

Academia. Архитектура и строительство, № 2, стр. 179–183.  
Academia. Architecture and Construction, no. 2, pp. 179–183.

Исследования и теория

Обзоры

УДК 556.5.06

DOI: 10.22337/2077-9038-2026-2-179-183

## Адаптация проектных решений дворовых систем водоотведения к условиям меняющегося климата

**Суэтина Татьяна Александровна** (Москва). Доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РААСН. Дорожно-строительный институт Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета. Эл. почта: t\_a\_souetina@mail.ru

**Надеждин Владимир Сергеевич** (Москва). Кандидат технических наук, доцент. Дорожно-строительный институт Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета. Эл. почта: v.nadejdin@madi.ru

**Одиноква Ирина Вячеславовна** (Москва). Дорожно-строительный институт Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета. Эл. почта: odinokova\_iv@mail.ru

**Жажа Елена Юрьевна** (Москва). Дорожно-строительный институт Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета. Эл. почта: l-jaja@mail.ru

**Морозова Мария Ивановна** (Москва). «Energy Group» (125371, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 116, пом. 439). Эл. почта: maria.moroz.2003@mail.ru

*Аннотация:* В условиях глобального потепления практически повсеместно наблюдается увеличение интенсивности и изменение сезонных режимов выпадающих осадков, повышение уровня грунтовых вод, рост температуры и испаряемости. Это приводит к изменению гидрологических условий и влияет на методы проектирования дворовых систем водоотведения. Возникает необходимость использования современных климатических сценариев, вероятностных моделей и гидрометеорологических моделей для оценки экстремальных нагрузок. В статье приведены примеры применения новых подходов к решению данной проблемы в российских и европейских городах. Сделан вывод о необходимости адаптации проектных решений к условиям меняющегося климата для обеспечения устойчивости и эффективности работы дворовых систем водоотведения.

*Ключевые слова:* климатические изменения, гидравлические расчёты, дворовые пространства, экстремальные осадки, уровень грунтовых вод, гидравлические модели, системы водоотведения, зелёные технологии

*Для цитирования.* Суэтина Т.А., Надеждин В.С., Одиноква И.В., Жажа Е.Ю., Морозова М.И. Адаптация проектных решений дворовых систем водоотведения к условиям меняющегося климата // Academia. Архитектура и строительство. 2026. № 2. С. 179–183. DOI: 10.22337/2077-9038-2026-2-179-183.

## Adapting Courtyard Drainage System Designs to Changing Climate Conditions

**Suehtina Tat'yana. A.** (Moscow). Doctor of Sciences in Technology, профессор, член-корреспондент РААСН. The Road Construction Institute of The Moscow Automobile and Road Construction State Technical University. E-mail: t\_a\_souetina@mail.ru

**Nadezhdin Vladimir S.** (Moscow). Candidate of Sciences in Technology, Docent. The Road Construction Institute of The Moscow Automobile and Road Construction State Technical University. E-mail: v.nadejdin@madi.ru

**Odinokova Irina V.** (Moscow). The Road Construction Institute of The Moscow Automobile and Road Construction State Technical University. E-mail: odinokova\_iv@mail.ru

**Zhazha Elena Yu.** (Москва). The Road Construction Institute of The Moscow Automobile and Road Construction State Technical University. E-mail: l-jaja@mail.ru

**Morozova Mariya I.** (Moscow). «Energy Group». E-mail: maria.moroz.2003@mail.ru116

*Abstract:* In the conditions of global warming increase in intensity and change of seasonal behaviors of the dropping-out rainfall, increase in a ground water table, growth of temperature and evaporability is almost everywhere observed. It leads to change of hydrological conditions and influences design methods of domestic water disposal systems. There is a need of use of modern climatic scenarios, stochastic model and hydrometeorological models for assessment of extreme loadings. In article examples of application of new approaches to the solution of this problem in the Russian and European cities are given. The conclusion is drawn on need of adaptation of design decisions to conditions of the changing climate for ensuring stability and overall performance of domestic water disposal systems.

*Keywords:* climatic changes, hydraulic calculations, domestic spaces, extreme rainfall, ground water table, hydraulic models, water disposal systems, green technologies, climatic scenarios

*For citation.* Suehtina T.A., Nadezhdin V.S., Odinkova I.V., Zhazha E.Yu., Morozova M.I. Adapting Courtyard Drainage System Designs to Changing Climate Conditions. In: *Academia. Architecture and Construction*, 2026, no. 2, pp. 179–183, doi: 10.22337/2077-9038-2026-2-179-183.

