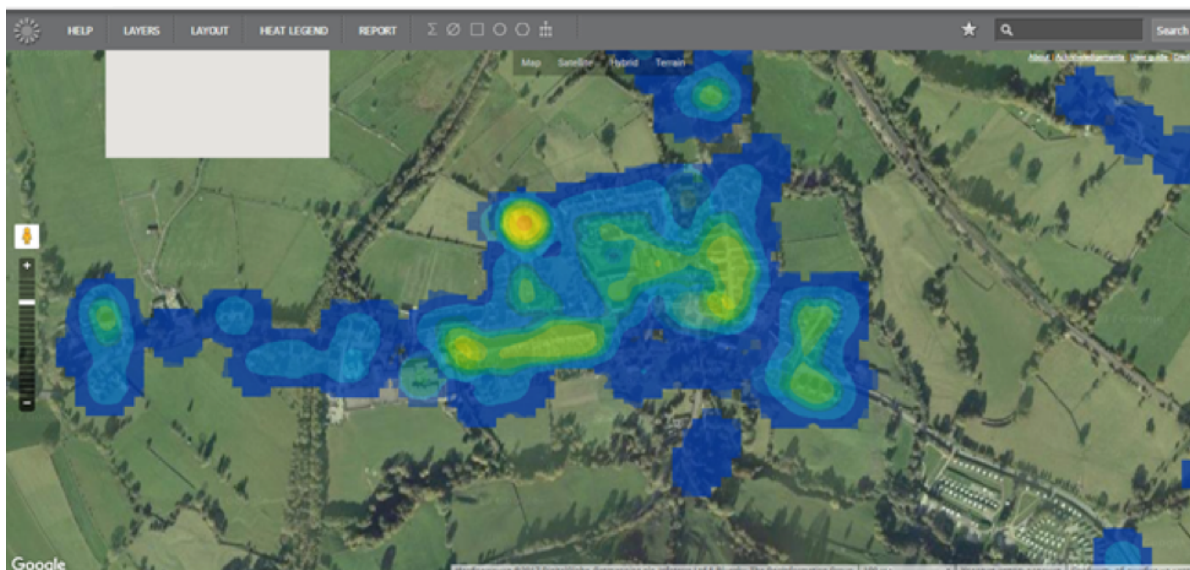


Рисунок 1.2 – Внешний вид интерфейса системы National Heat Map

такую информацию, как:

- минимальная и средняя температуры поверхности крыши выбранного здания;
- три наиболее горячие точки на поверхности крыши;
- суточную стоимость отопления дома и количество выделяющегося при этом углекислого газа в зависимости от вида топлива (газ/уголь/возобновляемые источники энергии);
- количество топлива, его стоимость и величина выделяемого углекислого газа, которые можно сократить при условии уменьшения температуры крыши до минимальной.

Важной особенностью сервиса является использование решений Geographic Object Based Image Analysis (GEOBIA), позволяющих в автоматическом или полуавтоматическом режиме генерировать готовые к внедрению в ГИС полигоны домов, анализируя непосредственно тепловые аэроснимки, а не используя имеющиеся городские кадастровые данные. Это играет существенную роль, когда кадастровые данные недоступны, и позволяет получить доступ к информации через веб-страницу в течение недели после сбора данных.

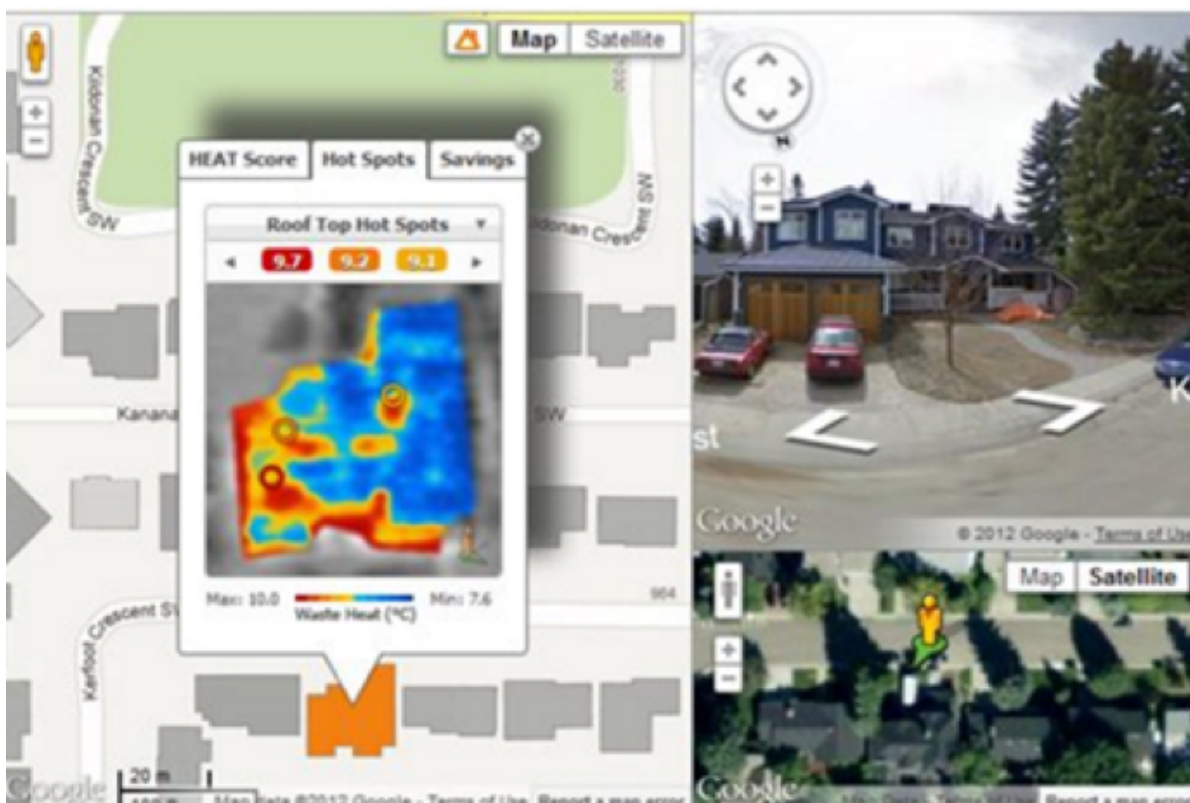


Рисунок 1.3 – Внешний вид интерфейса системы HEAT

#### 1.3.4 blomURBEX

**blomURBEX** - разработка норвежской компании Blom. Представляет из себя веб-сервис, предоставляющий доступ к карте, на которую добавлены слой информации об утечках тепла и оценка, присваиваемая теплоэнергетической эффективности здания. Можно производить поиск по адресу, также предусмотрена навигация по карте. Есть возможность нанесения на карту дополнительных графических объектов и текста, сохранения результатов в файл.

#### 1.3.5 Jersey Heat Loss Map

Интерактивная карта, разработанная службой энергоэффективности (EES) острова Джерси, ориентирована не только на городские коммунальные службы, но и на самих владельцев домов, позволяя им увидеть оценку результатов тепловизионного анализа по установленной шкале уровней тепловых утечек. Сами здания на карте представлены прямоугольниками разных цветов, соответ-

ствующих уровням этой шкалы. По каждому объекту можно получить такую информацию, как тип здания, индекс тепловых потерь и его текстовое описание. Из недостатков данной системой существенными являются отсутствие возможности увидеть изображения распределения тепла и получить статистику в произвольном масштабе.

### 1.3.6 Оценка аналогов

Для сравнения аналогов были выбраны критерии, по которым будет производиться оценка. Кортёжная модель оценки аналогов имеет вид:

$$OA = \langle O(УФ), O(РТ), O(РЭ), O(ГП), O(КС), O(СР), O(ПЗ); R \rangle,$$

где ОА - оценка аналога,

О(УФ) - оценка учета факторов,

О(РТ) - оценка предоставления информации о распределении температур,

О(РЭ) - оценка расчета энергии,

О(ГП) - оценка генерации полигонов,

О(КС) - оценка количества слоев,

О(СР) - оценка выдачи статистических расчетов,

О(ПЗ) - оценка поиска зданий,

R - матрица связи.

