

*На правах рукописи*



**Тиганова Ирина Александровна**

**БЛАГОУСТРОЙСТВО ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ С УЧЁТОМ  
ВОДНОГО БАЛАНСА ТЕХНОГЕННОГО ЛАНДШАФТА  
(на примере г. Екатеринбурга)**

05.23.22 – Градостроительство, планировка  
сельских населенных пунктов

**АВТОРЕФЕРАТ**  
**диссертации на соискание ученой степени**  
**кандидата технических наук**

Екатеринбург – 2017

**Работа выполнена** в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

**Научный руководитель:** кандидат технических наук  
**Шауфлер Виктор Гугович**

**Официальные оппоненты:** **Большаков Андрей Геннадьевич**  
доктор архитектуры, профессор,  
ФГБОУ ВО «Иркутский национальный  
исследовательский технический  
университет», кафедра Архитектуры и  
градостроительства, профессор

**Красильникова Элина Эдуардовна**  
кандидат архитектуры, профессор,  
ФГБОУ ВО «Волгоградский  
государственный технический  
университет», кафедра Урбанистики и  
теории архитектуры, профессор

**Ведущая организация:** ФГБОУ ВО «Уральский государственный  
архитектурно-художественный  
университет»

**Защита** состоится «20» декабря 2017 года в 16 часов 00 минут на заседании диссертационного совета Д 212.138.09, созданного на базе ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» по адресу: 129337, Москва, Ярославское шоссе, д. 26, Зал ученого совета.

**С диссертацией можно ознакомиться** в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» <http://www.mgsu.ru>

**Автореферат разослан** «\_\_» \_\_\_\_\_ 2017 г.

**Ученый секретарь**  
диссертационного совета



Ляпин Антон Валерьевич

## I ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** В результате градостроительной деятельности человека происходит превращение природного ландшафта в техногенную городскую среду. Покрытая асфальтом и плотно застроенная городская территория провоцирует быструю разгрузку поверхностного стока в реки, что приводит как к паводковым затоплениям и подтоплениям территорий, с одной стороны, так и к иссушению ландшафтов и перегреву городской среды, с другой. Последнее явление известно в мировом градостроительстве как «Urban heat island effect». Проблема сохранения естественного водного баланса решается путём создания в жилой среде специальных задерживающих дождевую воду компенсационных мероприятий. Это могут быть аккумулирующие дождевую воду пруды, инфильтрующие траншеи, котловины в зелёных зонах, дренажи обратного действия и пр. Однако эти мероприятия больше известны в зарубежной градостроительной практике, нежели российской. Природа происхождения и методы борьбы с затоплением и подтоплением в настоящее время достаточно хорошо изучены. Разработка же компенсационных мероприятий, направленных на сохранение или восстановление естественного водного баланса техногенного ландшафта и, как следствие, формирование комфортного для проживания человека микроклимата, – задача в российской действительности пока еще мало исследованная.

При проектировании выше обозначенных компенсационных мероприятий в условиях России, где большая часть городских территорий представлена застройкой советского и постсоветского времени, возникает вопрос влияния сложившегося техногенного окружения на существующий ландшафт. Данная диссертационная работа посвящена вопросу разработки научных основ для проектирования экологически оправданного инженерного благоустройства городских территорий, включающего в себя компенсационные мероприятия и поддержание в жилой среде комфортного микроклимата с сохранением водного баланса техногенного ландшафта, близкого к естественному.

**Степень разработанности темы.** Базой для исследования инженерного благоустройства на основе учёта водного баланса техногенного ландшафта стали принципы, заложенные российскими учёными в области градостроительства, реконструкции городских территорий и инженерного благоустройства и изложенные в работах: В.А. Бутягина, В.В. Владимирова, Д.Н. Власова, В.Ф. Касьянова, В.А. Колясникова, С.М. Лыжина, С.В. Максимовой, Г.А. Малояна, В.А. Осина, С.И. Санка, В.К. Степанова, О.С. Расторгуева, М.С. Шумилова, Е.В. Щербины и др., в области инженерной подготовки городских территорий, городской экологии, устойчивого развития городов и озеленения территорий, изложенные в работах: А.А. Беляева, В.А. Блинова, А.Г. Большакова, В.Л. Глазычева, В.А. Горохова, Р.А. Данцига, М.Н. Диваковой, Н.А. Керимовой, Г.И. Клиориной, Э.Э. Красильниковой, Н.С. Краснощековой, И.В. Лазаревой, Л.Б. Лунца, В.Ю. Моисеева,

В.А. Нефёдова, Л.Н. Орловой, А.Н. Попова, Л.Н. Смирнова, С.Б. Чистяковой, В.Л. Шафрана, В.Г. Шауфлера, И.С. Шукурова и др., в области инженерной защиты территорий от подтопления, изложенные в работах: С.К. Абрамова, Д.П. Гордиенко, Б.М. Дегтярева, И.А. Кветной, А.Ж. Муфтахова, Д.П. Самофалова, В.И. Сологаева, С.В. Сольского и др.

На основе анализа литературных источников и нормативной базы сделан вывод об относительно слабой изученности вопроса экологических принципов проектирования инженерного благоустройства в условиях России. Менее всего изучены вопросы влияния сложившейся застройки советского и постсоветского времени на водно-тепловые характеристики жилой среды и техногенных ландшафтов. Имеющаяся нормативная база также не направлена на регулирование объёма поверхностного стока и не предусматривает активное использование альтернативных систем поверхностного водоотвода. Отсутствуют нормативные документы, предусматривающие разработку компенсационных мероприятий в части поверхностного стока. В связи с чем обосновывается актуальность и практическая значимость настоящего исследования.

**Целью** исследования является прогноз и поддержание естественного водного баланса городской среды с учётом интенсивности градостроительного использования территорий и влияния сложившегося техногенного окружения с последующей разработкой методики проектирования инженерного благоустройства, учитывающей водобалансовое состояние ландшафта и используемой при планировке территории.

Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи**:

- изучение существующего состояния инженерного благоустройства и практики учёта водного баланса городских территорий в России и западных странах;
- классификация инженерного благоустройства жилых территорий по критерию водного баланса техногенного ландшафта;
- разработка логико-математической модели состояния водного баланса городской территории, учитывающая влияние и взаимосвязь природных и техногенных факторов;
- исследование техногенного влияния на водный баланс территории города в зависимости от выделенных морфотипов застройки, определение качественных и количественных характеристик этого влияния;
- разработка методики анализа водобалансового состояния инженерного благоустройства городских территорий, применимой при разработке документации по планировке территории;
- моделирование состояний водного баланса техногенного ландшафта для выделенных морфотипов существующей застройки города Екатеринбурга по грунтовым условиям.

**Объект исследования** – инженерное благоустройство исторически сложившейся жилой застройки миллионного мегаполиса – г. Екатеринбург.

**Предмет исследования** – водный баланс техногенного ландшафта.

**Научная новизна результатов исследования** заключается в том, что:

– разработана градостроительная типология методов инженерного благоустройства жилых территорий по критерию их влияния на водный баланс техногенного ландшафта;

– предложен новый показатель – «индекс водного баланса ландшафта», учитывающий как природные, так и техногенные факторы водного баланса среды и позволяющий оценить необходимость применения компенсационных мероприятий в инженерном благоустройстве, а также их объём;

– разработана логико-математическая модель состояния водного баланса городской территории, учитывающая влияние и взаимосвязь природных и техногенных факторов;

– выявлены факторы, характеризующие техногенное влияние исторически сложившейся городской среды на водный баланс техногенного ландшафта, определены величины этих факторов в зависимости от выделенных морфотипов жилой застройки г. Екатеринбурга;

– разработана методика анализа и прогноза изменений водного баланса инженерного благоустройства территорий города, позволяющая принять решение о характере и объёме мероприятий, компенсирующих нарушения водного баланса техногенного ландшафта.

**Теоретическая и практическая значимость работы** заключается в том, что предложенные теоретические положения, установленные зависимости и расчётные методики позволяют муниципальным органам по благоустройству, министерствам и ведомствам, контролирующим и регулирующим строительную экологическую деятельность на территории городов, а также проектным организациям оценивать и проектировать инженерное благоустройство, предусматривающее компенсирующие мероприятия с целью создания комфортного микроклимата жилой городской среды.

В диссертации исследованы закономерности развития и даны предложения по совершенствованию основ градостроительной и планировочной деятельности в сфере экологически обоснованного благоустройства городских территорий. Значение разработки и решение обозначенной научной проблемы заключается в улучшении функциональных, социальных, гигиенических и эстетических параметров среды обитания и жизнедеятельности людей.

Разработаны методы оценки изменений водного баланса с последующей выдачей рекомендаций по устройству компенсационных мероприятий, полностью или частично восстанавливающих исходный (природный) водный баланс на городской территории и пригодные для применения в зависимости от типа проектируемого инженерного благоустройства.

**Методология и методы диссертационного исследования.** Методологической и методической базой исследования являются фундаментальные положения градостроительства, архитектуры и экологии городской среды в области инженерного благоустройства застраиваемых и реконструируемых городских территорий. Исследования проводились с

применением методологии системного подхода к научной проблеме сохранения водного баланса методами инженерного благоустройства, теории экологии городской среды, предметно-логического и сравнительного анализов, методов математической обработки статистических данных и экспертных оценок. В работе использовались данные натурных обследований жилой застройки г. Екатеринбурга, специально собранные и обработанные автором для целей диссертационного исследования.

**Методы исследования:** изучение специальной литературы и архивных материалов; аналитический метод; экспертные опросы; метод картографического анализа; натурные обследования; метод измерений; статистическая обработка материалов натурных обследований; моделирование состояний водного баланса городской территории.

**Положения, выносимые на защиту:**

– типология методов инженерного благоустройства территорий, учитывающая состояние водного баланса техногенного ландшафта;

– метод оценки влияния техногенной среды на естественный водный баланс территории с помощью предложенного в работе показателя «индекс водного баланса ландшафта», определяющего тип инженерного благоустройства, а также характер и объём компенсационных мероприятий;

– логико-математическая модель состояния водного баланса городской территории, учитывающая влияние и взаимосвязь природных и техногенных факторов;

– результаты исследования техногенных изменений водного баланса ландшафта, вызванных жилой застройкой по фактору нарушения поверхностного стока и фактору утечек из водонесущих сетей;

– методика оценки и проектирования инженерного благоустройства, с применением компенсационных мероприятий, восстанавливающих водный баланс ландшафта.

**Степень достоверности и апробация результатов.** Достоверность подтверждена методами математической статистики, использованными при анализе данных, полученных методом случайного отбора в ходе обработки результатов обследований. В работе применено моделирование состояния водного баланса техногенного ландшафта, результаты которого подтверждают теоретические выводы.

Результаты диссертационной работы докладывались на XVII Международной межвузовской научно-практической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых «Строительство – формирование среды жизнедеятельности», г. Москва, 2014г.; Международной конференции «Экономические и технические аспекты безопасности строительных критичных инфраструктур», г. Екатеринбург, 2015г.; Международной научной конференции «Современные тенденции развития городских систем», посвященной 135-летию со дня рождения профессора, основателя уральской архитектурной школы К.Т. Бабыкина, г. Екатеринбург, 2015г.

**Личный вклад** соискателя заключается в анализе отечественного и зарубежного опыта организации поверхностного водоотвода; в разработке классификации инженерного благоустройства и логико-математической модели водного баланса городской территории; в исследовании техногенных факторов, влияющих на водобалансовое состояние застроенной территории; разработке методики проектирования инженерного благоустройства на основе оценки состояния водного баланса городской территории и разработки комплекса компенсационных мероприятий.

**Публикации.** Основные результаты диссертации изложены в 7 работах, из которых 3 работы опубликованы в журналах, включенных в перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук.

**Структура и объем диссертационной работы.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, основных результатов и выводов, списка литературы и приложений. Содержит 162 страницы машинописного текста, 36 рисунков, 16 таблиц, 20 формул и 4 приложения. Список литературы включает 126 наименований отечественных и зарубежных авторов.

