

**Министерство строительства  
и жилищно-коммунального хозяйства  
Российской Федерации**

**Федеральное автономное учреждение  
«Федеральный центр нормирования, стандартизации  
и технической оценки соответствия в строительстве»**

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ**

**ПО ОРГАНИЗАЦИИ ВОДООТВОДА НА УЛИЧНО-  
ДОРОЖНОЙ СЕТИ ГОРОДОВ, НЕ ИМЕЮЩИХ  
ПОДЗЕМНОЙ (ТРУБОПРОВОДНОЙ) ЛИВНЕВОЙ  
КАНАЛИЗАЦИИ**

**Москва 2019**

## Содержание

1 Область применения .....	1
2 Нормативные ссылки .....	1
3 Термины и определения .....	2
4 Общие положения .....	4
4.1 Улицы, общественные пространства и экосистемы.....	4
4.2 Принципы организации водоотвода с использованием зеленых насаждений .....	6
4.3 Недостатки существующих систем поверхностного водоотвода с улиц.....	11
4.4 Планирование водоотвода. Формирование устойчивой сети ливневых стоков .....	14
4.5 Комплексный подход к управлению поверхностным стоком, мобильностью и землепользованием.....	20
5 Требования к объемно-планировочным решениям элементов улично-дорожной сети.....	25
5.1 Преобразование улиц с учетом озеленения, предназначенного для отведения поверхностного стока.....	25
5.2 Особенности организации водоотвода в зависимости от категории улицы населенного пункта.....	29
6 Требования к решениям отвода и фильтрации вод .....	53
6.1 Общие положения .....	53
6.2 Методы отвода поверхностного стока с проезжей части улиц и других объектов транспортной инфраструктуры в населенных пунктах.....	55
6.3 Методы очистки поверхностных сточных вод с улиц .....	66
Библиография .....	161

## Введение

Настоящие методические рекомендации разработаны в развитие пунктов 12.10, 13.3, 14.10, 14.20 СП 42.13330.2016 и пунктов 7.3.9, 10.10, 10.11, 10.13 СП 396.1325800.2018 для реализации проектировщиками требований, заложенных в сводах правил, и использования технических правил проектирования по обеспечению отвода ливневых и талых вод с пешеходных и транспортных путей.

В настоящее время в городах и сельских населенных пунктах, не имеющих подземной (трубопроводной) ливневой канализации, поверхностные сточные воды, как правило, стекают на прилегающую территорию и газоны без какой-либо очистки. Сбор ливневых и талых вод с помощью открытой системы водоотвода зачастую нарушает городскую среду, создает препятствия для пешеходного движения.

Обычно в городах и населенных пунктах уровень грунта на газонах и иных участках прилегающей к проезжей части и тротуарам территории выше поверхности проезжей части или тротуара. Это приводит к образованию скоплений воды на покрытии, грунт вымывается с газонов и прилегающих территорий, создавая участки загрязнений на тротуарах и улично-дорожной сети. При этом поверхностные сточные воды интенсивно загрязняются и сбрасываются на прилегающие территории без очистки.

Во многих государствах широко используются методы отвода воды на участках улично-дорожной сети, не оборудованных канализационными коллекторами для отвода ливневых и талых вод, за счет озеленения улиц и архитектурно-планировочных решений уличного пространства, которые позволяют исключить скопление воды, вынос грунта на проезжую часть и тротуары, а также обеспечить минимально необходимую очистку сточных вод. Однако эти методы требуют адаптации для природно-климатических условий нашей страны. Требуется также учитывать особенности отечественной нормативной правовой и методической базы.

В настоящих методических рекомендациях представлены способы проектирования систем и сооружений для сбора и отвода поверхностного стока в городах и населенных пунктах, не имеющих подземной ливневой канализации.

При разработке настоящих методических рекомендаций:

- обобщены лучшие отечественные и зарубежные практики организации отвода ливневых вод с улично-дорожной сети населенных пунктов при отсутствии ливневой канализации;

- разработаны методы сбора и очистки сточных вод с улично-дорожной сети при отсутствии ливневой канализации за счет озеленения элементов улично-дорожной сети;

- разработаны рекомендации по озеленению и вертикальной планировке элементов улично-дорожной сети при отсутствии ливневой канализации, обеспечивающих сбор поверхностных ливневых сточных вод, с учетом комплексного подхода к формированию комфортной городской среды.

Положения настоящих методических рекомендаций основаны на результатах научно-исследовательских работ [18], [19].

Настоящие методические рекомендации предназначены для заказчиков, технических заказчиков, инвесторов, проектировщиков, строителей, органов исполнительной власти и других участников инвестиционной деятельности в строительстве, заинтересованных физических и юридических лиц.

Настоящие методические рекомендации разработаны ЗАО «ПРОМТРАНСНИИПРОЕКТ» (д-р техн. наук *Л.А. Андреева, И.П. Потанов, П.А. Костюкевич, И.В. Музыкин, А.В. Багинов*) и ООО «ТрансИнжПроект», (руководитель разработки – канд. техн. наук *Д.М. Немчинов, Ю.В. Трофименко, Н.А. Евстигнеева, А.В. Лобиков, А.В. Муравьев, И.С. Царьков*).

## **1 Область применения**

Настоящие методические рекомендации распространяются на организацию поверхностного водоотвода улично-дорожной сети городов и населенных пунктов, не имеющих подземной (трубопроводной) ливневой канализации.

Настоящие методические рекомендации разъясняют правила и требования по проектированию нового и реконструкции существующего городского и сельского поверхностного водоотвода улично-дорожной сети городов и населенных пунктов, не имеющих подземной (трубопроводной) ливневой канализации.

## **2 Нормативные ссылки**

В настоящих методических рекомендациях использованы нормативные ссылки на следующие документы:

ГОСТ 12.1.007–76 Система стандартов безопасности труда. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности

ГОСТ 17.1.13–86 Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных вод от загрязнения

ГОСТ 8736–2014 Песок для строительных работ. Технические условия

ГОСТ 23278–2014 Грунты. Методы полевых испытаний проницаемости

ГОСТ 25584–2016 Грунты. Методы лабораторного определения коэффициента фильтрации

ГОСТ Р 52875–2018 Указатели тактильные наземные для инвалидов по зрению. Технические требования

СП 32.13330.2018 «СНиП 2.04.03-85 Канализация. Наружные сети и сооружения» (с изменением № 1)

СП 34.13330.2012 «СНиП 2.05.02-85\* Автомобильные дороги» (с изменениями № 1, № 2)

СП 42.13330.2016 «СНиП 2.07.01-89\* Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений» (с изменениями № 1, № 2)

СП 59.13330.2016 «СНиП 35-01-2001 Доступность зданий и сооружений для маломобильных групп населения»

СП 104.13330.2016 «СНиП 2.06.15-85 Инженерная защита территории от затопления и подтопления»

СП 136.13330.2012 Здания и сооружения. Общие положения проектирования с учетом доступности для маломобильных групп населения (с изменением № 1)

СП 140.13330.2012 Городская среда. Правила проектирования для маломобильных групп населения (с изменением № 1)

СП 396.1325800.2018 Улицы и дороги населенных пунктов. Правила градостроительного проектирования (с изменением № 1)

**Примечание** – При пользовании настоящим методическими рекомендациями целесообразно проверить действие ссылочных документов в информационной системе общего пользования – на официальном сайте федерального органа исполнительной власти в сфере стандартизации в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный документ, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого документа с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого документа с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящих методических рекомендаций в ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку. Сведения о действии сводов правил целесообразно проверить в Федеральном информационном фонде стандартов.

### **3 Термины и определения**

В настоящих методических рекомендациях применены следующие термины с соответствующими определениями:

**3.1 биодренажная канава (биофильтрационный канал):** Открытый канал небольшой глубины, чаще всего трапецеидального сечения, плотно

засаженный высшей растительностью и имеющий небольшой уклон для обеспечения движения воды самотеком.

**3.2 биофльтрационный склон:** Засаженная растительностью площадка, имеющая незначительный уклон, предусмотренный для движения поверхностного стока самотеком.

**3.3. дождевой сад (фитофильтр):** Пониженный участок территории, запроектированный для приема поверхностного стока и засыпанный фильтрующей загрузкой, в которую высажены высшие растения.

**3.4 дренажный канал:** Система, состоящая из подземной дренажной трубы, устроенной под тротуаром в траншее, засыпанной камнями, и ряда деревьев вдоль участка улицы, которые объединяет дренажная труба.

**3.5 дренирующее покрытие:** Укрепленная поверхность тротуара, велосипедной дорожки, парковки или проезжей части, состоящая из материалов, которые позволяют воде свободно проходить через поверхность.

**3.6 инфильтрация воды:** Впитывание почвой воды через дно и стенки естественных или искусственных выемок, каналов и борозд.

**3.7 озеленение, предназначенное для отвода поверхностного стока:** Элемент городской инфраструктуры, предназначенный для отведения поверхностного стока за счет устройства озелененных участков, интегрированный в общую систему комфортной городской среды и обеспечения безопасности пользователей улично-дорожной сети.