**Учет факторов.** Первый критерий - учет факторов - подразумевает “выравнивание” результатов с учетом изменения микроклимата от одного здания к другому, учет материалов крыш, использование алгоритмов повышения достоверности информации. Данный критерий оценивается следующим образом:

$$I_{\text{УФ}} = \begin{cases} 1, & \text{если учитывается микроклимат и материал крыши} \\ 0.5, & \text{если используются статистические данные} \\ 0, & \text{если дополнительные факторы не учитываются} \end{cases}$$

**Распределение температур.** Критерий оценивается в зависимости от того, предоставляет ли выбранный аналог информацию о распределении температур по поверхности крыш зданий или нет:

$$I_{\text{РТ}} = \begin{cases} 1, & \text{если система предоставляет информацию о распределении температур} \\ 0, & \text{если система не предоставляет такую информацию} \end{cases}$$

**Расчет энергии.** Критерий оценивается в зависимости от предоставления системой информации о количестве энергии, затрачиваемой на отопление дома:

$$I_{\text{РЭ}} = \begin{cases} 1, & \text{если система предоставляет информацию о количестве энергии, затрач} \\ 0, & \text{если система не предоставляет такую информацию} \end{cases}$$

**Генерация полигонов.** Оценка производится на основе возможности системы создавать полигоны зданий, используя распознавание объектов и не прибегая к кадастровой информации.

$$I_{\text{ГП}} = \begin{cases} 1, & \text{если система генерирует полигоны} \\ 0, & \text{если система не генерирует полигоны} \end{cases}$$

**Количество доступных слоев.** При отображении карты на нее могут накладываться слои с различной вспомогательной информацией, статистическими данными и выбранными фильтрами. Оценка этого критерия производится следующим образом:

$$I_{\text{КС}} = \begin{cases} 1, & \text{если имеется три и более слоёв} \\ 0.5, & \text{если имеется два слоя} \\ 0, & \text{если имеется один слой} \end{cases}$$

**Статистические расчеты.** Оценка этого критерия производится в зависимости от возможности предоставления системой статистических расчетов:

$$I_{\text{СР}} = \begin{cases} 1, & \text{если система предоставляет статистические расчёты по выбранной территории} \\ 0, & \text{если система не предоставляет такую информацию} \end{cases}$$

**Поиск зданий.** Оценка критерия производится следующим образом:

$$I_{\text{СР}} = \begin{cases} 1, & \text{если предусмотрена возможность поиска зданий по адресу} \\ 0, & \text{если такая возможность не предусмотрена} \end{cases}$$



Оценка аналогов будет производиться по следующей формуле:

$$OA = O(УФ) \cdot \alpha(УФ) + O(РТ) \cdot \alpha(РТ) + O(РЭ) \cdot \alpha(РЭ) + \\ + O(ГП) \cdot \alpha(ГП) + O(КС) \cdot \alpha(КС) + O(СР) \cdot \alpha(СР) + O(ПЗ) \cdot \alpha(ПЗ),$$

где  $\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1$ ,  $\alpha_i$  — весовой коэффициент  $i$ -го критерия.

### **Определение весовых коэффициентов критериев.**

При методе попарных сравнений используется шкала словесных определений уровня важности, где каждому определению ставится в соответствие число (таблица 1.1)

Таблица 1.1 – Шкала уровней важности

Уровень важности	Количественное значение
Равная важность	1
Промежуточное значение между равенством и слабым превосходством	2
Умеренное превосходство	3
Промежуточное значение между слабым и сильным превосходством	4
Существенное или сильное превосходство	5
Промежуточное значение между сильным и значительным превосходством	6
Значительное (большое) превосходство	7
Промежуточное значение между значительным и абсолютным превосходством	8
Абсолютное превосходство	9

Оценка аналогов производилась с использованием методики Томаса Саати. На таблице 1.2 представлена матрица попарного сравнения критериев.

Таблица 1.2 – Оценка весовых коэффициентов критериев

	УФ	РТ	РЭ	ГП	КС	СР	ПЗ	$\Sigma$	$\alpha$
УФ	1	2	3	4	5	6	8	29.00	0.26
РТ	1/2	1	2	4	6	7	9	29.50	0.26
РЭ	1/3	1/2	1	3	5	5	7	21.83	0.19
ГП	1/4	1/4	1/3	1	3	3	6	13.83	0.12
КС	1/5	1/6	1/5	1/3	1	2	5	8.90	0.08
СР	1/6	1/7	1/5	1/3	1/2	1	4	6.34	0.06
ПЗ	1/8	1/9	1/7	1/6	1/5	1/4	1	2.00	0.02
ЭР	1/9	1/9	1/8	1/7	1/6	1/6	1/2	1.32	0.01
$\Sigma\Sigma$								112.73	1

В таблице 1.3 приведены оценки аналогов по выбранным критериям.

Таблица 1.3 – Показатели критериев аналогов

	УФ	РТ	РЭ	ГП	КС	СР	ПЗ	ЭР
Jersey Heat Loss Map	0	0	0	0	0	0	1	0
HEAT	1	1	1	1	0,5	0	0	0
MyHEAT	1	1	1	1	0	0	1	0
BlomURBEX	0	0	0	0	0,5	0	1	1
National Heat Map	0.5	0	1	0	1	1	1	1

Взвешенные оценки аналогов представлены в таблице 1.4.

Таблица 1.4 – Оценки аналогов по критериям

	УФ	РТ	РЭ	ГП	КС	СР	ПЗ	ЭР	$\alpha$
	0.26	0.26	0.19	0.12	0.08	0.06	0.02	0.01	1.00
Jersey Heat Loss Map	0	0	0	0	0	0	0.02	0	0.02
HEAT	0.26	0.26	0.19	0.12	0,04	0	0	0	0.87
MyHEAT	0.26	0.26	0.19	0.12	0	0	0.02	0	0.85
BlomURBEX	0	0	0	0	0,04	0	0.02	0.01	0.07
National Heat Map	0.13	0	0.19	0	0.08	0.06	0.02	0.01	0.49

Наиболее высокую оценку получил аналог HEAT, целесообразно рассматривать его в качестве прототипа.

## 1.4 Критика прототипа

В результате оценки аналогов наилучший результат получила система HEAT Университета Калгари, Канада. Основные ее преимущества - использование алгоритмов повышения достоверности результатов, автоматическая генерация полигонов зданий.

Существенный недостаток системы HEAT — отсутствие возможности работы с пользовательскими данными. Не предусмотрена функция загрузки снимков и вспомогательных данных с пользовательских устройств (в частности, со смартфонов) и их последующая обработка. Доработка этих возможностей позволит наполнить систему более полной и актуальной информацией в соответствии с принципами VGI.

## 1.5 Аналоги по подсистеме

Раздел в доработке.

## 1.6 Уточнение целей и задач

Глобальная цель работы — повышение достоверности результатов обследования жилых зданий с целью выявления утечек тепла.

Локальной целью является разработка программного интерфейса (API), позволяющего подключать к системе приложения сторонних разработчиков на различных устройствах.

Задачи, которые необходимо решить для достижения поставленной цели:

- Выполнить аналитический обзор имеющихся в мире информационных систем, выполняющих задачу контроля тепловой энергоэффективности;
- Провести анализ современных технологий, применяющихся для получения исходных данных, циркулирующих в этих системах;
- Обнаружить среди обзореваемых систем и технологий наиболее совершенные с точки зрения поставленной в данной работе цели и выделить прототип разрабатываемой системы;
- Разработать пакет моделей на создание улучшенной информационной системы;
- Выполнить внешнее и внутреннее проектирование искомой системы;
- Реализовать программное решение искомой системы.