## **II ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во Введении** дан краткий обзор истории вопроса, обоснована актуальность и степень разработанности темы исследования. Определены цели и задачи, сформулирована научная новизна, отмечена теоретическая и практическая значимость работы. Приведены сведения о методологии и методах исследования, степени достоверности и апробации результатов исследования, а также личном вкладе соискателя, представлены данные о структуре и объёме диссертационной работы.

**В первой главе «Влажностный режим городских ландшафтов»** выполнен анализ литературы и сравнение существующего состояния инженерного благоустройства в современных городах России и за рубежом, который позволил сделать вывод о том, что инженерное благоустройство в России в части поверхностного водоотвода направлено в первую очередь на скорейший отвод поверхностных вод с территории застройки для обеспечения комфортных и безопасных условий передвижения транспорта и пешеходов, а также защиты зданий и сооружений. Оценка техногенного воздействия на поверхностный сток в отечественной градостроительной практике имеет уклон в сторону предотвращения загрязнения окружающей среды выбросами вредных веществ. На законодательном уровне регулирование объёмов поверхностного стока оценивается только с точки зрения пропускной способности системы и мощности очистных сооружений. Оценка с точки зрения нарушения водного баланса в российской практике градостроительства отсутствует.

Сделан вывод о том, что с учётом современных тенденций следует пересмотреть подход к отводу и выпуску дождевого стока с городской территории. Главными принципами должны стать исключение смешивания

условно чистого стока с крыш с поверхностным стоком на заасфальтированных покрытиях улиц и проездов, а также максимальное задержание осадков в месте их выпадения.

На основе западного опыта применения, проектирования и строительства выделены следующие методы и технологии по задержанию дождевой воды на территории:

а) Повсеместное, где это возможно, устройство водопоглощающих покрытий с малым коэффициентом стока.

б) Устройство «зелёных» крыш.

в) Отвод дождевых вод в специальные задерживающие системы – мульды (нем. die Mulde), которые представляют собой озеленённые протяженные или точечные понижения поверхности, а также пруды или траншеи, вписанные в ландшафт.

г) Отвод чистого дождевого стока в подземные фильтрующие траншеи (нем. die Regole), в которых происходит перераспределение поверхностного стока в грунтовый без образования зеркала воды на поверхности земли

д) Отвод дождевой воды в подземные ёмкости-резервуары с последующим использованием для полива и хозяйственно-бытовых нужд.

Выявлено, что в современной отечественной градостроительной деятельности практически не присутствует практика создания регулирующих стоков природно-антропогенных объектов с применением средств ландшафтного дизайна при комплексном учёте природоохранных, социальных, психологических и архитектурно-ландшафтных особенностей городской среды. Также выявлена потребность в создании методики анализа водного баланса территорий с учётом естественных и техногенных факторов для более точного определения ожидаемого водного состояния техногенного ландшафта после освоения или реконструкции городской территории.

**Во второй главе «Модель водобалансового состояния техногенного ландшафта»** на основе анализа отечественного и зарубежного опыта проектирования инженерного благоустройства городских территорий с учётом факторов, влияющих на формирование цикла стока, предложена следующая типология методов инженерного благоустройства:

1. Благоустройство типа: «*B-minus*» – когда проектируемый техногенный ландшафт имеет тенденцию *на перенасыщение* или *на подтопление* (рисунок 1). Запроектированные или существующие элементы благоустройства и гидрогеологические условия: фильтрационные свойства грунтов, слагающих площадку, естественное положение уровня грунтовых вод и т. д., приводят к подтоплению территории, повышению уровня грунтовых вод, что в свою очередь может нарушать влажностный режим заглублённых частей зданий и сооружений. На таких территориях требуется регулирование и стабилизация влажностного режима, устройство инженерного благоустройства, предотвращающего инфильтрацию поверхностных вод непосредственно на площади выпадения. Компенсационные мероприятия, направленные на

поддержание комфортного микроклимата, должны обеспечивать испарение и исключать инфильтрацию грунтовых вод в пределах рассматриваемой площадки строительства.



**Рисунок 1 – Благоустройство типа «B-minus»**

2. Благоустройство типа: «B-0» – когда проектируемый ландшафт имеет *стабильное равновесное состояние* с точки зрения водного баланса (рисунок 2). Предложенный набор элементов инженерного благоустройства сохраняет естественное состояние ландшафта. Специальные компенсационные мероприятия не требуются.



**Рисунок 2 – Благоустройство типа «B-0»**

3. Благоустройство типа: «B-plus» – когда проектируемый ландшафт имеет *тенденцию на иссушение*. Запроектированные или существующие элементы благоустройства приводят к иссушению ландшафта, превращению его в техногенную среду (рисунок 3). Такие площадки, как правило, сложены хорошо фильтрующими грунтами, имеют ковровое инженерное благоустройство, поверхностный почвенный слой запечатан водонепроницаемыми покрытиями. Компенсационные мероприятия здесь должны быть направлены на увеличение времени цикла стока. Они разрабатываются с целью максимального задержания выпавших осадков на территории, и в то же время, они должны исключать поднятие уровня грунтовых вод и развитие техногенного подтопления.



Рисунок 3 – Благоустройство типа «B-plus»

На основе изученных факторов, влияющих на водный баланс территории, предложена *описательная (дескриптивная) модель состояния водного баланса городской территории* (рисунок 4).