**3.8 поверхностный водоотвод с элементов улично-дорожной сети без подземной (трубопроводной) ливневой канализации:** Инфраструктура и экосистема улицы, обеспечивающие отвод воды на газоны, предотвращение стока воды и выноса грунта на тротуары, дорожки, проезжую часть.

**3.9 поллютант:** Вещество, загрязняющее среду обитания.

**3.10 почвенный поглощающий комплекс; ППК:** Совокупность минеральных, органических и органоминеральных соединений высокой степени дисперсности, нерастворимых в воде и способных поглощать и обменивать поглощенные ионы.

**3.11 проскок:** Явление резкого увеличения (в 5–10 раз) концентрации загрязняющих веществ

Примечание – Явление зависит от типа фильтрующей загрузки/материала, скорости фильтрации).

**3.12 транспирация:** Физиологический процесс потери влаги растением путем испарения с поверхности листьев или других частей.

Примечание – Бóльшая часть воды, поступающая в растение через корни, теряется при транспирации.

**3.13 улица:** Физическое пространство между застройкой, которое обеспечивает связанность территорий и мобильность людей и грузов, а также общественное пространство для социальных, экономических и физических активностей людей.

**3.14 устойчивое управление поверхностным стоком:** Создание и эксплуатация системы отвода поверхностного стока, согласованной с естественными гидрологическими условиями и методами формирования комфортной городской среды.

**3.15 фильтрат:** Жидкость, прошедшая через фильтр.

## **4 Общие положения**

### **4.1 Улицы, общественные пространства и экосистемы**

4.1.1 Улицы населенных пунктов являются:

- коридорами, обеспечивающими подвижность (мобильность) населения и товаров;
- общественными пространствами;
- частью природной экосистемы.

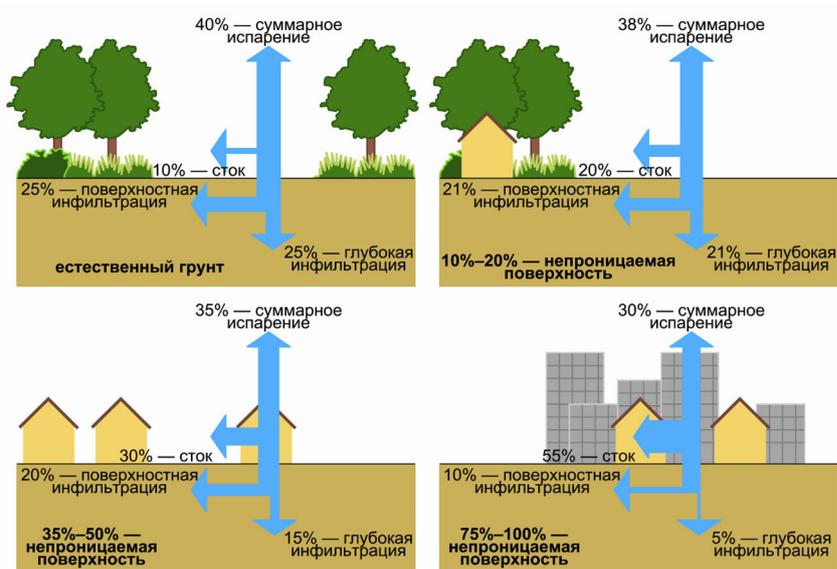
4.1.2 В условиях продолжающейся урбанизации и изменяющегося климата устойчивое управление поверхностным стоком является одной из важных проблем устойчивого развития городов и населенных пунктов.

4.1.3 Улицы городов и населенных пунктов традиционно обеспечивали сбор и отвод дождевой воды в водоочистные сооружения (при наличии ливневой канализации) или на ландшафт.

По сложившейся практике улицы образуют непроницаемый для поверхностного стока слой, как правило, асфальтобетонного покрытия, которое нарушает гидрологические циклы и требует затратной инфраструктуры для регулирования потоков сточных вод и обеспечения качества грунтовых и поверхностных вод (рисунок 4.1).

4.1.4 Ограниченность водных ресурсов, загрязнение стока частицами грунта, изменение климата требуют выработки новых подходов к созданию и поддержанию качества городской среды в части удаления, очистки и повторного использования сточных вод с транспортных коммуникаций и общественных пространств населенных пунктов.

При этом формируемые общественные пространства должны создавать удобные условия для пребывания и жизнедеятельности человека. Неотъемлемой частью комфортной городской среды является соответствующая потребностям человека искусственно сформированная экосистема улиц населенных пунктов.



**Рисунок 4.1 – Изменение распределения поступающей на поверхность воды в зависимости от степени урбанизации территории**

4.1.5 Современные улицы населенных пунктов следует рассматривать как часть экологического каркаса урбанизированной территории. На этой территории инфраструктура зеленых насаждений интегрируется в общее

пространство улицы наряду с транспортной инфраструктурой и безопасным пространством для пешеходов и велосипедистов. Представление об улицах как об искусственных экосистемах позволяет сделать их комфортными для проживания населения.

В городских ландшафтах в основном доминируют бетон, асфальт, кровельные материалы, формируя искусственную экосистему городской среды. Как правило, на урбанизированных территориях 60 % поверхности земли или более является непроницаемой для воды. Вода, которая попадает на крыши, улицы, бульвары, тротуары, детские площадки, парковки, не может впитаться в землю и становится ливневым стоком, собирая загрязняющие вещества, такие как взвешенные вещества (ВВ), нефтепродукты (НП), тяжелые металлы (ТМ), хлориды, органические соединения, которые при отсутствии городской канализации и (или) очистных сооружений сбрасываются в местные водоемы, загрязняют почву и подземные воды.

## **4.2 Принципы организации водоотвода с использованием зеленых насаждений**

4.2.1 Одним из основных инструментов развития искусственной экосистемы городских улиц и систем удаления поверхностного стока является организация поверхностного водоотвода с использованием зеленых насаждений и архитектурно-планировочных решений. Такие решения могут использоваться как в населенных пунктах, не имеющих подземной ливневой канализации, так и как дополнение к имеющейся подземной ливневой канализации.

4.2.2 Допускается применять следующие методы отвода воды на участках улично-дорожной сети, не оборудованных канализационными коллекторами для отвода ливневых и талых вод:

- озеленение улиц, которые позволяют исключить скопление воды, вынос грунта на проезжую часть и тротуары, а также обеспечивают минимально необходимую очистку сточных вод;
- планирование водоотвода, развития устойчивой сети ливневых стоков;
- преобразование улиц с учетом применения озеленения, предназначенного для отведения поверхностного стока;
- совмещение водоотвода с дренажом и использование локальных очистных сооружений (ЛОС).

4.2.3 Озеленение, предназначенное для отведения поверхностного стока, восстанавливает экологические функции в составе искусственной городской среды. Системы «почва–вода–растение» (включая биодренирующие элементы, элементы для сбора воды, деревья и дренирующие покрытия тротуаров, велосипедных дорожек и другие элементы) перехватывают дождевую воду до того, как она достигает ливневой канализации. Часть дождевой воды проникает в почву, другая часть испаряется, а остальная часть может временно храниться перед медленным выпуском в систему дождевой канализации при ее наличии или дренирования в грунт.

4.2.4 Озеленение, предназначенное для отведения поверхностного стока, помогает сократить объем и интенсивность стока до дождевой канализации, очищать его от загрязняющих веществ, повышать качество воды и снижать риски подтоплений и наводнений на территории городов и населенных пунктов. Инвестиции в озеленение, предназначенное для отведения поверхностного стока, заменяют (в малых городах и населенных пунктах) или дополняют подземную трубопроводную дождевую канализацию и могут продлить срок ее службы (при наличии). Озеленение, предназначенное для отведения поверхностного стока, также может обеспечить снижение скорости потока отводимой воды, улучшение качества городского пространства, повысить эстетические свойства ландшафта.

Элементы озеленения, предназначенного для отведения поверхностного стока, описаны в разделе 6.

4.2.5 При организации водоотвода с использованием зеленых насаждений и архитектурно-планировочных решений следует руководствоваться принципами [40], изложенными в 4.2.5.1–4.2.5.6.

#### 4.2.5.1 Защита и восстановление природных ресурсов

Направление стока, фильтрация и проникновение в грунт ливневых вод имеют решающее значение в городских условиях, где непроницаемая для воды поверхность покрывает 60 % и более площади территории. Правильно спроектированная инфраструктура отведения поверхностного стока обеспечивает очистку загрязненного стока от ВВ и других загрязняющих веществ и восстанавливает естественный гидрологический цикл, защищая водные ресурсы.

Зеленые насаждения также улучшают качество воздуха, смягчают эффект городского острова тепла и увеличивают площадь среды обитания фауны, от небольших оазисов для птиц и насекомых до относительно крупных водоемов, в которые стекают поверхностные стоки.

#### 4.2.5.2 Содействие здоровью, человеческому капиталу и окружающей среде

Озелененные улицы являются частью экологически безопасной, комфортной городской среды, в которой улицы являются жизненно важными общественными пространствами. Размещение элементов озеленения на улицах улучшает психическое и физическое здоровье жителей за счет улучшения качества воздуха, защиты от солнечных лучей в летний период, а также благоустройства и контакта с природной средой в районах, где доступ к паркам ограничен.