## **1.7 Результаты и выводы по главе 1**

Проведён поиск информации об используемых решениях в области систем контроля тепловой энергоэффективности зданий. Выполнен обзор литературных источников и существующих аналогов таких систем, сформулировано их общее описание. Среди аналогов на основе оценки наиболее существенных факторов выявлен прототип. На основании критики предложена доработка прототипа. Определены цели и задачи данной работы.

## 2 Моделирование

### 2.1 Концептуальная модель

**Система анализа тепловых утечек** — программный комплекс, выполняющий следующие основные функции:

- Оценка энергетической эффективности зданий городской застройки;
- Выдача результатов оценивания по запросу;
- Обработка ИК снимков;
- Упрощение процесса проведения ИК съёмки пользователями.

**Пути реализации основных функций:**

- Обнаружение критичных областей и вычисления средних значений показателей распределения тепла по ИК снимкам;
- Предоставление веб-доступа к результатам обследования;
- Геометрическая коррекция изображений и учета внешних условий съёмки;
- Программное обеспечение процесса проведения ИК съёмки.

**Структурная основа реализации:**

- Методы статистического анализа;
- Способы визуализации данных;
- Алгоритмы нормализации ИК снимков по инвариантным признакам спутниковых снимков;
- Клиент-серверная архитектура.

**Направленность функционирования системы:** обеспечение информационной поддержки процесса обнаружения, обследования, контроля и устранения тепловых утечек.

**Цель функционирования системы:** повышение качества обследования жилых объектов на предмет тепловой энергоэффективности.

**Программный интерфейс (API)** для системы анализа тепловых утечек городской застройки.

**1 Основные функции:**

- 1.1 Сбор данных;
- 1.2 Унификация данных, поступающих в систему анализа;
- 1.3 Обеспечение их корректности;
- 1.4 Обеспечение доступности данных для системы анализа;
- 1.5 Предоставление результатов анализа клиентским приложениям.

**2 Пути реализации основных функций:**

- 2.1 Приём пакетов данных от различных источников;
- 2.2 Преобразование данных в одинаковый формат;
- 2.3 Проверка пакетов входных данных на соответствие требованиям;
- 2.4 Взаимодействие с БД системы анализа;
- 2.5 Обработка внешних запросов на результаты анализа утечек.

**3 Структурная основа реализации:**

- 3.1 Для функций 1.1, 1.5: сетевые протоколы обмена информацией;
- 3.2 Для функции 1.2: требования системы анализа тепловых утечек;
- 3.3 Для функции 1.3: методы фильтрации нежелательного контента;
- 3.4 Для функции 1.4: централизованный подход к управлению данными в СУБД.

**4 Направленность функционирования системы:** расширение географической области, охватываемой системой анализа и увеличение числа пользователей системы анализа.

**5 Цели функционирования системы:** предоставление набора функций, реализуемых системой анализа тепловых утечек, сторонним программам вне зависимости от их платформы и аппаратного обеспечения.

## 2.2 Системно-структурная модель

На рисунке 2.1 изображена системно-структурная модель системы анализа тепловых утечек. Внедрение в неё новых структурных элементов – программного интерфейса и мобильного приложения – приводит к изменению состава таких подсистем, как веб-приложение и модуля работы с ИК изображениями. Модели этих подсистем представлены на рисунках [2.2, 2.3] соответственно.

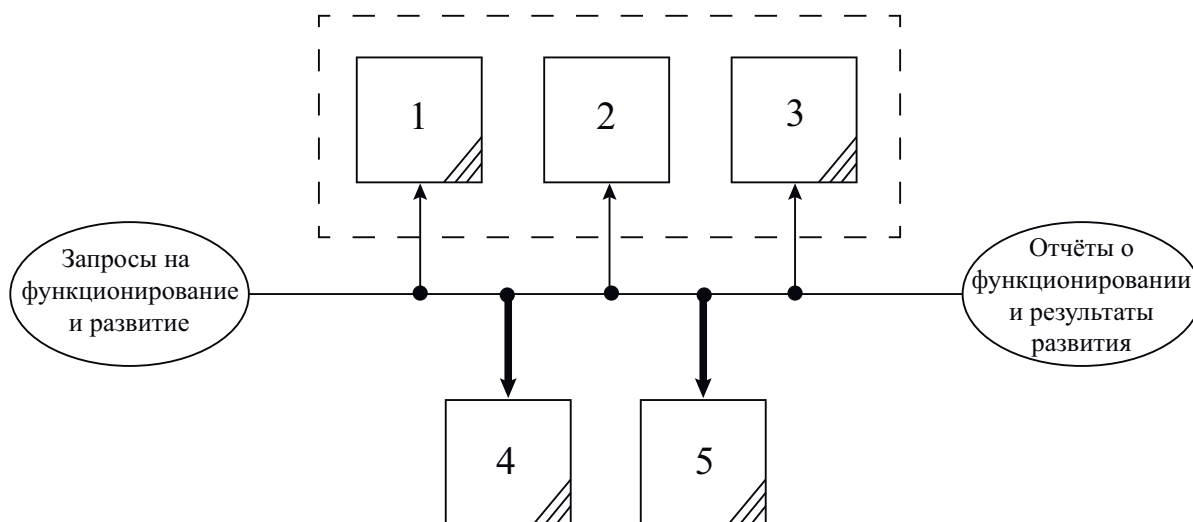


Рисунок 2.1 – Системно-структурная модель системы анализа тепловых утечек: 1 - веб-приложение, 2 - подсистема управления данными, 3 - модуль работы с ИК изображениями, 4 - мобильное приложение, 5 - программный интерфейс (API)



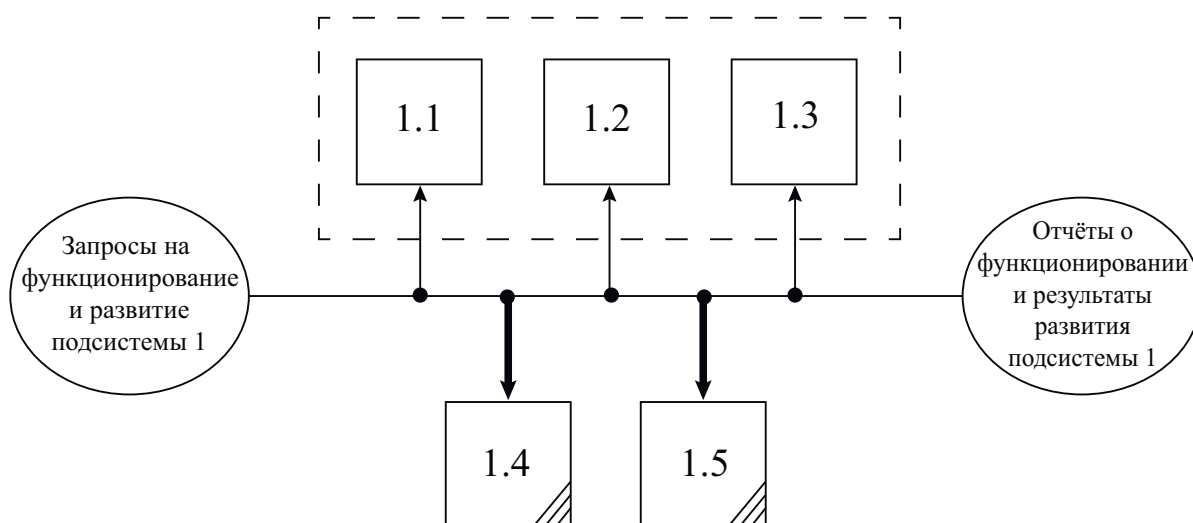


Рисунок 2.2 – Системно-структурная модель веб-приложения: 1.1 - блок отображения карты, 1.2 - блок отображения оценок энергоэффективности и энергозатрат, 1.3 - блок представления изображений, 1.4 - раздел «личного кабинета», 1.5 - раздел загрузки пользовательских данных

Структурные компоненты web-приложения представлены разделами, с которыми работают его пользователи (рисунок 2.2). Работа каждого раздела обеспечивается web-сервером и множеством программных сценариев, генерирующих динамические web-страницы, содержащие информацию, соответствующую названию раздела.