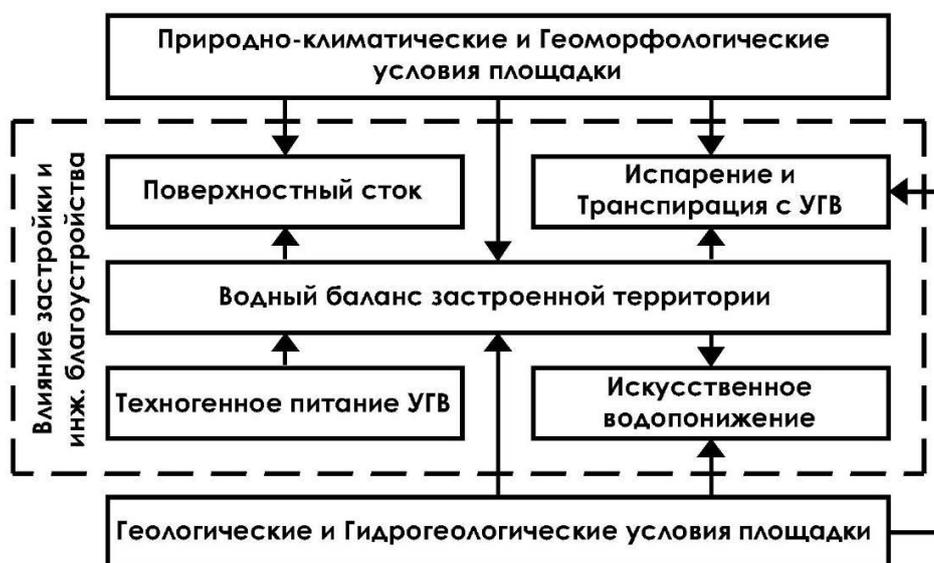


Рисунок 4 – Дескриптивная модель состояния водного баланса городской территории

Для моделирования возможных состояний водного баланса городской территории в результате анализа различных существующих математических описаний водобалансового состояния техногенного ландшафта *уравнение водного баланса* в градостроительном понимании в настоящем исследовании представлено в следующем виде:

$$(P - S) + E_{техн} = W + (U + T) + D, \quad (1)$$

где  $P$  – среднегодовое количество атмосферных осадков;

$S$  – величина поверхностного стока, т.е.  $(P - S)$  представляет собой величину атмосферных осадков, задерживающихся на исследуемой территории;

$E_{техн}$  – величина техногенной инфильтрации за счёт утечек из подземных водонесущих коммуникаций и поливных вод;

$W$  – инфильтрационная ёмкость грунтов;

$U$  – расход влаги на испарение;  
 $T$  – расход влаги на транспирацию;  
 $D$  – расход грунтовых вод в дренажи.

Для проведения анализа водного баланса территории, определения тенденции его изменения при застройке и освоении и выявления типа проектируемого благоустройства в результате преобразования уравнения водного баланса предложен новый показатель: «**индекс водного баланса ландшафта**» – *Index*. Этот показатель характеризует способность ландшафта «поглощать» выпавшие на этой территории осадки с учётом техногенного питания грунтовых вод. Количественно эту величину предложено определять отношением «условного объёма питания» ландшафта –  $E$ , к «условному потенциалу поглощения» –  $Q$ , которые соответственно равны сумме питающих  $((P - S) + E_{техн})$  и поглощающих  $(W + (U + T) + D)$  составляющих уравнения водного баланса:

$$Index = E / Q \quad (2)$$

Индекс водного баланса ландшафта характеризует водобалансовую ёмкость ландшафта и является «индикатором», позволяющим сделать прогноз состояния проектируемого техногенного ландшафта с точки зрения водного баланса. Это критерий, который говорит о необходимости включения в состав благоустройства компенсационных мероприятий. С помощью *Index* можно определить необходимый объём компенсационных мероприятий путём сравнения исходного водобалансового состояния ландшафта и состояния после освоения или реконструкции.

Таким образом, в случае, когда условный объём питания равен условному потенциалу поглощения, а *Index* равен единице, ландшафт имеет *стабильное состояние*, находится в водобалансовом равновесии и соответствует типу благоустройства «В-0».

При значениях *Index* *более единицы* на территорию поступает больше влаги, чем ландшафт может «поглотить», а значит, имеет *тенденцию на перенасыщение* и относится к типу благоустройства «В-*minus*». В этом случае задачей является приведение ландшафта в равновесное состояние путём увеличения его водобалансовой ёмкости и снижение риска развития подтопления. Могут быть применены компенсационные устройства, задерживающие атмосферные осадки и обеспечивающие охлаждающее испарение с поверхностей без инфильтрации воды в грунт.

При значениях *Index* *менее единицы* условный потенциал поглощения превышает условный объём питания, а ландшафт имеет *тенденцию на иссушение*, такое инженерное благоустройство относится к типу «В-*plus*». В этом случае, необходимо применять компенсационные мероприятия задерживающего типа, причём не только испаряющие, но и инфильтрующие атмосферные осадки в грунт.

Разработана **логико-математическая модель состояния водного баланса застроенной территории:**

$$\left\{ \begin{array}{l} E_{техн} \rightarrow 0 \\ S \rightarrow 0 \\ E = (P - S) + E_{техн} \\ Q = W + (U + T) + D \\ Index = E / Q \rightarrow 1 \\ 0,5 E_{ест} \leq E \leq 1,5 E_{ест} \\ 0,5 Q_{ест} \leq Q \leq 1,5 Q_{ест} \end{array} \right.$$

В основе данной модели лежит предложенный показатель «индекс водного баланса ландшафта», в ней учитываются сведения о допустимых пределах антропогенного изменения окружающей среды, влияние и взаимосвязь природных и техногенных факторов водного баланса городской территории.

**В третьей главе «Техногенное влияние существующей застройки на водный баланс территории города»** выделены два наиболее весомых техногенных фактора, влияющих на водный баланс ландшафта, а значит и на величину принятого индекса водного баланса ландшафта, *Index*:

– фактор *нарушения естественного поверхностного стока* в результате вертикальной планировки территории, устройства систем организованного поверхностного водоотвода, устройства искусственных покрытий в том числе «зачеканивание» дневной поверхности земли водонепроницаемыми покрытиями, то есть техногенное влияние на поверхностный сток;

– фактор, влияющий на подземный сток, то есть нарушение естественных гидрогеологических условий в результате освоения подземного пространства и устройства инженерных сетей, здесь в большей степени влияние оказывают *утечки из водонесущих коммуникаций*.