#### 4.2.5.3 Проектные решения для безопасности и мобильности

Проекты реконструкции улиц, которые включают в себя создание и улучшение озеленения улиц, должны быть согласованы с мероприятиями по обеспечению безопасности и мобильности, особенно в тех случаях, когда

предполагается изменение границ проезжей части и перераспределения уличного пространства для организации комфортного движения пешеходов и велосипедистов. Озеленение может быть использовано в сочетании с другими мероприятиями в рамках реконструкции улицы, включая развитие пассажирского транспорта общего пользования, повышение безопасности движения, капитализацию проектов градостроительного развития.

Благоустройство и озеленение городских территорий следует вести с учетом требований СП 42.13330 и СП 396.1325800, а также нормативных требований к обеспечению доступности для маломобильных групп пользователей. Зеленые насаждения не должны затруднять проезды пожарных, снегоуборочных и поливочных машин, проходы и проезды других участников дорожного движения, загромождать дорожные знаки, светофоры, рекламные щиты, ограничивать обзорность на пересечениях и наземных пешеходных переходах.

При разработке мероприятий по благоустройству и озеленению городского пространства следует учитывать требования по обеспечению видимости дорожных знаков, светофоров, обеспечивать соблюдение нормативных значений расстояний видимости согласно СП 396.1325800 и [6].

На магистральных улицах районного значения и местных улицах обустройство, озеленение и застройка должны обеспечивать предсказуемость изменения плана и продольного профиля.

На местных улицах озеленение может выполнять функции элементов, снижающих скорость движения автомобилей. С точки зрения безопасности дорожного движения применение кустарников высотой более 0,5 м для озеленения не рекомендуется. Для озеленения следует использовать, как правило, деревья. Рекомендуются решения в виде сочетания парковочных полос с посадками в разрывах полос деревьев (рисунок 4.2).



**Рисунок 4.2 – Размещение озеленения совместно с парковкой [40]**

#### 4.2.5.4 Учет жизненного цикла зеленых насаждений

Озеленение, предназначенное для отведения поверхностного стока, является активом для населенных пунктов, может принести финансовые выгоды за счет повышения капитализации прилегающих земельных участков. Стратегии управления поверхностным стоком следует планировать и осуществлять с учетом затрат и выгод в течение жизненного цикла зеленых насаждений, включая потенциальные изменения климата и штормовые явления. Элементы озеленения, которые должным образом спроектированы, эксплуатируются и обслуживаются, продлевают срок службы конструктивных элементов улично-дорожной сети, инженерных коммуникаций, особенно систем дождевой канализации и дорожного покрытия.

#### 4.2.5.5 Обеспечение устойчивого развития городской среды

При увеличении интенсивности и частоты дождей или засушливых периодов управление отведением поверхностного стока становится важным элементом устойчивого развития городской среды, имеющим решающее значение для смягчения последствий изменения климата и адаптации к ним.

Включение природных систем в искусственную среду способствует устойчивости экосистем городов.

#### 4.2.5.6 Учет сопутствующих факторов

Озеленение, предназначенное для отведения поверхностного стока, должно быть адаптировано к условиям конкретного места размещения, но при этом учитывать специфику функционирования всей системы отвода поверхностного стока на территории. При проектировании озеленения, предназначенного для отведения поверхностного стока, следует учитывать особенности топографии и микроклимата, доступного пространства, потребностей в доступности прилегающих к улице земельных участков и других функций улицы. Рекомендуется максимально восстановить естественный круговорот воды.

### **4.3 Недостатки существующих систем поверхностного водоотвода с улиц**

4.3.1 Затопленная улица не может полноценно выполнять функции общественного пространства. Во время сильных дождей пешеходы и велосипедисты являются первыми пользователями, которые сталкиваются с ограничениями в возможности передвижения (ограничениями мобильности), и последними, для кого восстановлен такой доступ. Инструменты проектирования озеленения, предназначенного для отведения поверхностного стока, которые объединяют контроль и управление поверхностным дождевым стоком, являются критически важным компонентом комплексного проектирования улицы, гарантирующим, что улица остается пригодной для использования и безопасной для людей во время дождя, независимо от его интенсивности.

4.3.2 При проектировании водоотвода следует учитывать использование разных видов транспорта и потенциальные возможности инвестиций в озеленение улицы для преобразования общественного пространства и

создания экономических, социальных и экологических выгод для всех пользователей улиц.

4.3.3 Возможные проблемы системы поверхностного стока и варианты использования озеленения для решения этих проблем приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Недостатки систем поверхностного водоотвода и возможности их устранения путем озеленения

Тип пользователя УДС	Недостатки	Преимущества и решения путем озеленения
Пешеходы	Скопление дождевой/талой воды, особенно вблизи перекрестков и съездов, создает барьеры, в наибольшей степени – для людей с ограниченными возможностями. Такие ситуации могут возникнуть из-за заблокированных водостоков, износа лотков и уклонов, нарушения вертикальной планировки дорожного покрытия или из-за неправильно спроектированных систем дождевой канализации	Зеленые насаждения позволяют уменьшить расстояние стока поверхностных вод, снизив риск скопления воды или формирования труднопреодолимых потоков. Кроме того, они создают тень, делают городскую среду более привлекательной и приятной для пешеходов, снижая температуру, уменьшая уровень шума и улучшая качество воздуха
	Большие по объему или скорости течения стоки дождевой/талой воды создают барьеры и ухудшают комфорт при ходьбе	Ограждения озеленения могут быть использованы, чтобы снизить скорость движения воды и улучшить безопасность движения
	Дренажные решетки, кромки, сильные ливневые стоки создают неудобства для пешеходов, вызывают раздражение у пешеходов и велосипедистов	Использование озеленения улучшает психическое здоровье и создает возможности для развития сообщества и горизонтальных социальных связей
Люди, использующие пассажирский транспорт общего пользования	Люди, использующие пассажирский транспорт общего пользования, одновременно являются пешеходами и также испытывают неудобства от скопления дождевой/талой воды. Лужи или ручьи могут препятствовать ходьбе и доступу инвалидов колясок к остановочным пунктам	Озеленение, предназначенное для отведения поверхностного стока, может быть расположено вблизи посадочных площадок для повышения комфорта пассажиров и отвода воды вблизи остановочных пунктов. Комфорт пассажира повышается благодаря укрытию, тени и зеленому ландшафту на остановочном пункте. Улучшение условий нахождения пассажира на остановочном пункте имеет решающее значение для увеличения использования пассажирского транспорта общего пользования
Велосипедисты	Лужи препятствуют безопасной и комфортной езде на велосипеде в местах, где дренаж недостаточен или неэффективен	Озеленение, предназначенное для отведения поверхностного стока, может быть использовано для улучшения отвода воды и повышения комфорта езды на велосипеде

Тип пользователя УДС	Недостатки	Преимущества и решения путем озеленения
	<p>Мокрый тротуар может стать причиной отказа от использования велосипеда для некоторых потенциальных велосипедистов, которые обеспокоены грязью и брызгами</p>	<p>На велосипедных дорожках могут быть использованы дренажные покрытия, чтобы сократить время, необходимое для высыхания поверхности</p>
	<p>Плохо расположенные или устаревшие дренажные решетки и дождевой/талый стоки могут представлять опасность для велосипедистов, включая скользкие поверхности, мусор вокруг решеток и возможность застревания колес в решетках</p>	<p>Детализация проектных решений инфраструктуры отведения поверхностного стока позволяет обеспечить требуемый уровень безопасности. Блоки с растениями могут быть включены в защищающие велосипедистов буферные элементы для повышения комфорта движения и уменьшения стресса</p>
Водители автомобилей	<p>Затопленные улицы могут стать непроходимыми для автотранспорта. Лужи могут создать плохие или опасные условия движения автомобилей, с разбрызгиванием, плохой видимостью из-за отражений и непредсказуемым отклонением от требуемой траектории движения во избежание попадания воды в двигатель, из-за аквапланирования шин</p>	<p>Озеленение, предназначенное для отведения поверхностного стока, перехватывает сток и уменьшает затопление, способствует более безопасным условиям движения автомобилей</p>
	<p>Наличие луж вдоль края проезжей части улицы затрудняет доступ к тротуару для въезда-выезда автомобиля и выполнения погрузочно-разгрузочных работ</p>	<p>Озеленение, предназначенное для отведения поверхностного стока, может использоваться для снижения скорости движения автомобилей; хороший водоотвод улучшает видимость, позволяет обеспечить доступ автомобилей к местам погрузки-разгрузки</p>
Бизнес на прилегающих к улице земельных участках	<p>Движение и доставка грузов имеют важное значение для бизнеса и экономики городов. Затопленные улицы, которые препятствуют движению людей и грузов, наносят экономический ущерб</p>	<p>Экономические показатели связаны с комфортом и привлекательностью улиц – городская среда с озеленением более привлекательна для посетителей коммерческих объектов</p>
	<p>Ограниченный доступ является негативным фактором, независимо от режима или цели поездки; люди, осуществляющие доставку грузов или занимающиеся бизнесом пешком, на велосипеде, или автомобиле, должны иметь возможность добраться до места назначения</p>	<p>Успех и жизнеспособность коммерческих районов и пригородных торговых предприятий зависят от способности рабочих, посетителей и других иметь возможность доступа и удобного использования улиц</p>
Жители	<p>Недостатки дождевой канализации могут привести к затоплению или подтоплению домов и предприятий. Владельцы недвижимости несут финансовые убытки от затопленных зданий и сооружений</p>	<p>Наличие озеленения, предназначенного для отведения поверхностного стока, может быть преимуществом для владельцев недвижимости. Обеспечение отвода воды улучшает доступ к объектам недвижимости</p>

## **4.4 Планирование водоотвода. Формирование устойчивой сети ливневых стоков**

### **4.4.1 Общие положения**

4.4.1.1 Устойчивое управление поверхностным стоком обеспечивает согласованность естественных гидрологических условий с использованием земельных участков в целях градостроительного развития, в рамках которого реализуются создание и эксплуатация системы отвода поверхностного стока, согласованной с естественными гидрологическими условиями и методами формирования комфортной городской среды.