Городские дворовые пространства призваны обеспечивать комфортные условия проживания для жильцов дома. Быстро развивающиеся процессы урбанизации привели к увеличению плотности застройки городских территорий как по горизонтали, так и по вертикали, а также к созданию искусственных покрытий в дворовых пространствах (парковки, велосипедные дорожки, спортивные и детские площадки). В результате площадь природных территорий во дворах, способных поглощать значительные объёмы выпадающих атмосферных осадков, резко уменьшилась.

По данным ВШЭ [1], водопроницаемость территорий с высотной застройкой находится в пределах 20-30%, что означает острую необходимость создания искусственных водоотводных систем для дворовых пространств. Водоотводные системы включают в себя водоприёмные колодцы для перехвата поверхностных стоков, трубопроводы, транспортирующие водные потоки (дождевые, талые воды) в системы водоотведения и на станции очистки воды.

Чтобы обеспечить эффективный дренаж и предотвратить подтопления во дворах, масштабные работы по проектированию и реконструкции систем водоотведения дворовых пространств в Москве интенсивно проводятся, начиная с 2014 года, в рамках программ по улучшению городской инфраструктуры. Проектирование таких систем осуществляется в соответствии с генеральными планами, проектами районной планировки и застройки с учётом размещения промышленных

предприятий, требований к очистке сточных вод, а также климатических условий, геологических, гидрологических, экологических условий [1].

Проектирование комфортного и безопасного двора является комплексной задачей, требующей профессионального подхода и решения множества задач: от инженерных до задач психологии восприятия пространства.

В настоящее время в условиях глобальных климатических изменений, характеризующихся повышением интенсивности и частоты экстремальных осадков, изменением уровня грунтовых вод, а также ростом температуры и испаряемости, при проектировании и эксплуатации систем водоотведения дворовых пространств требуется пересмотр классических подходов к гидравлическим и гидрологическим расчётам.

### **Влияние климатических изменений на гидравлические расчёты**

#### *Общие тренды климатических изменений*

В отчетах Межправительственной группы экспертов по изменению климата – МГЭИК (IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change), созданной для оценки научных аспектов климатической системы и изменения климата, вызванного антропогенными факторами, отмечены следующие ключевые тенденции:

– рост интенсивности и кратковременной силы осадков: согласно данным, в большинстве регионов мира наблюдается

увеличение частоты сильных дождей, что приводит к увеличению пиковых нагрузок на системы водоотведения;

- изменения сезонных режимов осадков: в некоторых регионах наблюдается смещение сезонов дождей, что усложняет планирование и проектирование объектов инфраструктуры;

- повышение уровня грунтовых вод. В результате увеличения количества осадков и потепления климата уровень грунтовых вод непрерывно растёт, увеличивая риск подтоплений. Согласно отчету МГЭИК [2], в прибрежных зонах наблюдается подъём уровня грунтовых вод до 10 см за десятилетие. В США (в Мичигане и Иллинойсе) уровни грунтовых вод поднимаются от 0,5 до 2 см в год. Установлено [3], что в России в Западной Сибири уровень грунтовых вод поднимается от 1 до 3 см в год, а в отдельных местах – до 5 см за год. Обзор летних и сезонных показателей на Северном Кавказе и в Восточной Европе показывает увеличение уровня грунтовых вод за последние 30 лет от 20 до 50 см. В летние периоды при сильных осадках уровень может подниматься до 10-15 см за месяц;

- рост температуры и испаряемости приводят к изменению водного баланса, влияющего на режим стока и гидравлическую нагрузку.

#### *Гидрологические и технические последствия климатических изменений*

Интенсивность кратковременных ливней увеличилась в последние годы [2] от значений 10-20 мм/ч до 30-50 мм/ч, при этом количество дней с осадками свыше 50 мм/ч увеличилось до 30% за последние 50 лет. Увеличение экстремально сильных кратковременных ливней ведёт к увеличению пиковых нагрузок на системы водоотведения, изменению характеристик поверхностного стока и скорости потоков.

Скорость потока поверхностных вод увеличилась в среднем от 10 до 40% в различных регионах из-за повышения интенсивности осадков. Объём поверхностных стоков вырос на 50% в пиковые периоды. Это ведёт к аккумуляции воды на водонепроницаемой поверхности дворового пространства.

В результате повышения вероятности локальных затоплений из-за перегрузки систем водоотведения возникает опасность затопления дворовых территорий и подтопления подвальных помещений. В некоторых мегаполисах число затоплений увеличилось в 2-3 раза за последние 30 лет. В Москве, например, уровень подтоплений увеличился на 15-20%, особенно в периоды сильных дождей, при этом интенсивность осадков превышает расчётные нагрузки для инфраструктуры на 30-50%.