С целью определения количественных показателей техногенных составляющих индекса водного баланса ландшафта было выделено четыре исторически сложившихся морфотипа жилой застройки, широко представленной в городе Екатеринбурге, объекте исследования, за основу была взята историческая типология жилой застройки, предложенная архитектором Лыжиным С. М. (таблица 1):

- индивидуальная и малоэтажная застройка разных периодов;
- пятиэтажная застройка «первого поколения» (Хрущевского периода) 1960–70-х гг.;
- многоэтажные (9-16) панельные индустриальные дома «второго и третьего поколения» 1980-х и начала 1990-х гг.;
- современная многоэтажная застройка начиная с конца 1990-х гг.

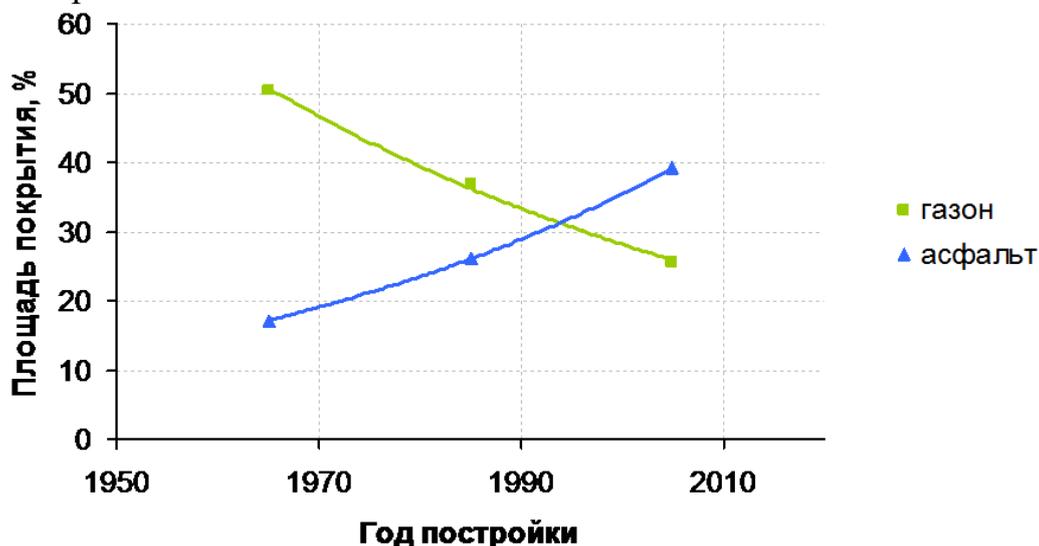
Исследование **нарушения естественного поверхностного водоотвода** свелось к исследованию коэффициента поверхностного стока и влияющих на него параметров. В результате установлено, что коэффициент, а значит и объём поверхностного стока зависит: от типа поверхности; от интенсивности осадков; от вида грунтов, слагающих площадку, их водопроницаемости и фильтрационных свойств; от уклонов водосборной площади; опосредованно от ряда характеристик застройки: этажность, возраст, плотность застройки; в

сравнении с данными, принимаемыми в Германии от качества покрытий и применяемых материалов.

Вышеперечисленные факторы, влияющие на объём поверхностного стока, можно разделить на естественные и техногенные. После анализа справочных данных выявлено, что коэффициенты поверхностного стока для разных морфотипов застройки в процессе дальнейшего исследования могут быть назначены в диапазонах, указанных в таблице 1.

Для исследования существующего инженерного благоустройства жилых районов г. Екатеринбурга разных периодов постройки, состояния покрытий поверхности земли и состояния поверхностного водоотвода была выполнена аналитическая обработка данных инженерно-топографических планов, а также проведено натурное обследование этих территорий. В результате установлено, что для каждого выделенного морфотипа застройки характерно определённое соотношение баланса поверхностей (см. таблицу 1).

По полученным результатам (данным графика, представленным на рисунке 5) прослеживается увеличение количества заасфальтированных поверхностей, и наблюдается тенденция зачеканивания дневной поверхности земли в водонепроницаемые покрытия в исторической ретроспективе развития города, то есть в городе Екатеринбурге (как объекте исследования) зафиксирована ситуация, аналогичная тенденциям, имеющим место в странах западной Европы.

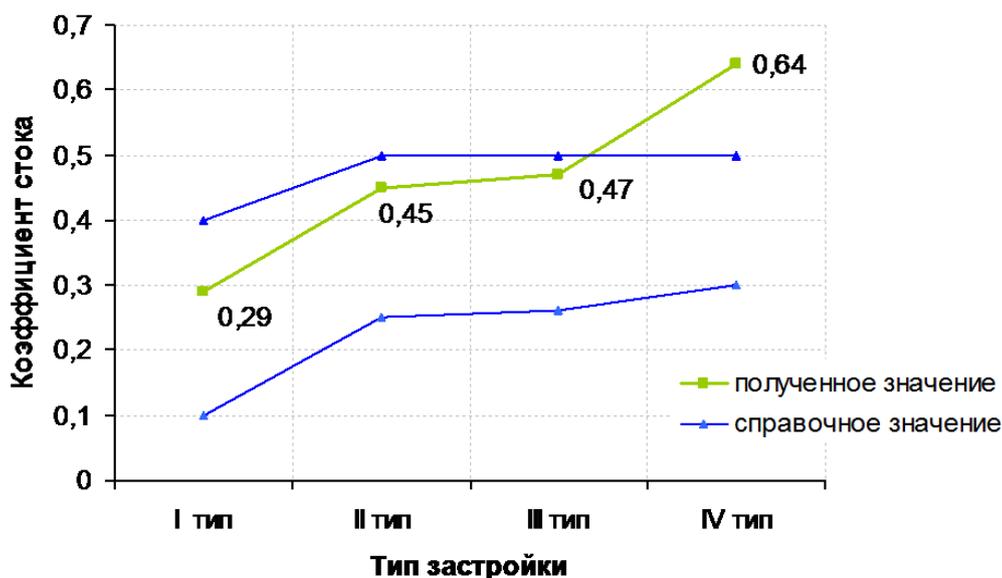


**Рисунок 5 – Зависимость процента площади покрытий от года постройки для массовой жилой застройки г. Екатеринбурга**

Для моделирования процесса влияния сложившегося окружения автором был введён вспомогательный коэффициент «бессточных участков». Предложенный коэффициент характеризует состояние водонепроницаемых покрытий в техногенном ландшафте, к которым в первую очередь относятся заасфальтированные плоскости проезжих частей проездов и тротуаров. Под техногенными «бессточными участками» понимаются лужи, ямы, понижения и провалы, образовавшиеся на поверхности заасфальтированных покрытий и приводящие к нарушению поверхностного стока. Природа появления таких

бессточных участков разнообразна: от проектных ошибок при выполнении вертикальной планировки и погрешностей при строительстве до постепенного износа покрытий в условиях отсутствия капитального ремонта. Значения коэффициента бессточных участков зависят от исторически сложившегося типа застройки (см. таблицу 1).