Компоненты модуля работы с ИК изображениями (рисунок 2.3) разделены по характеру выполняемых преобразований: подсистема 3.1 решает задачу распознавания зданий с ИК аэроснимков, описанную в [\*\*\*МуНЕАТ\*\*\*], процедуры обработки в подсистеме 3.2 устраняют отклонения, вызванные локальными изменениями климата, на снимках, подсистема 3.3 использует алгоритмы математической статистики для итоговых расчётов.

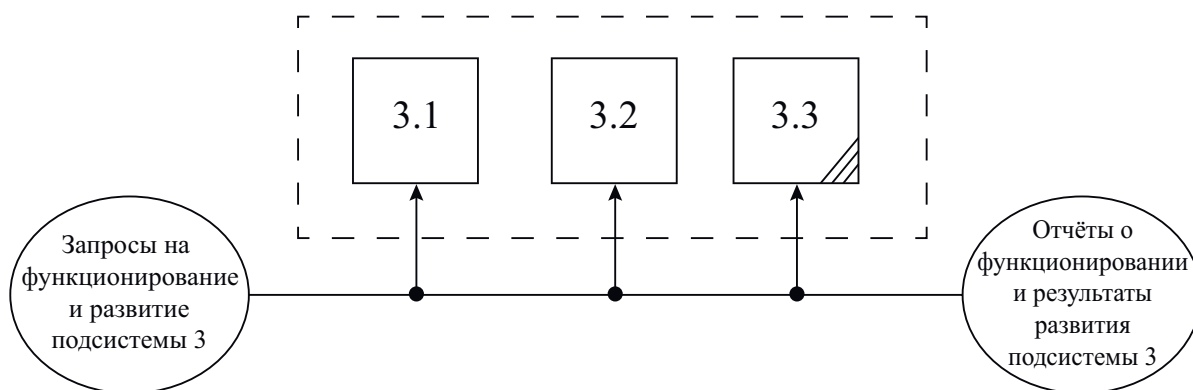


Рисунок 2.3 – Системно-структурная модель модуля работы с ИК изображениями: 3.1 - подсистема фотограмметрической обработки ИК снимков, 3.2 - подсистема коррекции по микроклиматическим условиям, 3.3 - подсистема расчёта оценки энергоэффективности

В связи с тем, что в систему анализа тепловых утечек внедряется новый вид съёмки, очевидно, что некоторые подсистемы претерпят изменения, которые отражены в алгоритмических моделях. Подсистемы 3.1 и 3.2 являются исключениями, поскольку для наземной съёмки отдельных зданий они не актуальны. Многие задачи обработки наземных снимков берут на себя программные клиенты - мобильные приложения.

В модели программного интерфейса (API) системы анализа тепловых утечек, представленной на рисунке 2.4, в качестве подсистем прототипа были взяты стандартные компоненты, участвующие в работе большинства API относительно крупных программных комплексов.

В рамках системы анализа тепловых утечек специфика API заключается в наличии подсистемы 5.5. Это связано с характерными особенностями данных, поступающих в систему. Например, в систему могут поступать данные с ИК камер различных производителей, и, кроме того, данные различных типов съёмки. Расширение спектра возможных источников данных - одна из причин внедрения API в основную систему.

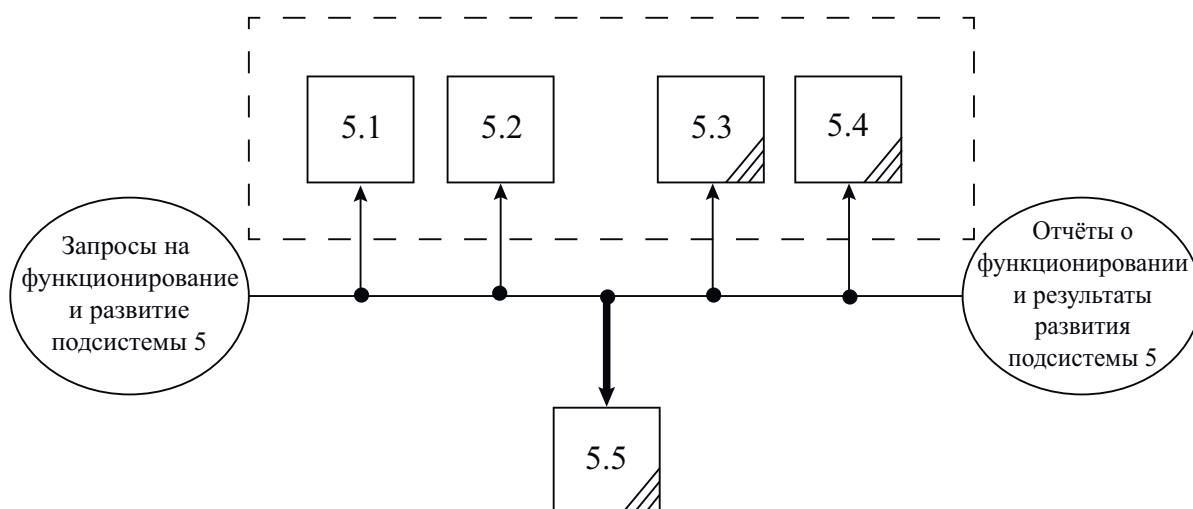


Рисунок 2.4 – Системно-структурная модель программного интерфейса: 5.1 - подсистема приёма запросов и отправки данных, 5.2 - подсистема аутентификации пользователей, 5.3 - подсистема формирования запросов к БД, 5.4 - подсистема валидации данных, 5.5 - подсистема унификации и форматирования данных

## 2.3 Функционально-структурная модель

Все функции, выполняемые системами анализа тепловых утечек, можно объединить в один функциональный блок “Оценить энергетическую эффективность зданий”, как показано на диаграмме, изображенной на рисунке 2.5. Рассмотрение функциональной структуры системы в целом важно при моделировании разрабатываемого программного интерфейса, поскольку это даёт представление о взаимосвязи информационных потоков между смежными функциями всей системы, а также с её внешней средой. Модели выполнены в соответствии с нотацией IDEF0.

Диаграмма декомпозиции 1 уровня включает в себя набор основных функций, которые выполняются подсистемами, перечисленными в системно-структурной модели 2.6. Так, функциональный блок А3 выполняется программным интерфейсом (подсистема 5, рисунок 2.4). Некоторые подсистемы могут участвовать в работе нескольких функций. Например, за работу блоков А2 и А6 отвечает мобильное приложение (подсистема 3, рисунок 2.3).