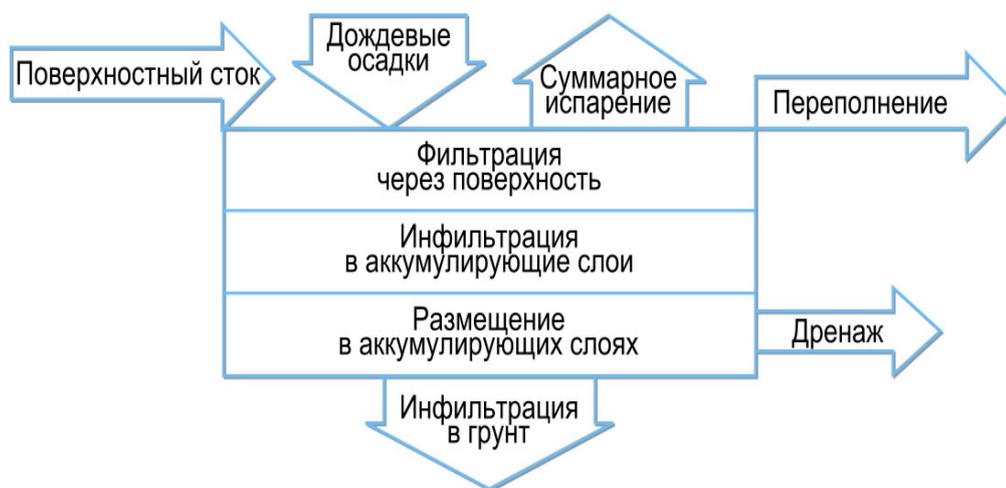
4.4.1.2 Стратегия управления поверхностным стоком определяется санитарно-гигиеническими требованиями, существующей канализационной инфраструктурой, а также климатом и экологическими особенностями региона. Планы и стратегии должны формироваться в контексте улицы, где транспортная и коммунальная инфраструктура конкурируют за пространство, а целевое назначение прилегающих к улице земельных участков формирует модели градостроительного развития.

4.4.1.3 Интеграция озеленения, предназначенного для отведения поверхностного стока, в границы территории общего пользования улицы требует скоординированного подхода и комплексного видения проектного решения, обеспечивающего устойчивое развитие территории. Планирование сети поверхностных стоков в непосредственной близости к активно функционирующей транспортной сети открывает новые возможности для городов и их улиц по формированию комфортной городской среды и улучшению городской мобильности.

4.4.1.4 Растения и деревья в составе озеленения, предназначенного для отведения поверхностного стока, поглощают ливневые стоки и стабилизируют почву от эрозии.

## 4.4.2 Цели управления поверхностным стоком

4.4.2.1 Цели управления поверхностным стоком, как правило, основаны на необходимости обеспечения нормативных санитарно-гигиенических требований к качеству воды. Цели и стратегии различаются в зависимости от типа и пропускной способности системы водоотвода, риска локального затопления и необходимости удаления загрязняющих веществ, методов распределения воды, поступающей на поверхность улицы населенного пункта (рисунок 4.3).



**Рисунок 4.3 – Распределение воды, поступающей на поверхность улицы населенного пункта**

## 4.4.3 Управление объемом поверхностного стока

4.4.3.1 Объем поверхностного стока увеличивается по мере увеличения площади непроницаемой для воды поверхности, поэтому могут использоваться две основные стратегии, связанные с управлением объемом стока:

- увеличение проницаемой площади или перенаправление стока в систему озеленения, предназначенного для отведения поверхностного стока. Системы озеленения, предназначенного для отведения поверхностного стока, обеспечивают преобразование поверхности из непроницаемой для воды в проницаемую;

- уменьшения объема стока, который достигает системы подземной трубопроводной канализации или водоемов ниже по течению, снижая таким образом пиковую и суммарную нагрузки на системы дождевой канализации и очистки поверхностного стока, обеспечивая его проникновение непосредственно в почву.

#### **4.4.4 Улучшение качества воды**

4.4.4.1 Поверхностный сток с улиц переносит частицы грунта, мусор, загрязняющие вещества (дисперсные частицы от истирания шин, дорожного покрытия, тормозных колодок, НП, хлориды). Озеленение, предназначенное для отведения поверхностного стока, обеспечивает улавливание загрязняющих веществ в стоке и предотвращает их попадание в водные объекты ниже по течению. Требования к качеству очистки воды устанавливаются санитарными нормами и правилами [5].

#### **4.4.5 Уменьшение объема пикового потока воды**

4.4.5.1 Сильные дожди могут вызвать подтопление улиц, стоянок автомобилей, фундаментов и подвалов зданий. Озеленение, предназначенное для отведения поверхностного стока, позволяет снижать пиковый расход воды и смягчать последствия наводнения или подтопления. Озеленение должно быть спроектировано так, чтобы были обеспечены требования по отводу воды в объеме, определяемом согласно разделу 7 СП 32.13330.2018.

#### **4.4.6 Восстановление естественного круговорота воды**

4.4.6.1 Устойчивое управление ливневыми стоками направлено на восстановление естественного круговорота воды. Озеленение, предназначенное для отведения поверхностного стока, перехватывает потоки ливневой воды у ее источника и выполняет одно или несколько из следующих действий в зависимости от целей проекта:

- задержание воды;
- накопление воды;
- фильтрация и очистка воды;
- проникновение (инфильтрация) воды в грунт.

4.4.6.2 Одна из задач озеленения – собрать и удержать сток во временных хранилищах или системах с растительностью и затем медленно выпустить воду в водный объект ниже по течению. Это позволяет уменьшить сток в канализационные системы или по системе водоотвода. В этом случае вода испаряется, пропускается через простейшие очистные сооружения (ПОС) или, если вода не собирает загрязняющие вещества, просачивается через почву. Удаление твердых частиц и других загрязнителей осуществляется при фильтрации стока через пористые среды, такие как песок, почва или другие материалы, обладающие фильтрационной способностью. Дальнейшая очистка может осуществляться в ПОС.

4.4.6.3 Озеленение, предназначенное для отведения поверхностного стока, чувствительно к погоде, климату и экологическим особенностям региона. Эти общие условия определяют потребности и цели управления поверхностным стоком при проектировании системы водоотвода. Необходимо учитывать климатические условия в регионе, а также возможное изменение климатических условий в будущем.

Важно учитывать количество выпадающих осадков и скорость, с которой вода испаряется с поверхности или просачивается в почву. Местная погода и климат определяют интенсивность осадков и температуру, а состав почвы влияет на то, как быстро вода впитывается. Эти факторы определяют размеры элементов систем водоотвода и коэффициенты моделирования для стока и инфильтрации.

#### **4.4.7 Регулирование скорости испарения**

4.4.7.1 Скорость испарения и количество воды, которое может испаряться или переноситься с поверхности в течение определенного периода времени, зависят от широты, топографии, высоты, условий ветра и времени года, а также от таких характеристик поверхности, как проницаемость и виды растительности.

В некоторых климатических условиях испарение широко варьируется в зависимости от сезона. Озеленение, предназначенное для отведения поверхностного стока, должно быть спроектировано с учетом всех вариантов ожидаемых условий. В очень сухой сезон может быть необходимо орошение, в то время как быстрая инфильтрация желательна в течение дождливых сезонов. В холодном климате необходимо обеспечить хранение снега в зимний период.

#### **4.4.8 Регулирование скорости инфильтрации**

4.4.8.1 Элементы и системы озеленения, предназначенного для отведения поверхностного стока, могут быть спроектированы для проникновения определенного количества ливневых вод через грунт или специальную засыпку. Скорость проникновения воды следует определять согласно ГОСТ 23278.

4.4.8.2 Естественные подстилающие почвы влияют на скорость инфильтрации. Естественные быстро дренирующие грунты, особенно гравийные или песчаные, могут обладать значительной инфильтрационной способностью. В этом случае требуется учет просачивания воды вблизи зданий и сооружений.

4.4.8.3 В районах с высокой инфильтрационной способностью необходимо рассмотреть возможное воздействие поверхностного стока на качество питьевой водой. В областях с мелкой коренной породой или глиной показатели инфильтрации могут быть естественно низкими. При высоком

уровне грунтовых вод может потребоваться ограничить проникновение воды в грунт при применении озеленения, предназначенного для отведения поверхностного стока.