В процессе дальнейшего моделирования по результатам натурных обследований площадок города Екатеринбурга и анализа существующих нормативных данных, как в России, так и в Западной Европе, был получен **усредненный коэффициент поверхностного стока** в зависимости от принятых морфотипов застройки с учётом полученных в результате исследования баланса покрытий (для всех четырёх типов застройки) и коэффициента бессточных участков (для II и III типов застройки). Сравнение полученных результатов с известными значениями из справочной литературы представлено на рисунке 6 и таблице 1.



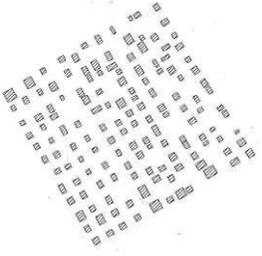
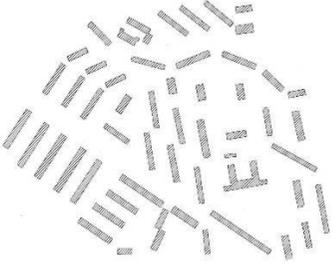
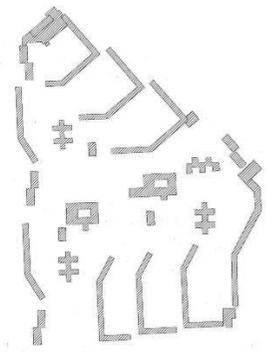
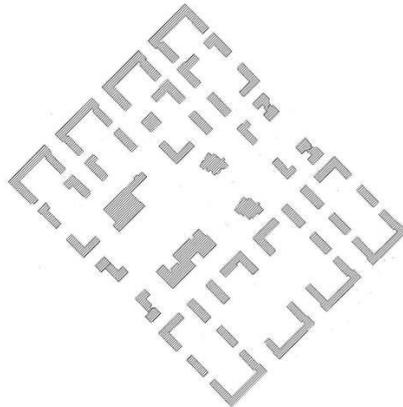
**Рисунок 6 – Зависимость коэффициента поверхностного стока от типа застройки**

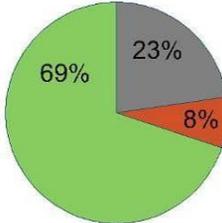
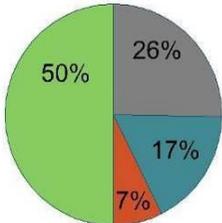
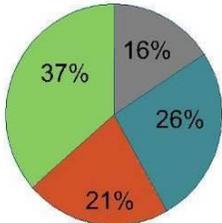
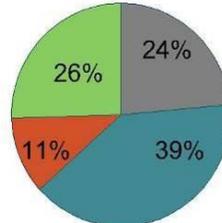
Для определения объёма утечек из водонесущих сетей была вычислена средняя протяженность водонесущих коммуникаций в районах с разными морфотипами застройки и далее на основе расчётных формул определён усредненный объём утечек из инженерных сетей в зависимости от усредненной протяженности водонесущих коммуникаций, присущей отдельным историческим типам застройки. Полученные данные сведены в таблицу 1.

В четвертой главе «Методика проектирования благоустройства городских территорий с учётом водного баланса техногенного ландшафта» разработана методическая последовательность оценки и прогноза изменений водного баланса ландшафта в процессе застройки или реконструкции территории, компенсирующие нарушения водного баланса территории на основе показателей условного объёма питания ( $E$ ), условного потенциала поглощения ( $Q$ ) и индекса водного баланса ландшафта ( $Index$ ).

Выполнено тестовое моделирование состояния водного баланса для ландшафта в естественном и застроенном состоянии для г.Екатеринбурга.

**Таблица 1 – Техногенные составляющие водного баланса ландшафта в зависимости от исторически сложившихся морфотипов застройки города Екатеринбурга**

Тип застройки	I	II	III	IV
Общая характеристика	Индивидуальная и малоэтажная застройка	Массовое индустриальное домостроение «первого поколения» (хрущёвского периода)	Массовая многоэтажная жилая застройка «второго и третьего поколения»	Современная многоэтажная жилая застройка
Этажность	1-3	5	9-16	9-16-25
Года постройки	разные периоды XX в.	1960 – 1970-е гг.	1980-е – начало 1990-х гг.	конец 1990-х – 2000-е гг.
Материал	деревянные, кирпичные дома	крупноблочные, кирпичные жилые дома, панельные дома первого поколения	панельные индустриальные дома второго и третьего поколения	кирпичные, монолитно-каркасные дома
Планировочные характеристики	частные жилые дома с приусадебными участками	строчный приём застройки кварталов, в конце периода наблюдается переход к групповому приёму застройки	в основном групповой приём планирования микрорайонов	точная застройка, при строительстве на неосвоенных территориях периметральный и групповой приём застройки
Характерная планировочная структура				
Доля данного типа застройки в общей площади массовой жилой застройки г.Екатеринбурга	-	47,6* %	33,3* %	19,1* %