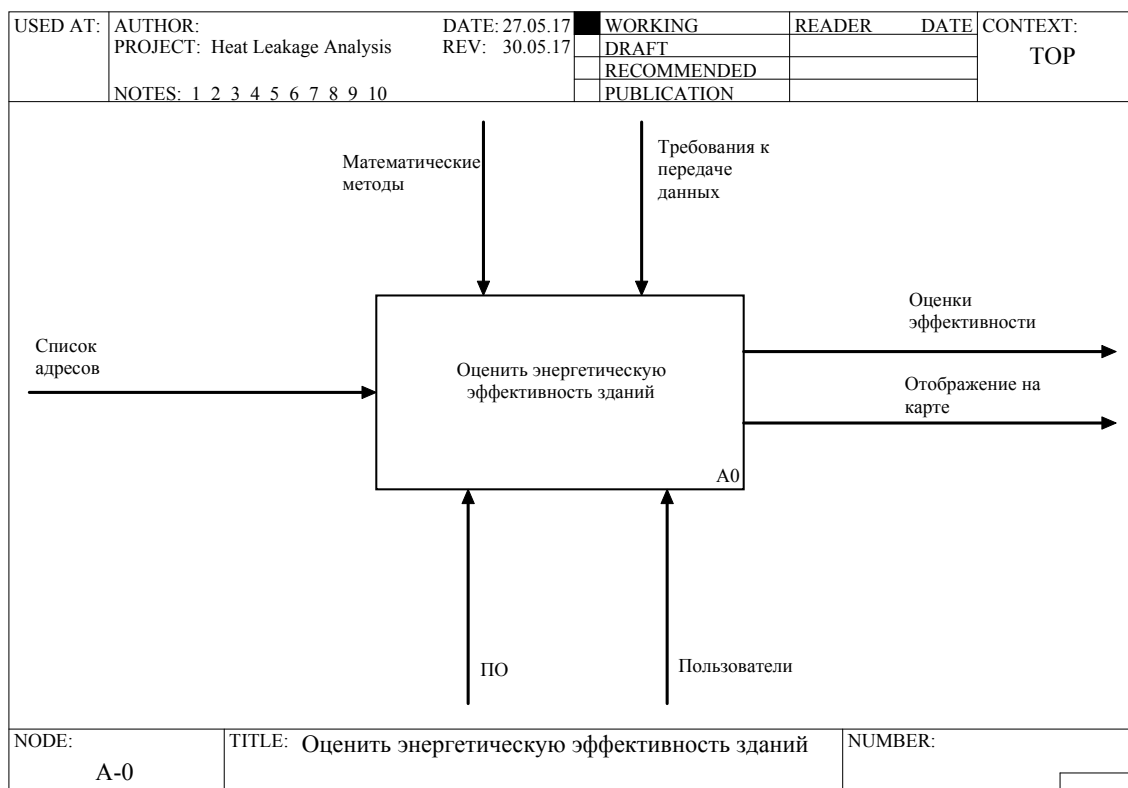


Рисунок 2.5 – Контекстная диаграмма функционально-структурной модели предлагаемого решения

Описание математических алгоритмов содержится в некоторых алгоритмических моделях, приведённых в разделе 2.4. Под клиентскими приложениями понимается ПО, которое отображает карты энергоэффективности зданий (в частности, мобильное и web-приложения).

На рисунке 2.7 представлена диаграмма декомпозиции блока “Отправить снимки на сервер”. Все функциональные блоки в этой диаграмме задействуют API, поэтому она представляет наибольший интерес среди остальных блоков узла A0.

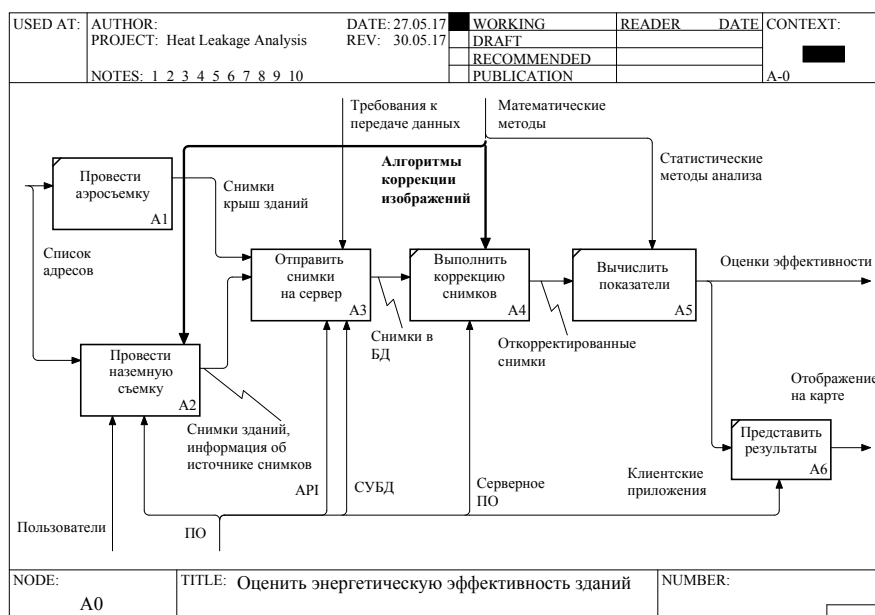


Рисунок 2.6 – Диаграмма декомпозиции 1 уровня функционально-структурной модели предлагаемого решения

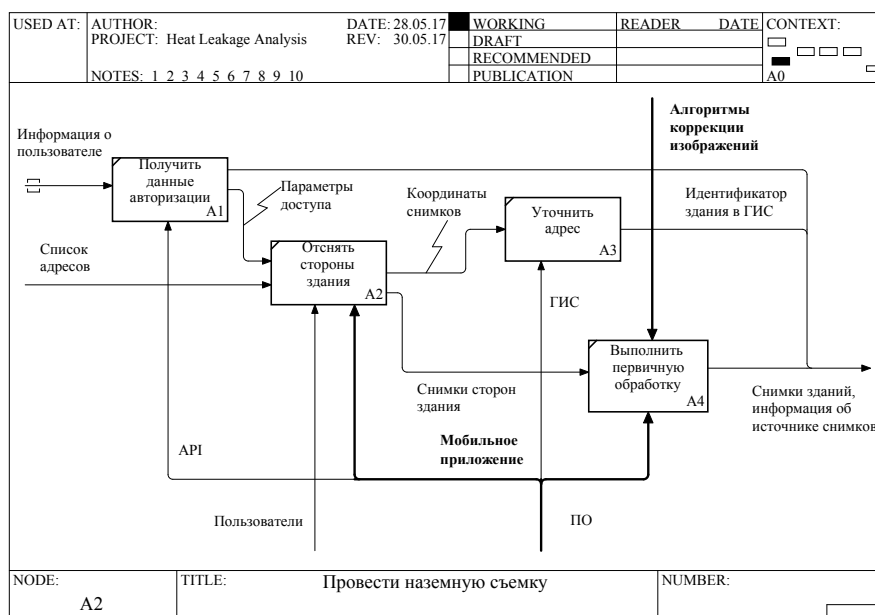


Рисунок 2.7 – Диаграмма декомпозиции блока A3 функционально-структурной модели предлагаемого решения

## 2.4 Алгоритмическая модель

В разделе 2.4.1 приведены алгоритмы процессов работы системы до внедрения в неё новых подсистем. В разделе 2.4.2 представлены алгоритмы, в ко-

торых происходят наиболее существенные изменения после внедрения внедряемых подсистем, а также алгоритм работы разрабатываемого программного интерфейса.