#### **4.4.9 Учет климатических особенностей**

4.4.9.1 При выборе строительных материалов и видов растений, применяемых в составе озеленения, следует учитывать зимние условия. Частые циклы замораживания и оттаивания делают важным выбор материалов для конструктивных элементов: бетон, тротуар и разметка могут интенсивно изнашиваться или выцветать.

4.4.9.2 В некоторых регионах озеленение, предназначенное для отведения поверхностного стока, должно быть спроектировано таким образом, чтобы выдерживать сильный снегопад.

4.4.9.3 Очистка улиц от снега и льда требует при проектировании систем водоотвода учитывать пространство, необходимое для работы снегоочистительной техники или оборудования для уборки снега, а также пространство, необходимое для хранения снега при сохранении пропускной способности проезжей части, тротуаров и других элементов улично-дорожной сети.

4.4.9.4 В городах со среднемесячными температурами воздуха в январе менее 0 градусов (как правило, IVБ и IVВ климатические подрайоны по СП 131.13330.2018) и частым гололёдом следует учитывать использование противогололёдных реагентов и их влияние на качество воды и здоровье растений в инфраструктуре озеленения, предназначенного для отведения поверхностного стока.

4.4.9.5 Для населенных пунктов в засушливых регионах сохранение и повторное использование воды является важным фактором, который необходимо учитывать при проектировании.

#### **4.4.10 Выбор вида растений**

4.4.10.1 Используемые растения должны быть выбраны в соответствии с местными природно-климатическими условиями. Следует выбирать растения, которые могут переносить затопление поверхностным стоком, но также могут быть адаптированы к местным климатическим условиям, таким как сухой сезон или сильные холода.

4.4.10.2 Рекомендуется выбирать растения, которые могут переносить недостаток воды. Вследствие образования городского острова тепла на территории населенных пунктов воды, как правило, меньше, чем в естественных условиях.

4.4.10.3 При наличии продолжительного сухого периода для озеленения, предназначенного для отведения поверхностного стока, следует использовать местную засухоустойчивую растительность.

4.4.10.4 В климате со снежными зимами следует выбирать растения, которые адаптированы к применяемым технологиям зимнего содержания, в том числе переносят воздействие противогололедных реагентов.

#### **4.5 Комплексный подход к управлению поверхностным стоком, мобильностью и землепользованием**

##### **4.5.1 Общие положения**

4.5.1.1 При планировании устройства озеленения, предназначенного для отведения поверхностного стока, следует учитывать планы по велосипедной инфраструктуре, улучшению безопасности пешеходов, маршрутам пассажирского транспорта общего пользования и развитию общественного пространства, включая частные инвестиции. Это позволит прогнозировать возможности для совместного инвестирования и комплексно планировать развитие городских территорий.

4.5.1.2 Изменения в землепользовании и зонировании городских территорий должны включать стратегии управления поверхностным стоком в увязке с планами по улучшению мультимодальной мобильности, с использованием различных видов транспорта, включая передвижения пешком, на велосипеде и т.п.

4.5.1.3 Следует координировать проектные решения по уличной инфраструктуре и согласовывать цели проектирования, последовательность проектных и строительных работ, чтобы минимизировать затраты, избежать противоречивых графиков строительства, бросовых работ и получить дополнительные выгоды.

#### **4.5.2 Требования к ливневой сети**

4.5.2.1 При проектировании системы поверхностного стока следует оценить состояние водосборного бассейна, существующую инфраструктуру дождевой канализации, зоны затопления и требования нормативных-технических документов.

4.5.2.2 Озеленение, предназначенное для отведения поверхностного стока, может быть использовано для достижения дополнительных целей в области устойчивого развития, в том числе для увеличения плотности парков и скверов, уменьшения эффекта городского острова тепла и создания более комфортной городской среды.

#### **4.5.3 Требования к транспортной сети**

4.5.3.1 Транспортная политика, ориентированная на использование легковых автомобилей, приводит к появлению широких улиц и высокой доли непроницаемой для воды поверхности в общей площади поверхности улицы. Изменения улицы, улучшающие условия для пешеходов, велосипедистов и пассажирского транспорта общего пользования, также создают условия для устройства озеленения, предназначенного для отведения поверхностного стока.

4.5.3.2 Следует анализировать интенсивность и скорость транспортных потоков на участках улично-дорожной сети, чтобы определить улицы, на которых следует проводить изменения. При перераспределении уличного пространства в пользу пешеходов, велосипедистов и пассажирского транспорта общего пользования следует увеличивать долю проницаемой для воды поверхности улицы, повышать безопасность и комфорт для всех видов движения.

4.5.3.3 Внедрение высококачественной велосипедной инфраструктуры может быть согласовано с озеленением, предназначенным для отведения поверхностного стока, включая дренажные покрытия тротуаров и велосипедных дорожек, сооружения для хранения, отвода и фильтрации воды.

4.5.3.4 Использование озеленения, предназначенного для отведения поверхностного стока позволяет создать на перегонах и на пересечениях дополнительные элементы, улучшающие видимость пешеходов и велосипедистов, снижающие скорость движения автомобилей (рисунок 4.4).



**Рисунок 4.4 – Мероприятия по обеспечению безопасности пешеходов и велосипедистов с применением озеленения [6]**

4.5.3.5 Развитие пассажирского транспорта общего пользования с высокой пропускной способностью, например скоростного трамвая, может позволить выделить территорию для размещения озеленения, предназначенного для отведения поверхностного стока. Например, таким озеленением могут быть выделены границы посадочных площадок.

#### **4.5.4 Требования к оценке прилегающих территорий**

4.5.4.1 Модели градостроительного развития территорий и доля непроницаемого для воды покрытия поверхности определяются правилами землепользования и застройки и видами разрешенного использования земельных участков. Улицы, крыши и стоянки автомобилей генерируют поверхностный сток, если поток воды не управляется в месте образования.

При планировании градостроительного развития территории следует учитывать роль видов разрешенного использования земельных участков в создании непроницаемого покрытия поверхности и влиянии на транспортное поведение жителей города или населенного пункта.

4.5.4.2 Соединение озеленения, предназначенного для отведения поверхностного стока, с внешними инфильтрационными территориями, такими как общественные парки, скверы, площади, где есть больше свободного места, обеспечивает достижение целей устойчивого развития городских территорий.

После определения целей и возможностей озеленения, предназначенного для отведения поверхностного стока, мобильности и землепользования, следует оценить условия на конкретной улице для принятия решений на уровне проекта.

4.5.4.3 На каждом потенциальном участке размещения озеленения, предназначенного для отведения поверхностного стока, следует рассмотреть качество почвы, существующую транспортную и инженерную инфраструктуру, прилегающие здания и сооружения, вертикальную планировку и цели развития территории.

4.5.4.4 Для достижения общих целей следует использовать комбинации мероприятий озеленения, предназначенного для отведения поверхностного стока, в зависимости от погодных и климатических условий региона.

#### **4.5.5 Требования к почвам и грунтовым водам**

4.5.5.1 Исходные характеристики почвы определяют типы объектов озеленения, которые можно применить, и конструктивные особенности этих объектов. При проектировании озеленения следует проанализировать скорость фильтрации воды через почвы согласно ГОСТ 23278.

4.5.5.2 Гравийные и песчаные почвы пропускают воду быстрее, чем глина. В областях с медленной инфильтрацией или плохим качеством почвы озеленение, предназначенное для отведения поверхностного стока, может быть спроектировано с использованием привозного грунта.

4.5.5.3 При выборе методов очистки поверхностного стока следует провести исследование фоновое (существующее) загрязнения почвы, особенно вблизи промышленных предприятий и на их территории (в случае отсутствия у предприятия собственной системы очистки сточных вод).

4.5.5.4 Следует изучить состояние грунтовых вод. В районах с неглубоким уровнем грунтовых вод или высоким сезонным уровнем паводков рекомендуется использовать неинфильтрационные сооружения для предотвращения попадания загрязняющих веществ в грунтовые воды.

#### **4.5.6 Требования к существующей инфраструктуре**

4.5.6.1 Следует учитывать местоположение существующей инфраструктуры дождевой канализации (при наличии), особенно дренажных решеток, подземных канализационных коллекторов, а также расположение зданий и сооружений, других инженерных сетей, остановочных пунктов пассажирского транспорта общего пользования, столбов освещения, элементов благоустройства, имеющихся деревьев и т. п.

4.5.6.2 Следует определить возможности использования существующих сооружений и растений.

#### **4.5.7 Требования к продольному уклону улиц**

4.5.7.3 Улицы с продольным уклоном менее 50 ‰ лучше всего подходят для использования озеленения, предназначенного для отведения поверхностного стока, хотя мероприятия по гашению скорости течения воды могут сделать возможным реализацию проектов при более крутых уклонах. При увеличении уклона целесообразно уменьшать расстояния между элементами, улавливающими поверхностный сток, что позволяет снизить скорость течения большого объема воды.

### **5 Требования к объемно-планировочным решениям элементов улично-дорожной сети**

#### **5.1 Преобразование улиц с учетом озеленения, предназначенного для отведения поверхностного стока**

##### **5.1.1 Общие положения**

5.1.1.1 Для создания комфортной городской среды требуется преобразование улиц, что, как правило, означает перераспределение пространства улицы в пользу пешеходов, велосипедистов и пассажирского транспорта общего пользования, устройство островков безопасности, дополнительных полос для поворотов на пересечениях, устройство озеленения и благоустройства. Преобразование улиц в большинстве случаев может быть осуществлено в рамках капитального ремонта.