Изменение уровней грунтовых вод негативно влияет на работу дренажных систем, вызывая их засорение, а также недостаточно эффективную работу.

#### **Возможные варианты решения**

Для решения возникающих проблем представляется целесообразным выполнение следующих шагов:

1. Корректировка существующих нормативных требований с учётом климатических сценариев.

При проектировании водоотводных систем традиционные гидравлические расчёты основаны на исторических данных о средних и пиковых объёмах осадков за длительный период (обычно 100 лет). В условиях изменения климата эти данные начинают терять свою актуальность, поскольку экстремальные осадки становятся более частыми и интенсивными. Для обеспечения надёжной работы систем водоотведения необходимо:

- использовать обновлённые климатические сценарии для моделирования сценариев пиковых нагрузок, например, с помощью модели РАНЕ (Российская адаптивная климатическая модель), интегрирующей данные по изменению климата и позволяющей прогнозировать последствия для гидрологической системы, уровня грунтовых вод, осадков и температуры;

- региональных сценариев развития климата на базе глобальных моделей МГИСС (Международная группа по моделированию климатических сценариев) и модели IPCC. В них учитываются региональные факторы, такие как рельеф, гидрогеологические особенности и хозяйственная деятельность;

- использовать вероятностные методы оценок в нестационарных условиях, обусловленных климатическими изменениями, например, байесовский подход, который позволяет построить прогнозную плотность распределения характеристик стока с учётом шансов реализации того или иного сценария климатических изменений;

- прогнозировать будущие показатели интенсивности дождей с учётом трендов и сценариев развития климата;

- генерировать сценарии экстремальных дождей с помощью гидрометеорологических моделей.

На основе наблюдений с метеорологических станций, спутников, радаров и гидрологических пунктов они позволяют имитировать поведение атмосферы, гидросистем и связанных с ними явлений; предсказывать изменение погоды (осадки, температуру, ветер, давление); оценивать гидрологические процессы (объём стока, уровень воды в реках, уровни грунтовых вод); моделировать развитие экстремальных гидрологических событий (ливни, наводнения, засухи). Масштабные глобальные гидрометеорологические модели, например, ECMWF, GFS, используют для долгосрочного прогноза и глобальных трендов по всему миру; региональные модели детализируют прогноз по конкретной области, обеспечивают более точные данные для локальных решений (например, модели для Европы или России); гидрологические модели SWAT, HEC-HMS моделируют сток, уровни рек и грунтовых вод; модели экстремальных событий обеспечивают расчёт вероятности наводнений, засух и других чрезвычайных гидрометеорологических явлений

2. Для корректировки гидравлических расчётов необходимо учитывать изменения скорости и объёма стока, сокращение времени срабатывания систем, повышение уровня грунтовых вод.

С этой целью можно использовать программное обеспечение для гидравлического моделирования типа SWMM, InfoWorks, MIKE, программу гидравлического расчёта ГРИС\_С для определения расходов и объёмов стоков дождевых паводков и талых вод, а также программу Civil 3D (с модулем InfraWorks) для гидравлических расчётов в процессе проектирования инженерных систем, например, водопроводных сетей и ливневой канализации.

3. Проектирование систем водоотведения, способных выдерживать повышенные уровни грунтовых вод.

Решение задачи предусматривает выполнение следующих мероприятий:

- установку глубоких дренажных систем, то есть создания дрен, способных отводить избыточные грунтовые воды из-под сооружений и территорий;

- использование перфоративных труб и фильтров, что позволит предотвращать засорение и обеспечивать эффективный отвод воды даже при повышенных уровнях грунтовых вод.

4. Усиление конструкций водоотводных каналов предполагает:

- использование прочных материалов, таких как бетон, гидроизоляционные покрытия, а также конструкций, устойчивых к повышенной влажности и гидростатическому давлению;

- укрепление грунтов и фундаментов с помощью инъекционных технологий, геосинтетических материалов и стабилизации грунтов;

- расширение пропускной способности водоотводных систем;

- увеличение диаметров каналов.