### 2.4.1 Алгоритмическая модель прототипа

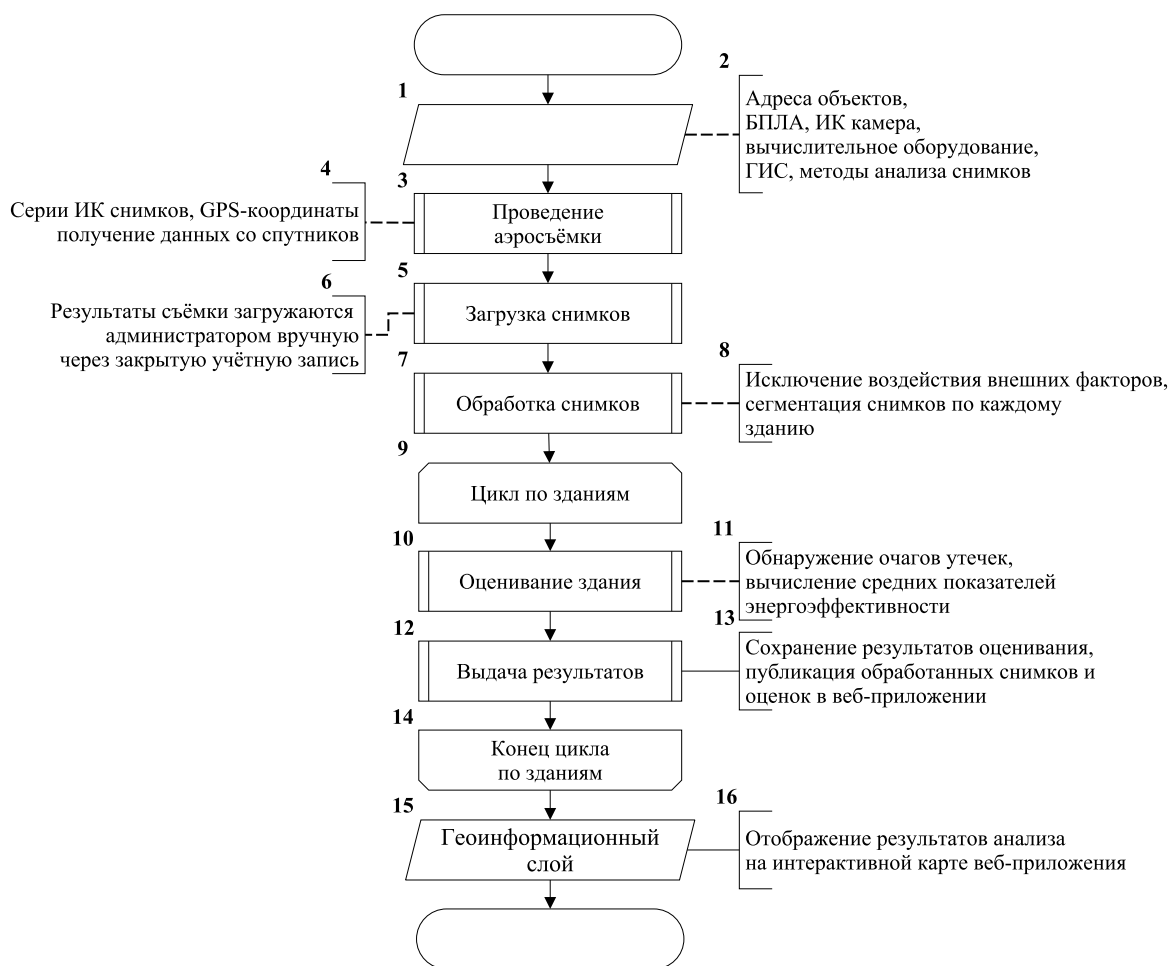


Рисунок 2.8 – Алгоритм исследования утечек в жилых зданиях (для прототипа)

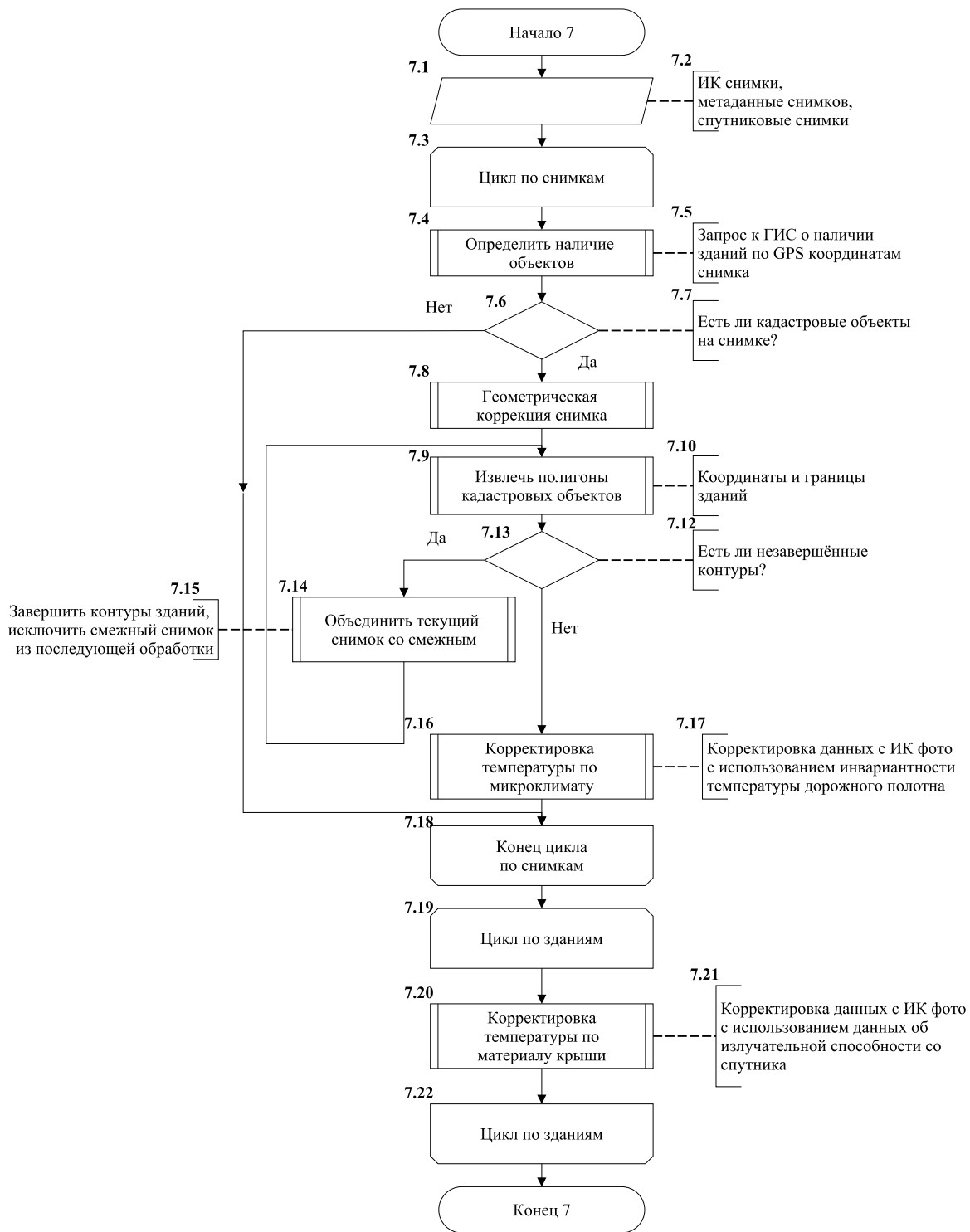


Рисунок 2.9 – Алгоритм обработки аэроснимков (для прототипа)

## 2.4.2 Алгоритмическая модель предлагаемого решения

В связи с тем, что предлагаемая система предполагает два вида съёмки, изменяется основной алгоритм исследования утечек жилых зданий для расчёта оценки их энергоэффективности (рисунок 2.12). Возникает проблема, связанная с тем, что одно здание может быть отснято несколько раз, причём разным способом. Для решения этой проблемы следует проводить интегральную (итоговую) оценку, представленную в алгоритме процессом 20. Более детальное описание этого процесса описывает алгоритм, приведённый на рисунке 2.11.