Характерные примеры зданий				
Соотношение покрытий * - крыши - газон - асфальт - грунтовое покрытие				
Коэффициент «бессточных участков» / средняя глубина мурд	-	0,015-0,028* / 29-53* мм	0,011-0,022* / 18-45* мм	-
Коэффициент стока / справочный коэффициент стока	0,29* / 0,10 – 0,40	0,45* / 0,25 – 0,50	0,47* / 0,26 – 0,50	0,64* / 0,30 – 0,50
Усредненные значения плотности водонесущей сети (канализация / водоснабжение / теплоснабжение)	-	264* / 168* / 134*	180* / 101* / 69*	-
Суммарное количество утечек в зависимости от усредненной протяженности водонесущих сетей	-	$1,619* \times 10^{-3} \text{ м}^3/\text{сут на } 1 \text{ м}^2$	$1,042* \times 10^{-3} \text{ м}^3/\text{сут на } 1 \text{ м}^2$	-

Примечание: значком «\*» помечены данные, полученные в результате настоящего исследования

Состояние ландшафта принято в одинаковых исходных гидрогеологических (грунтовые воды залегают на глубине 3 м, площадка сложена суглинисто-супесчаными грунтами) и климатических условиях в естественном состоянии и при расположении на этом участке застройки четырех морфотипов существующей застройки. После калибровки модели было выполнено моделирование состояния водного баланса ландшафта по грунтовым условиям на основе показателя *Index* для четырех выделенных морфотипов застройки и ландшафта в естественном состоянии, результаты моделирования сведены в таблице 2.

**Таблица 2 – Моделирование состояния водного баланса ландшафта по грунтовым условиям в зависимости от выделенных морфотипов застройки г. Екатеринбурга**

$Index = \frac{E}{Q}$	Глина	Суглинок	Суглинок / Супесь	Супесь	Песок
В естеств. состоянии	$1,08 = \frac{2,23}{2,06}$	$1,06 = \frac{2,23}{2,11}$	$1,00 = \frac{2,23}{2,26}$	$0,91 = \frac{2,23}{2,45}$	$0,86 = \frac{2,23}{2,60}$
I тип	$0,91 = \frac{1,58}{1,74}$	$0,89 = \frac{1,58}{1,78}$	$0,83 = \frac{1,58}{1,91}$	$0,76 = \frac{1,58}{2,08}$	$0,72 = \frac{1,58}{2,21}$
II тип	$2,14 = \frac{2,88}{1,35}$	$2,11 = \frac{2,88}{1,37}$	$1,97 = \frac{2,88}{1,46}$	$1,82 = \frac{2,88}{1,58}$	$1,72 = \frac{2,88}{1,67}$
III тип	$1,46 = \frac{2,22}{1,52}$	$1,40 = \frac{2,22}{1,59}$	$1,29 = \frac{2,22}{1,72}$	$1,17 = \frac{2,22}{1,89}$	$1,09 = \frac{2,22}{2,03}$
IV тип	$0,81 = \frac{0,80}{1,00}$	$0,79 = \frac{0,80}{1,02}$	$0,74 = \frac{0,80}{1,08}$	$0,68 = \frac{0,80}{1,18}$	$0,64 = \frac{0,80}{1,25}$

Сходимость результатов моделирования существующего состояния водного баланса застроенного ландшафта с реальными данными по объектам города Екатеринбурга свидетельствуют о достаточной степени достоверности предложенной модели. Таким образом, модель состояния водного баланса городской территории и методика проектирования инженерного благоустройства городских территорий с учётом водного баланса ландшафта на основе показателя *Index* могут быть использованы в практической деятельности при разработке документации по планировке территории для оценки отклонения водобалансового состояния ландшафта от предельно допустимых значений относительно естественного состояния; выдачи рекомендаций по необходимости разработки компенсационных мероприятий для застраиваемой или реконструируемой территории города; определения типа и объёма применяемых компенсационных мероприятий на более детальных стадиях архитектурно-строительного проектирования.

### III ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенных исследований по проектированию инженерного благоустройства, компенсирующего нарушения водного баланса, позволяют сделать следующие выводы:

1. В результате изучения литературы и существующего состояния инженерного благоустройства в современных городах России и за рубежом сделан вывод о том, что в российской практике инженерное благоустройство направлено исключительно на скорейший отвод поверхностных вод с территории застройки. При этом установлено, что градостроительная деятельность человека оказывает на природный ландшафт масштабное антропогенное влияние, в результате которого застроенные территории подвержены иссушению или переувлажнению (техногенному подтоплению). С учётом современных тенденций следует изменить подход к отводу и выпуску дождевого стока с городской территории. Главным принципом должно стать исключение смешивания условно чистого стока с крыш с поверхностным стоком на покрытиях улиц и проездов, а также максимальное задержание осадков в месте их выпадения путём реализации альтернативных систем поверхностного водоотвода. Для чего следует внедрить (по аналогии с западноевропейской градостроительной практикой) компенсационные мероприятия, которые по характеру действия можно разделить на поглощающие и испаряющие.

2. На основе анализа отечественного и зарубежного опыта проектирования инженерного благоустройства застраиваемых территорий с учётом факторов, влияющих на формирование цикла стока, предложена классификация инженерного благоустройства, а также введён показатель: «индекс водного баланса ландшафта» – *Index*. Показатель *Index* представлен отношением «условного объёма питания» ландшафта к «условному потенциалу поглощения». С помощью этого показателя определяется характер водобалансового состояния ландшафта и, соответственно, тип инженерно благоустройства:

– благоустройство типа: «*B-minus*» для ландшафтов с тенденцией на перенасыщение (подтопление), значения *Index* более единицы, на территорию поступает больше влаги, чем ландшафт может «поглотить»;

– благоустройство типа: «*B-0*» для ландшафтов с тенденцией на стабильное состояние, *Index* равен единице;

– благоустройство типа: «*B-plus*» для ландшафтов с тенденцией на иссушение, значения *Index* менее единицы, ландшафт способен «принять» больше влаги, чем на него поступает.

3. Разработана логико-математическая модель состояния водного баланса городской территории, в основе которой лежит предложенный показатель «индекс водного баланса ландшафта», учитывающая влияние и взаимосвязь природных и техногенных факторов, а также допустимые пределы антропогенного изменения окружающей среды.