5. Применение систем автоматизированного управления водоотводом:

- позволяет повысить эффективность, надёжность и оперативность работы системы водоотведения при расширении пропускной способности за счёт управления уровнем воды и регулирования параметров потока. Регулирующие клапаны и шлюзы управляются автоматически на основе данных с датчиков уровня воды или давления, что позволяет предотвращать затопления, регулировать поток и обеспечивать стабильную работу системы;

- предполагает создание резервных и резервуарных систем для временного хранения избыточной воды при неблагоприятных условиях путём установки дополнительных резервных ёмкостей и резервных каналов через сеть дренажных устройств (трубы, каналы, очистные сооружения). Автоматизация работы резервных и дренажных устройств осуществляется путём управления включением/выключением насосных станций, резервных каналов и резервуаров по заданным алгоритмам, что позволяет оптимизировать работу систем в режиме реального времени в зависимости от уровня грунтовых вод, осадков и других факторов.

6. Внедрение зеленых технологий и методов низкоуглеродного урбанистического развития осуществляется путём:

- создания зелёной инфраструктуры элементов антропогенного происхождения (например, дождевые сады, био-

дренажные канавы, зелёные крыши и др.) [4]. Важнейшей функцией зелёной инфраструктуры является отвод, очистка и инфильтрация поверхностного стока непосредственно на городской территории;

- установки поглощающих воду биофильтров и пермеабильных покрытий, позволяющих воде просачиваться через поверхность, уменьшая поверхностный сток и способствуя пополнению грунтовых вод;

- создания многофункциональных зелёных зон, способных поглощать большие объёмы воды, снижая нагрузку на системы водоотведения.

7. Модернизация систем мониторинга и автоматизации осуществляется путём:

- установки датчиков уровня воды, дождемеров, систем автоматического управления;

- использования информационных систем и программных комплексов для оперативного реагирования и корректировки работы водоотводных систем. Например, программные комплексы и SCADA-системы позволяют централизованно управлять, контролировать и регулировать работу всех элементов системы, а также автоматически запускать или останавливать оборудование, изменять режимы работы и уведомлять операторов о необходимости вмешательства.

### **Примеры практических решений в крупных городах**

#### *Опыт устранения затоплений в Москве*

В последние годы в Москве наблюдается увеличение интенсивности и частоты экстремальных осадков, что обуславливает необходимость пересмотра методов проектирования и модернизации существующих систем водоотведения в целом и систем дворового водоотведения, в частности. Анализ гидравлических моделей, основанных на данных метеорологических наблюдений за последние 20 лет, показал, что текущие инфраструктурные решения систем поверхностного водоотведения не справляются с пиковыми нагрузками во время сильных дождей. В результате возникают затопления дворовых территорий, улиц и подвалов зданий, что негативно сказывается на городской инфраструктуре и качестве жизни жителей.

Для оценки будущей ситуации разработаны сценарии, учитывающие возможное увеличение интенсивности осадков на 30-50% [5]. Эти сценарии основаны на моделировании с использованием современных гидравлических программ, таких как SWMM и MIKE URBAN др., а также учитывают изменение климата и вероятностные показатели частоты и интенсивности экстремальных дождей.

На основе полученных данных предложены рекомендации по модернизации существующих систем дворового водоотвода: расширение пропускной способности водоотводных труб, внедрение резервных и резервуарных систем для временного задержания воды [4], а также увеличение площади зелёных зон, способных поглощать и задерживать воду. Особое внимание уделяется внедрению зелёных технологий, таких как зелёные кровли, биофильтры и системы дождевого стока с возможностью

повторного использования воды, что позволит снизить нагрузки на инженерные сети и уменьшить риски затоплений.

*Опыт западноевропейских городов (Амстердам, Копенгаген)*

Западноевропейские города Амстердам и Копенгаген довольно длительное время реализуют комплексные стратегии по управлению водными ресурсами в условиях изменения климата. Там широко применяются многофункциональные дренажные решения, интегрированные с зелёными зонами, что позволяет не только эффективно отводить воду, но и повышать экологическую ценность городской среды.

В Амстердаме запущена концепция «гибких» систем водоотведения, включающая создание многоуровневых дренажных систем, резервных водосборных котлованов и зеленых кровель [6]. В рамках этих решений используются специальные перфорированные трубы, позволяющие задерживать воду в городе и снижать нагрузку на центральные канализационные сети. Также активно внедряются зелёные крыши и сады, которые способствуют поглощению осадков, и создают комфортную городскую среду.

В Копенгагене реализован проект «Климат-адаптация города», включающий создание зелёных коридоров, водосборных зон и водных преград, интегрированных с городским дизайном [7]. Эти меры позволяют не только снизить риск затоплений при экстремальных дождях, но и повысить устойчивость городской инфраструктуры к долгосрочным климатическим изменениям.