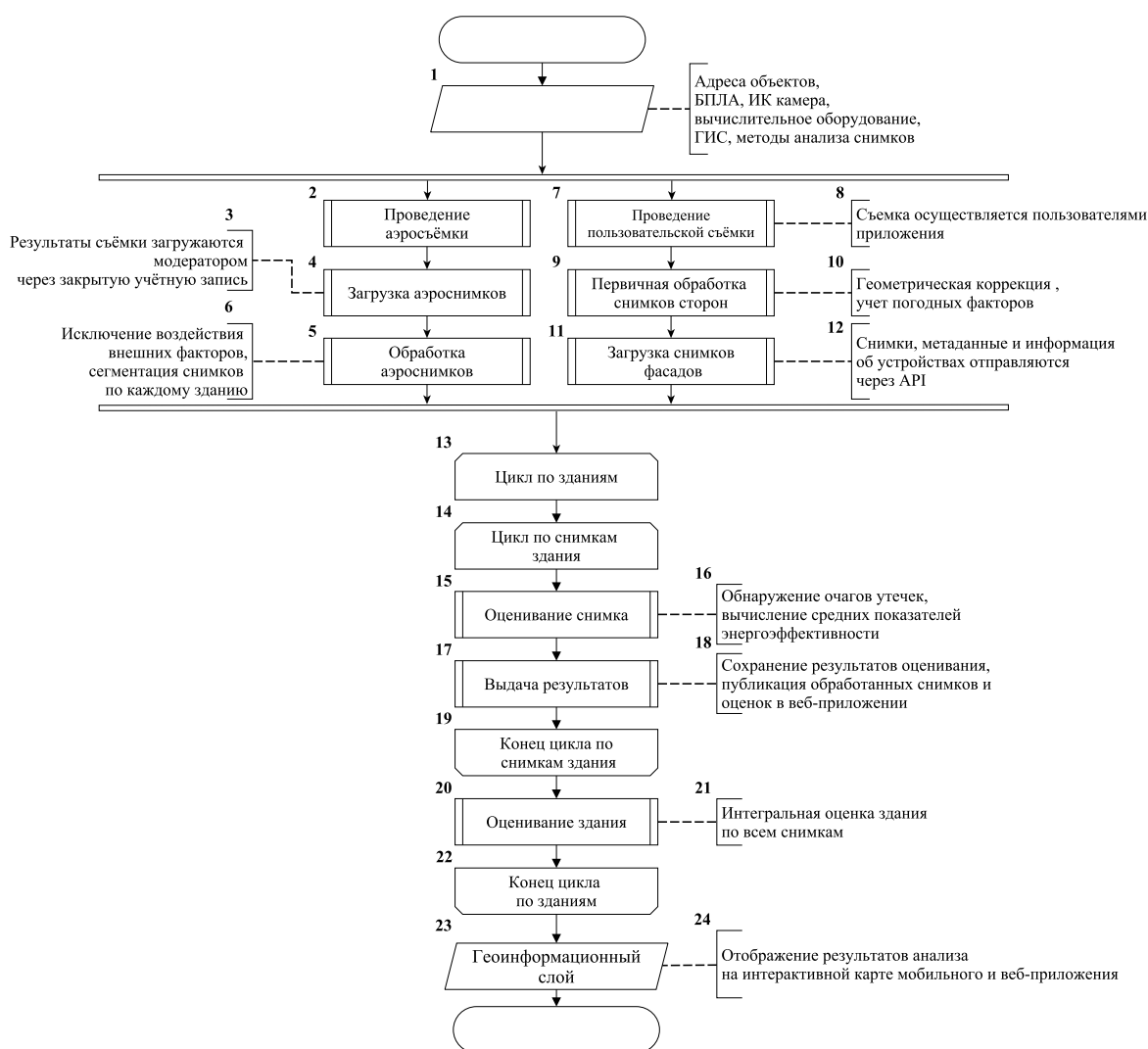


Рисунок 2.10 – Алгоритм исследования утечек в жилых зданиях (для предлагаемого решения)



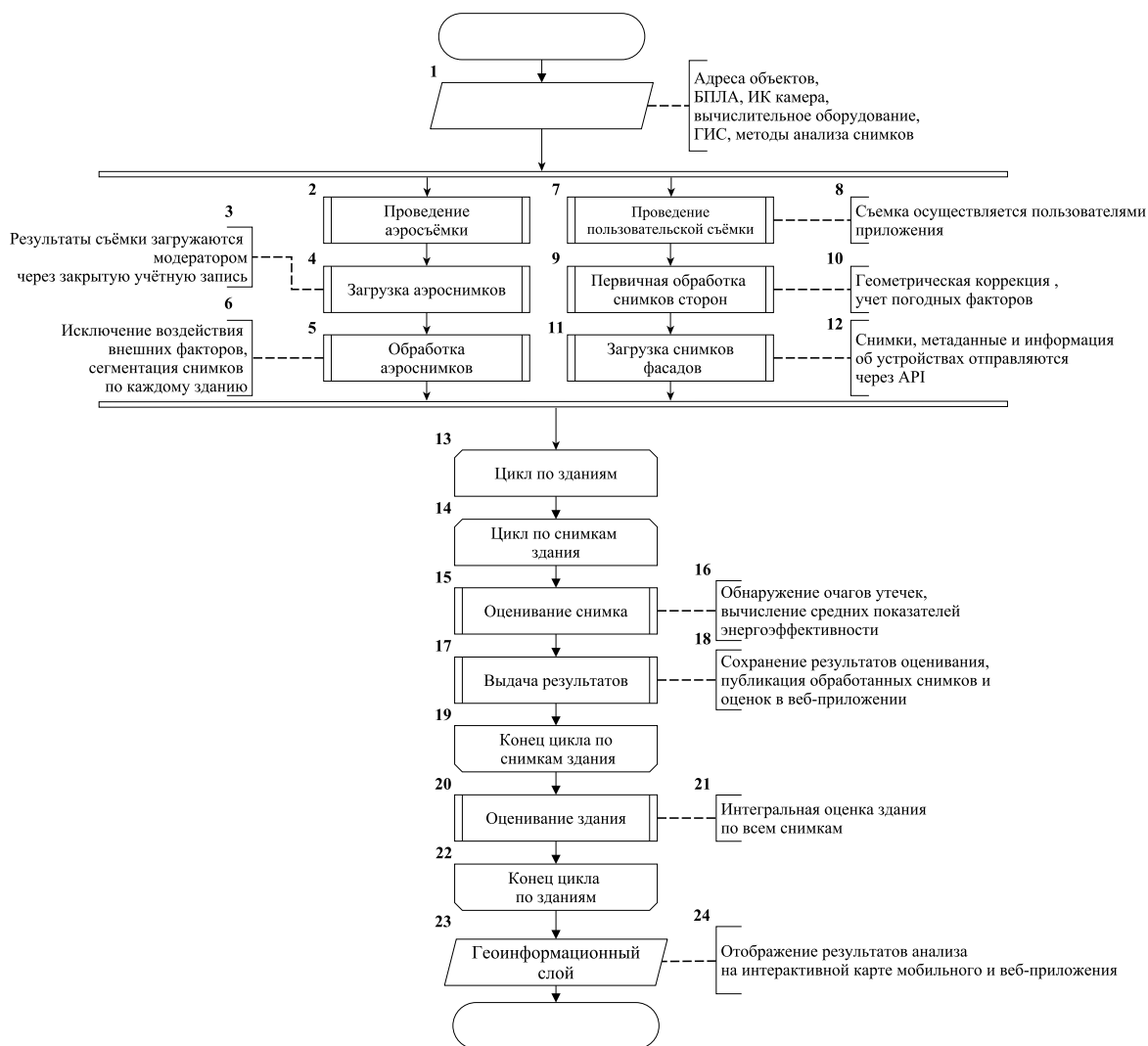


Рисунок 2.11 – Алгоритм итогового оценивания энергоэффективности (для предлагаемого решения)

После внедрения новых подсистем процедура получения пользователем информации из системы также претерпевает изменения. Сравнение алгоритмов работы с системой до изменений (рисунок 2.8) и после них (рисунок 2.12) позволяет их выделить.