5.1.1.2 Устройство озеленения, предназначенного для отведения поверхностного стока, является составной частью преобразования улиц и такое озеленение является одним из инструментов упорядочивания и повышения эффективности использования уличного пространства. При преобразовании улицы с учетом озеленения, предназначенного для отведения поверхностного стока, требуется найти возможности для изменения

геометрических параметров элементов улицы и методов ее эксплуатации. Элементы озеленения, предназначенного для отведения поверхностного стока, описаны в разделе 6, детальные рекомендации по размещению отдельных элементов приведены в 6.3.8.

### **5.1.2 Требования к перераспределению доступного пространства улицы**

5.1.2.1 Для перераспределения пространства улицы, которое может быть использовано при преобразовании улицы, необходимо оценить существующие функции улицы, имеющуюся инфраструктуру в пределах красных линий улицы, а также потребности всех групп пользователей, включая владельцев примыкающей к улице недвижимости. Необходимо изучить недостатки существующей планировки, имеющиеся неиспользуемые запасы пространства, включая проезжую часть, зоны погрузки-разгрузки, остановочных пунктов, инженерных сетей, зданий, существующих деревьев и другие факторы.

5.1.2.2 Следует оценить интенсивность движения транспортных потоков и использования парковок, чтобы выделить улицы с избыточной пропускной способностью для автомобилей, а также улицы, по которым движение автомобилей может осуществляться совместно с другими пользователями (при низкой интенсивности движения и низкой разрешенной скорости).

5.1.2.3 Рекомендуется перераспределить пространство от чрезмерно широких проезжих частей или недостаточно загруженных парковок на улицах в пользу пассажирского транспорта общего пользования (при наличии) и озеленения, предназначенного для отведения поверхностного стока.

5.1.2.4 В районах с высокой интенсивностью движения пешеходов тротуары обычно имеют ширину, достаточную для размещения элементов благоустройства, дополнительно к ширине, необходимой для пропуска пешеходного потока. В жилых кварталах с меньшей интенсивностью

движения пешеходов зона благоустройства может быть размещена между пешеходной частью тротуара и бордюром. Буферная зона между пешеходными путями и проезжей частью обеспечивает защиту пешеходов от наезда автомобиля и от брызг из-под колес от луж во время дождя.

### **5.1.3 Требования по защите существующей инфраструктуры и деревьев**

5.1.3.1 Состояние существующей инфраструктуры (такой как дорожное покрытие, надземные и подземные коммуникации, сооружения пассажирского транспорта общего пользования и деревья) может определить возможности преобразования улицы и соответственно стоимость строительства.

5.1.3.2 Уличные деревья являются важной частью городского озеленения и управления поверхностным стоком, но могут препятствовать проектам преобразования или реконструкции уличного пространства. Старые деревья часто охраняются в рамках сохранения на территории города природных комплексов, особо охраняемых природных территорий или объектов культурного наследия, при этом обеспечивается улучшение качества воздуха и здоровья населения при одновременном снижении эффекта городского острова тепла.

5.1.3.3 При проектировании биодренирующих сооружений необходимо предусматривать зазор между такими сооружениями и деревьями, достаточный для размещения корней деревьев. Величина такого зазора зависит от вида сооружения и корневой структуры деревьев.

### **5.1.4 Требования к тестированию новой конфигурации улицы**

5.1.4.1 Следует комплексно оценить существующее состояние улиц, чтобы определить возможности улучшения безопасности, пешеходного доступа или движения пассажирского транспорта общего пользования. Озеленение, предназначенное для отведения поверхностного стока, может способствовать:

- инициативам по застройке, увеличивая общественное пространство с озеленением и другими удобствами;

- созданию мест для размещения велосипедных парковок, станций обслуживания велосипедов, уличных кафе, периодических рынков;

- проведению фестивалей и иных массовых мероприятий.

5.1.4.2 Тестирование новой конфигурации улицы позволяет оценить влияние предложенных изменений на поведение жителей. Рекомендуется использовать пилотные проекты, чтобы поэкспериментировать с проектами преобразования, прежде чем инвестировать в полную реконструкцию улицы.

5.1.4.3 Необходимо совмещать преимущества озеленения, предназначенного для отведения поверхностного стока, с другими приемлемыми стратегиями благоустройства улицы.

### **5.1.5 Требования по учету размещения инженерных сетей**

5.1.5.1 При размещении элементов озеленения, предназначенного для отведения поверхностного стока, необходимо учитывать размещение инженерных сетей и возможное влияние на них поверхностного стока и растений. Подземные инженерные сети не должны подвергаться негативному воздействию проникающей в грунт воды. Фундаменты опор должны быть защищены от разрушения вследствие повышения влажности грунта.

### **5.1.6 Требования к изменению вертикальной планировки**

5.1.6.1 Изменение вертикальной планировки улицы позволяет переместить места сбора поверхностного стока и направление течения воды на покрытии проезжей части, тротуаров и велосипедных дорожек. Новая вертикальная планировка должна обеспечивать сток воды к местам сбора и отвода воды без образования луж и потоков воды, препятствующих движению пешеходов.

## **5.2 Особенности организации водоотвода в зависимости от категории улицы населенного пункта**

### **5.2.1 Общие положения**

5.2.1.1 Озеленение, предназначенное для отвода поверхностного стока, – это не только ключевой компонент успешно функционирующей городской инфраструктуры и комфортной городской среды, но и инструмент поддержки социальных связей посредством благоустройства и застройки. Устройство такого озеленения может улучшить мобильность населения и безопасность пользователей улично-дорожной сети, а также восстановить важные гидрологические и экологически значимые функции улиц.

5.2.1.2 Озеленение, предназначенное для отвода поверхностного стока, можно использовать на большинстве категорий улиц населенных пунктов, классифицированных по СП 42.13330, с учетом функции улицы в планировке населенного пункта. Параметры улиц и их элементов, включая проезжую часть, пешеходные и велосипедные пути, следует принимать по СП 42.13330 и СП 396.1325800.

### **5.2.2 Центральные городские улицы – центры посещений**

5.2.2.1 Оживленные городские улицы играют центральную роль в обеспечении комфорта и качества среды обитания жителей городов. На таких улицах, часто встречающихся в центре города или служащих в качестве основных мультимодальных коридоров, наблюдаются высокая деловая и социальная активность, высокий спрос на перемещения и ограниченное пространство. Часто эти улицы имеют небольшую ширину и ограничение движения автомобилей (постоянное или в отдельные дни недели).

5.2.2.2 Если эти улицы подвергаются преобразованию для управления поверхностным стоком, к преимуществам озеленения, предназначенного для

отвода поверхностного стока, на центральных городских улицах можно отнести:

- создание тени для общественных мест и тротуаров;
- устройство отвода воды с велосипедных и пешеходных путей;
- благоустройство остановочных пунктов пассажирского транспорта общего пользования;
- очистка или фильтрация загрязненных стоков.

5.2.2.3 Центральные городские улицы с высокой интенсивностью автомобильного движения имеют большую площадь непроницаемой для воды поверхности, что создает большой объем поверхностного стока. Широкая проезжая часть и большие радиусы закруглений бордюров, которые способствуют высокой скорости движения транспортных средств, приводят к увеличению протяженности пешеходных переходов и снижению безопасности пешеходов и велосипедистов. Если улица используется транспортными и пешеходными потоками большой интенсивности, то, как правило, одновременно у значительного количества пользователей имеется потребность доступа к каждому зданию или земельному участку, расположенным вдоль улицы.

5.2.2.4 Для улиц с интенсивной коммерческой деятельностью важным является доступ к тротуару, включающий доставку и разгрузку грузов, наличие остановочных пунктов пассажирского транспорта общего пользования, доступ велосипедистов к велосипедным парковкам, парковочные места для автомобилей на улице.

5.2.2.5 Наличие значительного количества инженерных сетей предъявляет высокие требования к уровню увязки и взаимной согласованности проектных решений.