Общий опыт этих городов показывает, что интегрированный подход, сочетающий технические решения с зелёными насаждениями и правильной планировкой, позволяет значительно снизить риск затоплений и повысить экологическую устойчивость городской среды. Применение подобных решений в Москве может стать эффективной стратегией адаптации городской инфраструктуры к изменяющимся климатическим условиям.

### Заключение

Климатические изменения вносят значительные коррективы в гидравлические расчёты водоотводных систем дворовых пространств. Учёт новых сценариев климатических изменений, внедрение современных технологий, использование вероятностных методов и моделирование экстремальных ситуаций позволят создавать более устойчивые системы водоотведения, способные справляться с увеличивающимися на дворовые водоотводные системы нагрузками. Адаптация проектных решений к новым условиям позволит повысить эффективность работы водоотводных систем и значительно снизить риск затоплений и разрушений объектов городской инфраструктуры.

*Список источников/Reference*

1. Ливневая канализация в современном городе. От тарификации до инфильтрации : Коллективная монография / С.Б.

Сиваев, А.М. Абдуллаев, О.О. Смирнов [и др.]. М. : Издательский дом Высшей школы экономики, 2023. 120 с.

Sivaev S.B., Abdullaev A.M., Smirnov O.O., Zalyan E.S., Andreeva E.S., Letunovskii A.V. Stormwater Sewerage in a Modern City. From Tariffication to Infiltration, A Collective Monograph. Moscow: Publishing House of the Higher School of Economics, 2023. 120 p. (In Russ.)

2. Nature-Based Solutions to Climate Change Adaptation in Urban Areas : Linkages Between Science, Policy and Practice / N. Kabisch, H. Korn, J. Stadler, A. Bonn. Springer. 2017. URL: <https://clck.ru/3T6Zsi> (дата обращения 18.03.2026)

Kabisch N., Korn H., Stadler J., Bonn A. Nature-Based Solutions to Climate Change Adaptation in Urban Areas : Linkages Between Science, Policy and Practice. URL: <https://clck.ru/3T6Zsi> (Accessed 03/18/2026). (In Engl.)

3. Алексеев, М.И. Организация отведения поверхностного (дождевого и талого) стока с урбанизированных территорий : учебное пособие / М.И. Алексеев, А.М. Курганов. М. : АСВ, 2000. 352 с.

Alekseev M.I., Kurganov A.M. Organization of Surface (Rain and Melt) Runoff Drainage from Urbanized Areas. Moscow, ASV Publ., 2000. 352 p. (In Russ.)

4. Саянов, А. Взгляд в будущее водно-зелёной инфраструктуры / А. Саянов // Экоурбанист. 2024. URL: <https://clck.ru/3T6aFх> (дата обращения 18.03.2026).

Sayanov A. Prospection of Water-Green Infrastructure. In: *Ecourbanist*, 2024 (In Russ.)

5. Кащенко, О.В. Проектирование водоотводящих сетей населённого пункта : учебное пособие / О.В. Кащенко, М.О. Жакевич, В.А. Земскова. Нижний Новгород : ННГАСУ, 2016. 106 с.

Kashchenko O.V., Zhakevich M.O., Zemskova V.A. Design of Water Drainage Networks for a Populated Area. Nizhnii Novgorod, NNGASU Publ., 2016, 106 p. (In Russ.)

6. On Every Roof Something Is Possible': How Sponge Cities Could Change the Way We Handle Rain // The Guardian. 2 мая 2024. URL: <https://clck.ru/3T6abE> (дата обращения 18.03.2026).

On Every Roof Something Is Possible': How Sponge Cities Could Change the Way We Handle Rain. In: *The Guardian*. 2 May 2024. URL: <https://clck.ru/3T6abE> (Accessed 03/18/2026). (In Engl.)

7. Mguni, P. Green Infrastructure for flood-Risk Management in Dar es Salaam and Copenhagen: Exploring the Potential for Transitions Towards Sustainable Urban Water Management / P. Mguni, M. Bergen Jensen, L. Herslund. DOI:10.2166/wp.2014.047 // Water Policy, February 2015. URL: <https://clck.ru/3T6aqf> (дата обращения 18.03.2026).

Mguni P., Bergen Jensen M., Herslund L. Green Infrastructure for flood-Risk Management in Dar es Salaam and Copenhagen: Exploring the Potential for Transitions Towards Sustainable Urban Water Management. In: *Water Policy*, February 2015. DOI:10.2166/wp.2014.047. URL: <https://clck.ru/3T6aqf> (Accessed 03/18/2026). (In Engl.)