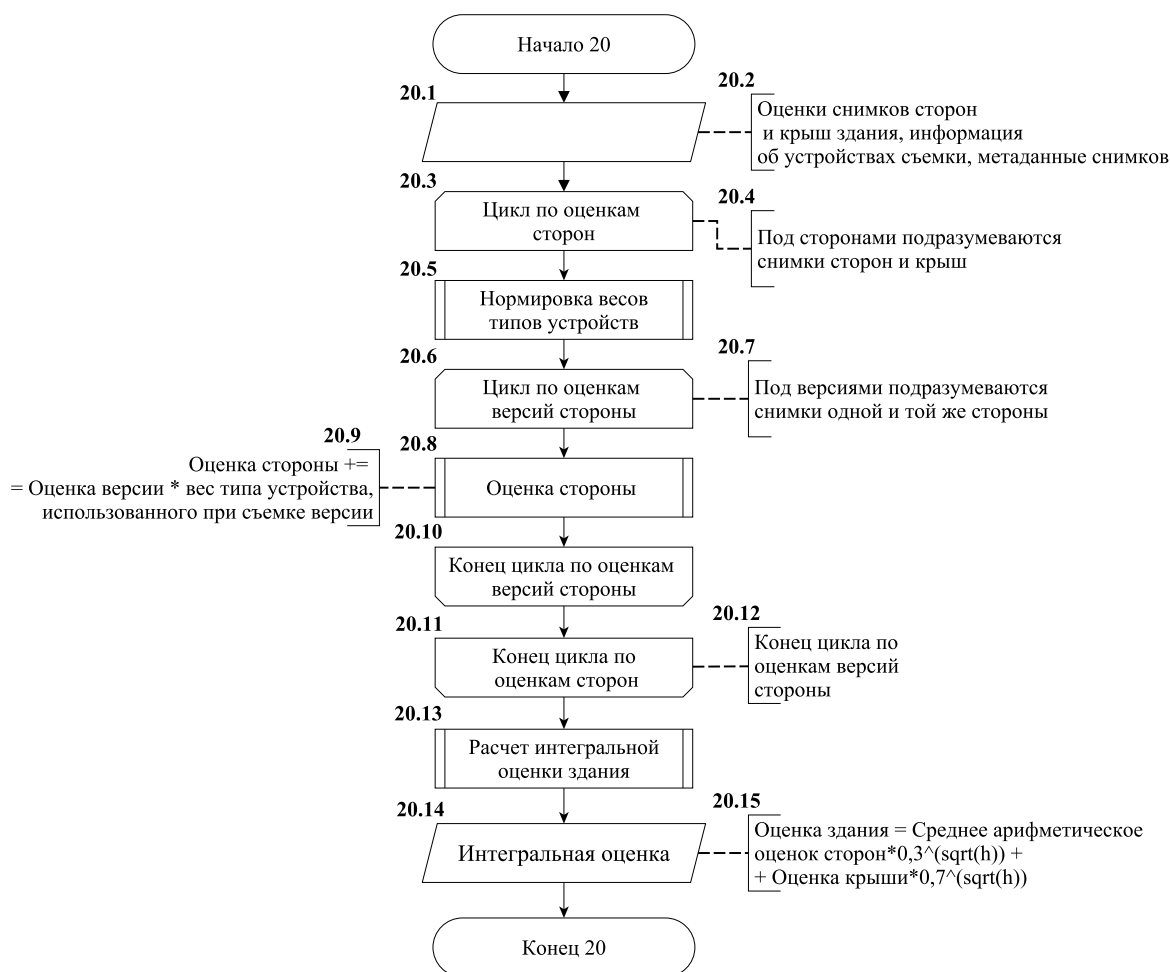


Рисунок 2.12 – Алгоритм итогового оценивания энергоэффективности (для предлагаемого решения)

### 2.4.3 Результаты и выводы по главе 2

На основе информации, полученных в результате изучения материалов, приведённых в главе 1, были построены модели прототипа и предлагаемого решения. В целях выделения специфики между существующей системой и предлагаемым решением представлена структурно-функциональная модель и алгоритмы работы с подсистемами прототипа и новой системы.

Благодаря тому, что моделирование проводилось как для системы в целом, так и для разрабатываемого программного интерфейса (API), можно получить представление о том, как изменяются отдельные компоненты системы, как взаимодействуют информационные потоки смежных с API подсистем и внеш-

ней среды всей системы анализа тепловых утечек. Взаимосвязь между системой в целом и её подсистемами показана в концептуальной, системно-структурной и структурно-функциональной моделях.

Алгоритмы, представленные в разделе 2.4, имеют целью продемонстрировать ключевые изменения в работе компонентов системы, а также в работе пользователей с системой. Кроме того, смоделирован алгоритм работы разрабатываемого API, который отражает специфику на фоне аналогов в области разработки программных интерфейсов.

Таким образом, становится возможным формулирование конкретного списка требований, которым должны удовлетворять все подсистемы в новом решении на этапе проектирования и задач, которые необходимо выполнить при реализации нового решения в рамках данной работы.

## 3 Проектирование предлагаемого решения

### 3.1 Внешнее проектирование

В результате внешнего проектирования было получено техническое задание по ГОСТ 34.602-89 на разработку программного интерфейса (API) искомой системы, приведенное в приложении \*.

### 3.2 Внутреннее проектирование

На основе требований, выдвинутых в техническом задании и результатов моделирования, приведённых в главе 2 проведено внутреннее проектирование API САТУ.

Согласно требованиям, API САТУ взаимодействует с клиентскими приложениями через Интернет. В этой связи разумно использовать инструменты, ориентированные на работу в Web.

Для разработки программного интерфейса системы анализа тепловых утечек в городских зданиях был выбран сценарный язык программирования PHP, поддерживающий концепцию объектно-ориентированного программирования.

Проектирование API выполнено на основе шаблона MVC (Model-View-Controller), который подразумевает деление программного кода на 3 отдельных компонента: модель (отвечает за обработку данных), представление (отвечает за получение и отправку данных) и контроллер (содержит управляющую логику, использует модели и представления). MVC позволяет сделать независимым код, отвечающий за работу с данными от кода, отвечающего за приём и отправку запросов. В качестве схемы взаимодействия клиентских приложений и компонентов системы, работающими на серверах, была взята архитектура REST. Ограничения, определённые в REST, позволяют

создавать масштабируемые и унифицированные программные интерфейсы [\*].

Стандарт, который использует API для форматирования сообщений - JSON. Формат JSON подходит для передачи сообщений со сложной структурой и уместен при обмене данными между клиентскими приложениями и сервером. Все вышеуказанные инструменты охвачены программной платформой *Yii 2 Framework*, полностью реализующей указанные архитектуры и стандарты. Данная платформа позволяет ускорить процесс разработки web-проектов, в том числе и API. В процессе внутреннего проектировании предлагаемого решения выяснилось, что эта платформа является наиболее подходящей.

### **3.3 Результаты и выводы по главе 3**

Раздел в доработке.

## 4 Моделирование

## Список использованных источников

1. *Анализ потребления тепловой энергии на отопление многоквартирных домов как способ повышения энергоэффективности в сфере ЖКХ* [Электронный ресурс] / Дирекция по проблемам ЖКХ // Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации. — 2013. — Режим доступа: [http://gkh-altay.ru/d/205499/d/06\\_24\\_kr\\_stol\\_analitika\\_dor\\_abotannaya\\_po\\_rezultata\\_m.pdf](http://gkh-altay.ru/d/205499/d/06_24_kr_stol_analitika_dor_abotannaya_po_rezultata_m.pdf) (дата обращения: 29.03.2017).
2. *Heating and cooling energy trends and drivers in buildings* [Текст] / Ürge-Vorsatz D., Cabeza L. F., Serrano S., Barreneche C., Petrichenko K. // *Renewable and Sustainable Energy Reviews* — Budapest, Hungary: Elsevier, 2015. — № 41 — С. 85-98.
3. *What are the sources of home heat loss?* [Электронный ресурс] / Wilson L. // *Shrink That Footprint* — Режим доступа: <http://shrinkthatfootprint.com/home-heat-loss> (дата обращения: 29.03.2017).
4. *Detecting sources of heat loss in residential buildings from infrared imaging* [Электронный ресурс] / Chen S., Chen E. // Massachusetts Institute of Technology. Dept. of Mechanical Engineering — 2011. — Режим доступа: <http://hdl.handle.net/1721.1/68921> (дата обращения: 20.02.2017).
5. *Energy use in buildings in a long-term perspective* [Текст] / Ürge-Vorsatz D., Petrichenko K., Staniec M., Eom J. // *Current Opinion in Environmental Sustainability* — Budapest, Hungary: Elsevier, 2013. — № 5 — С. 141-151.

# Приложение А

## Техническое задание