5.2.2.6 Озеленение, предназначенное для отвода поверхностного стока, часто наиболее эффективно интегрируется в зону рядом с бордюром (краем проезжей части) и пешеходной зоной, где достаточно свободного пространства. Это позволяет защитить тротуар и пешеходов на нем от брызг

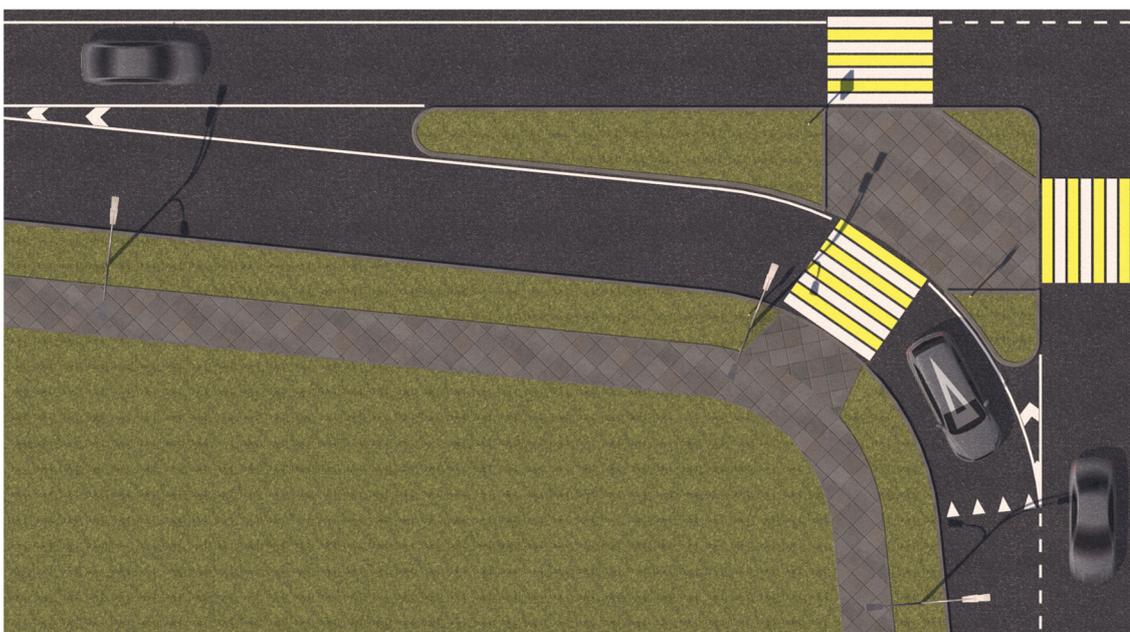
из-под колес автомобилей. Исключить полностью разбрызгивание воды не удастся вследствие использования края проезжей части вдоль бордюра как лотка для продольного стока воды.

5.2.2.7 На улицах с интенсивным движением автомобилей может быть больше, чем обычно, мусора и иных загрязнений, что требует большей емкости систем очистки стока.

5.2.2.8 Использование мероприятий для улучшения видимости, уменьшения времени нахождения на проезжей части пешеходов и снижения скорости движения автомобилей на пересечениях в одном уровне (уменьшение радиусов закруглений с устройством, при необходимости, участков мощения, позволяющих проезжать по ним грузовым автомобилям и автобусам), островков безопасности позволяет освободить или создать пространство для размещения озеленения, предназначенного для отвода поверхностного стока (рисунок 5.1).

5.2.2.9 Размещение озеленения, предназначенного для отведения поверхностного стока, на боковых улицах с меньшей интенсивностью движения позволяет переместить часть сооружений для отвода поверхностных стоков с главной улицы.

В тех случаях, когда недостаточно пространства для одновременного размещения озеленения, предназначенного для отведения поверхностного стока, и пешеходной инфраструктуры, рекомендуется применять более глубокие биодренажные элементы или дождевые сады, что позволяет увеличить объем воды, который можно собрать при ограниченности пространства.



**Рисунок 5.1 – Устройство островков на пересечениях в одном уровне [6]**

5.2.2.10 При размещении озеленения, предназначенного для отведения поверхностного стока, на тротуаре следует сохранять минимальную ширину тротуара в соответствии с требованиями СП 396.1325800.

5.2.2.11 Биодренажные элементы с отводом воды по канализационным коллекторам к очистным сооружениям обеспечивают возможность качественной очистки воды от загрязнений и уменьшают объемы стока по поверхности. Такие элементы эффективны в тех случаях, когда вода не должна проникнуть под дорожную одежду, например, в местах с возможным просачиванием в подвалы, подземные сооружения и инженерные сети.

В тех случаях, когда необходимо увязать расположение на ограниченном пространстве озеленения, предназначенного для отвода поверхностного стока, и подземных инженерных сетей, следует рассмотреть возможность использования небольших, но часто расположенных биодренажных элементов и переустройства сетей на отдельных участках. Также могут быть применены дренирующие дорожные одежды тротуаров и велосипедных дорожек для снижения объема поверхностного стока.

5.2.2.12 При увеличении интенсивности пешеходного движения элементы озеленения, предназначенного для отвода поверхностного стока, следует устраивать меньшей глубины либо с четко различимым выделением (возможно, с короткими бордюрами или с низким ограждением), чтобы снизить риск попадания в них пешеходов. Для создания комфортной городской среды рекомендуется устанавливать лавочки, скамейки и аналогичные элементы благоустройства, располагая их ближе к озеленению.

5.2.2.13 Для обеспечения коммерческих функций улицы рекомендуется избегать размещения вертикальных или выступающих элементов на парковочных местах и в зонах погрузки-разгрузки грузов или посадки-высадки пассажиров.

5.2.2.14 Посадочные площадки и светофорные объекты пассажирского транспорта общего пользования, в том числе трамвайных линий, также могут использоваться как пространство для озеленения, предназначенного для отведения поверхностного стока, согласно 6.3.8.8, при соблюдении требований к площади площадки, необходимой для ожидания пассажиров. При этом необходимо обеспечить взаимную видимость друг друга водителям транспортных средств и пассажирам, ожидающим на остановочном пункте. Рекомендуется использовать крупные деревья вдоль задней части посадочной площадки пассажирского транспорта общего пользования или тротуара и низкую растительность на ближнем крае.

5.2.2.15 Создание обособленной линии трамвая или автобуса [6] часто требует значительных капиталовложений или полной реконструкции, что дает возможность переосмыслить всю планировку и организацию функционирования улицы. Это позволяет устроить озеленение, предназначенное для отвода поверхностного стока, в рамках комплексной реконструкции, которая обеспечивает привлекательное и более безопасное для людей уличное пространство.

### **5.2.3 Магистральные улицы общегородского значения**

5.2.3.1 Крупные транспортные магистрали, которые обслуживают интенсивные транспортные и пассажирские потоки, соединяющие центр города и его окрестности, могут иметь значительный резерв пропускной способности автомобилей, которая не используется в большинстве случаев в дневное время, ухудшая условия ходьбы и езды на велосипеде, а также представляют собой широкие полосы непроницаемой для воды поверхности, которые увеличивают объем поверхностного стока.

5.2.3.2 Широкие улицы часто рассчитаны на пропуск пиковой интенсивности движения транспортных потоков в определенный период времени и не используются в течение остальной части дня и, как правило, не оптимизированы для движения пассажирского транспорта общего пользования. Большая ширина проезжей части обычно приводит к частым превышениям скорости движения автомобилей и ухудшению условий движения для пешеходов и велосипедистов, ухудшению условий коммерческой деятельности и проживания населения на прилегающих к улице земельных участках.

Высокая интенсивность поворотного движения и чрезмерно высокая расчетная скорость поворота автомобилей приводят к увеличению радиуса закругления бордюра при сопряжении проезжих частей пересекающихся улиц, также образуя большие участки непроницаемых для воды поверхностей.

Пассажирский транспорт общего пользования с высокой пропускной способностью может перемещать больше людей, освобождая уличное пространство для озеленения, предназначенного для отведения поверхностного стока, и улучшая экологические показатели на территории уличного пространства. Переключение поездок с автомобилей на пассажирский транспорт общего пользования и снижение скоростей движения автомобилей приводят к снижению выбросов загрязняющих веществ и шумового воздействия при одновременном повышении безопасности.

Рекомендуется использовать освобождаемое при реконструкции улиц пространство, в том числе центральную разделительную полосу, для устройства сооружений для отвода поверхностного стока.

5.2.3.3 Обособленная полоса для движения пассажирского транспорта общего пользования может быть интегрирована с сооружениями для отвода поверхностного стока. Сооружения, отделяющие обособленную полосу, могут быть устроены как сооружения для сбора поверхностного стока – как отдельные дождевые сады или биодренажные канавы, отделенные от проезжей части или рельсового пути бордюром. Посадочные площадки пассажирского транспорта общего пользования, в том числе трамвайных линий, могут использоваться как пространство для озеленения, предназначенного для отведения поверхностного стока согласно 6.3.8.8, при соблюдении требований к площади площадки, необходимой для ожидания пассажиров. При этом необходимо обеспечить взаимную видимость друг друга водителей транспортных средств и пассажиров, ожидающих на остановочном пункте. Рекомендуется использовать крупные деревья вдоль задней части посадочной площадки пассажирского транспорта общего пользования или тротуара и низкую растительность на ближнем крае.

5.2.3.4 Широкие улицы с менее плотным размещением подземных инженерных сетей иногда предоставляют большие возможности для проникновения поверхностного стока в почву по сравнению с небольшими улицами. Длинные участки с небольшим количеством точек доступа к прилегающим земельным участкам и широкими полосами озеленения позволяют устройство больших биодренажных канав со значительной проникающей способностью. Такие мероприятия не только улучшают отвод воды, но также помогают преобразовать магистральные улицы в места отдыха для людей, уменьшая шум и загрязнение воздуха и создавая комфортную для жителей среду обитания за счет создания барьера озеленения между транспортом и пешеходной зоной.

5.2.3.5 Защищенные велосипедные полосы и приподнятые велосипедные дорожки обеспечивают более безопасные и комфортные условия для езды на велосипеде для людей всех возрастов. На велосипедных дорожках, с учетом климатических особенностей, допускается использовать дренирующее (проницаемое) покрытие. Для применения дренирующих покрытий необходимо обеспечить отсутствие вымывания грунта с прилегающих земельных участков без покрытия и засорения пор таких покрытий.