4. С целью определения количественных показателей техногенных составляющих водного баланса ландшафта были выделены четыре исторически сложившихся морфотипа жилой застройки города Екатеринбурга:

- индивидуальная и малоэтажная застройка разных периодов;
- пятиэтажная застройка «первого поколения» (Хрущевского периода) 1960–70-х гг.;
- многоэтажные (9-16) панельные индустриальные дома «второго и третьего поколения» 1980-х и начала 1990-х гг.;
- современная многоэтажная застройка начиная с конца 1990-х гг.

В результате исследования этих четырех типов застройки:

– установлено определенное соотношение баланса поверхностей, при этом полученные зависимости показывают тенденцию увеличения процента «зачеканенных» в асфальт поверхностей в исторической ретроспективе развития города;

– выполнена оценка состояния и качества заасфальтированных плоскостей проезжих частей проездов и тротуаров, введен коэффициент «бессточных участков»;

– получены усредненные коэффициенты поверхностного стока;

– определены объемы утечек из инженерных сетей в зависимости от усредненной протяженности водонесущих коммуникаций.

5. Разработана методика анализа и прогноза водобалансового состояния инженерного благоустройства городских территорий. Расчёты, выполненные по данной методике, в исходном состоянии «до» и состоянии «после» застройки (проектируемое благоустройство) дают представление о потенциальной степени изменения водного баланса в результате строительства, позволяют оценивать отклонения водобалансового состояния ландшафта от предельно допустимых значений относительно естественного состояния. Методика может быть применена в практической деятельности для реализации альтернативного подхода к проектированию систем инженерного благоустройства с применением мероприятий, компенсирующих влияние застройки территории на водный баланс техногенного ландшафта, при разработке документации по планировке территории.

6. Выполнено моделирование состояний водного баланса техногенного ландшафта для выделенных морфотипов существующей застройки г. Екатеринбурга по грунтовым условиям. Полученные в процессе тестового моделирования результаты соответствуют данным многолетних инженерных изысканий и подтверждаются экспертными опросам специалистов.

#### **Рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы**

Используя полученную в результате исследования методику можно сделать вывод о необходимости применения компенсационных мероприятий в рамках разработки конкретного градостроительного проекта. На основе выведенного показателя *Index* и результатов моделирования водного баланса может быть запроектировано благоустройство с учётом водного баланса техногенного ландшафта, а также рассчитаны и детально разработаны

компенсационные устройства, направленные на создание комфортного микроклимата городских территорий. При этом разработка альтернативных систем поверхностного водоотвода на основе предложенной модели состояния водного баланса застроенной территории и методики проектирования инженерного благоустройства может осуществляться как при новом строительстве, так и при реконструкции уже застроенной территории.

Выводы и результаты исследования, могут стать основой для дальнейшего внедрения в отечественную практику организации дождевого стока с городской территории принципа исключения смешивания условно чистого поверхностного и грунтового стока (сток с крыш, дренажные воды и т.д.) со стоком с покрытий проезжих частей улиц и проездов, а также принципа максимального задержания осадков в месте их выпадения.

Интерес представляет более детальное изучение и более конкретное определение допустимых пределов антропогенного изменения окружающей среды при застройке территории в рамках усовершенствования разработанной логико-математической модели состояния водного баланса городской территории и уточнения лежащего в основе модели показателя «индекс водного баланса ландшафта», учитывающего влияние и взаимосвязь природных и техногенных факторов.

В долгосрочной перспективе результаты исследования могут быть использованы для разработки градостроительного инструментария, направленного на сохранение естественных ландшафтов и стимулирование освоения и застройки в первую очередь бывших промышленных территорий, пустырей и прочих «неудобных» объектов в пределах города.

#### **IV ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ИССЛЕДОВАНИЯ**

**Публикации в изданиях, включенных в перечень рецензируемых научных изданий:**

1. Тиганова И.А. Влияние инженерного обеспечения застраиваемых территорий на водный баланс техногенных ландшафтов // Архитектон: известия вузов. – 2012. – № 3 (39). – С. 136-140. Режим доступа: [http://archvuz.ru/2012\\_3/13](http://archvuz.ru/2012_3/13).
2. Тиганова И.А. Индекс водного баланса застраиваемой территории // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. – 2013. – №4 – С. 30-32.
3. Тиганова И.А. Водонепроницаемые покрытия: эволюция инженерного благоустройства города // Архитектон: известия вузов. – 2015. – №3 (51). – С. 8. Режим доступа: [http://archvuz.ru/2015\\_3/8](http://archvuz.ru/2015_3/8).

**Статьи, опубликованные в других научных журналах и изданиях:**

4. Тиганова И.А. Техногенное влияние жилой застройки на естественное состояние территорий // В сборнике научных трудов «Строительство и образование». – Екатеринбург: УрФУ, 2012. – №15.
5. Тиганова И.А., Ведерников А.А. Исследование техногенных факторов, влияющих на поддержание естественного водно-теплового баланса и создание комфортного микроклимата городской среды (на примере города

- Екатеринбурга) // В сборнике Материалов XVII Международной межвузовской научно-практической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых «Строительство – формирование среды жизнедеятельности». – М.: МГСУ, 2014. – С. 150-160.
6. Тиганова И.А., Ведерников А.А., Рязанова Е.Д. «Зеленое строительство» как инструмент градостроительного регулирования // В сборнике материалов международной конференции «Экономические и технические аспекты безопасности строительных критичных инфраструктур». – Екатеринбург : УрФУ, 2015. – С. 173-176.
  7. Тиганова И.А., Епифанова А.С. Современное состояние и тенденции в организации поверхностного водоотвода в России и за рубежом // В сборнике материалов Международной научной конференции, посвященной 135-летию со дня рождения проф., основателя уральской архитектурной школы К.Т. Бабыкина «Современные тенденции развития городских систем» / под ред. С.П. Постникова, Ю.С. Янковской, Е.Ю. Витюк. – Екатеринбург: УралГАХУ, 2015. – С. 202–204.