5.2.3.6 Пешеходные переходы со светофорным регулированием, пешеходные переходы с островками безопасности, Z-образные пешеходные переходы с движением пешеходов вдоль проезжей части навстречу движению автомобилей на центральном разделительном островке (рисунок 5.2) создают пространство для размещения озеленения, предназначенного для отвода поверхностного стока.



**Рисунок 5.2 – Пример пешеходного перехода**

Однако в этом случае озеленение должно обеспечивать выполнение требования к видимости согласно СП 396.1325800 на высоте от 0,2 до 2,0 м, а также требования СП 396.1325800 к доступности маршрутов для маломобильных групп населения.

## **5.2.4 Улица районного значения (главная)**

5.2.4.1 Главные улицы районного значения являются пространствами для передвижений, осуществления социальной и экономической деятельности.

Зеленые насаждения делают улицы более привлекательными за счет тени от деревьев и улучшения имиджа улицы. Эффективное управление поверхностным стоком имеет решающее значение для снижения риска затопления объектов недвижимости на таких улицах.

5.2.4.2 Главные улицы районного значения обслуживают местную деловую и социальную активность и характеризуются высоким спросом на качественную пешеходную и велосипедную инфраструктуру, частым въездом/выездом на парковках, необходимостью погрузки-разгрузки товаров, а также прохождением маршрутов пассажирского транспорта общего пользования.

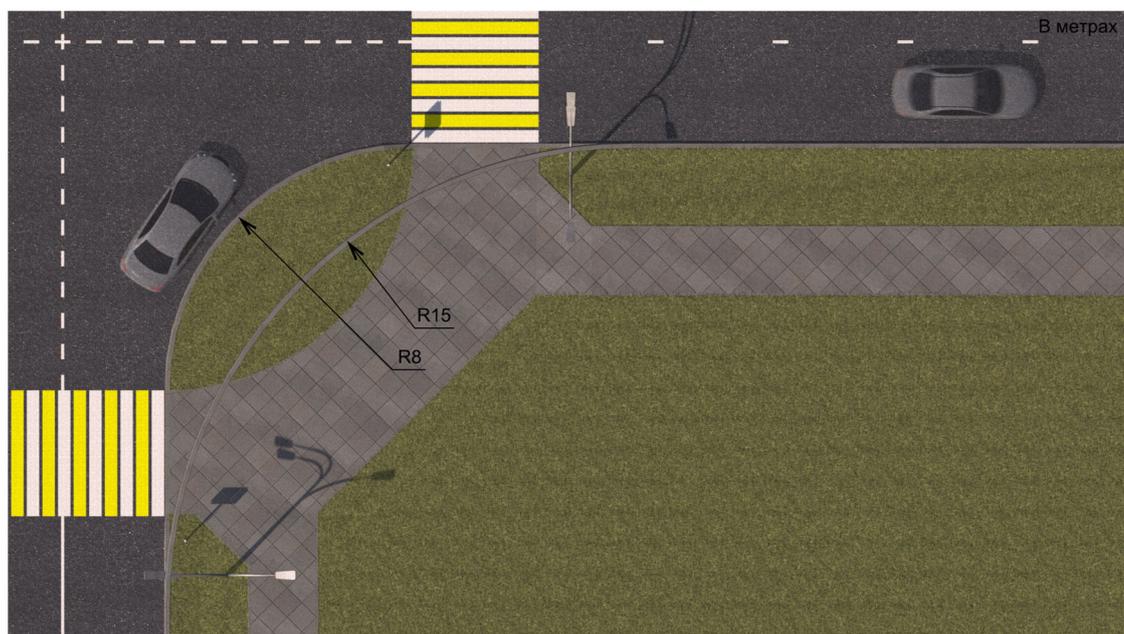
Владельцы объектов недвижимости, примыкающих к этой улице, рассчитывают на эффективное управление поверхностным стоком на территориях общего пользования, позволяющее предотвратить ущерб, вызванный затоплением подвала или здания.

5.2.4.3 Озеленение, предназначенное для отвода поверхностного стока, улучшает качество общественного пространства улицы районного значения, создавая более эстетически приятные общественные места, даже если улица относительно узкая.

Уменьшение ширины проезжей части и устройство велосипедной и пешеходной инфраструктуры могут улучшить мобильность и безопасность, уменьшая количество конфликтов между пользователями улицы, одновременно освобождая пространство для озеленения, предназначенного для отвода поверхностного стока.

Уменьшение радиусов закругления (рисунок 5.3) между пересекающимися проезжими частями позволяет повысить безопасность

пешеходов и велосипедистов, одновременно предоставляя возможность размещения озеленения, предназначенного для отвода поверхностного стока.



**Рисунок 5.3 – Пример уменьшения радиуса закругления на пересечении**

5.2.4.4 Биодренажные элементы могут быть расположены по всему перегону улицы между пересечениями, хотя наиболее эффективно их располагать вблизи пересечений для сбора как можно большего объема стока с примыкающих улиц.

Территория вблизи посадочных площадок пассажирского транспорта общего пользования также может быть использована для озеленения, предназначенного для отвода поверхностного стока.

В случае недостатка места рекомендуется использовать меньшие по размерам, но более часто расположенные элементы такого озеленения, как правило, располагая их между пешеходной/велосипедной инфраструктурой и проезжей частью, что обеспечивает защиту пешеходов от брызг из-под колес автомобилей. Элементы благоустройства желательно располагать ближе к элементам озеленения.

При высокой интенсивности движения рекомендуются устройство по периметру биодренажного сооружения бордюров, ограждений или высадка кустарника.

5.2.4.5 Если местная деловая активность связана с доставкой товаров и грузоперевозками, элементы озеленения, предназначенного для отведения поверхностного стока, должны быть спроектированы так, чтобы обеспечивать необходимый доступ к местам погрузки-разгрузки товаров. Рекомендуется учитывать возможность ограничения парковки легковых автомобилей в периоды разгрузки грузов в отдельных местах в определенные часы или размещения зон погрузки-разгрузки товаров на примыкающих улицах или параллельных проездах.

5.2.4.6 В местах расположения предприятий питания, развлечений и розничной торговли сотрудничество с местным бизнесом может способствовать успешной реализации проекта озеленения, предназначенного для отведения поверхностного стока. На этих высокоактивных участках тротуаров следует предусматривать более частую уборку мусора из элементов озеленения. Рекомендуется рассмотреть возможность заключения соглашений о техническом обслуживании для удаления мусора и прополки с предприятиями, расположенными вблизи элементов озеленения, особенно с использующими тротуар для своего бизнеса (например, уличное кафе).

5.2.4.7 Для предотвращения дренирования подземных вод в соседние сооружения, такие как подвалы или сооружения инженерных коммуникаций, могут потребоваться облицовка и гидроизоляция сооружений озеленения.

5.2.4.8 На парковочных полосах и велосипедных дорожках, как правило, используют дренирующие покрытия. При этом следует, как правило, ограничивать количество поверхностного стока на такие покрытия с проезжей части. С этой целью на парковочных полосах может устраиваться обратный относительно полосы движения поперечный уклон, что позволит создать продольный лоток между полосой движения и полосой парковки, не допускать образование луж на парковочных местах. Исключение составляют случаи,

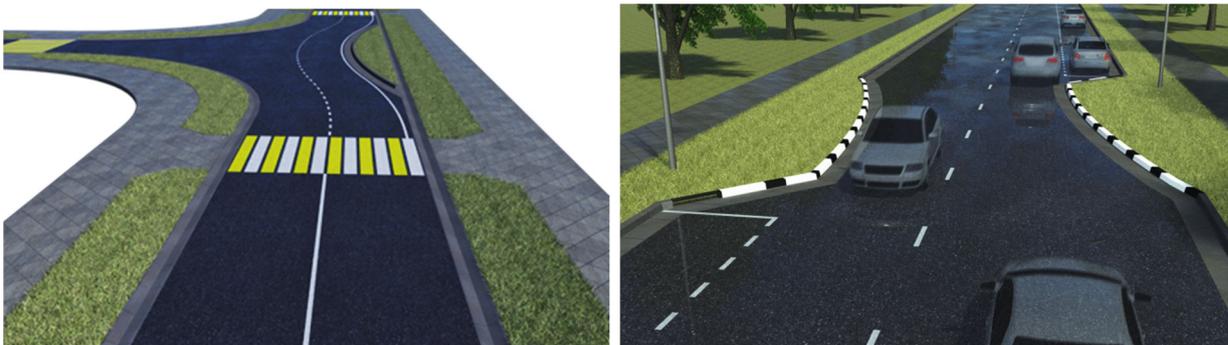
когда дренажные покрытия парковки способны принять весь поверхностный сток с проезжей части или когда поверхностный сток передается дальше в иные сооружения водоотвода (биодренажные, ливневую канализацию и т. п.).

### **5.2.5 Жилая улица**

5.2.5.1 Местные жилые улицы часто недостаточно используются в качестве общественных мест, во многих случаях имеют слишком широкие полосы движения или не распределенную на полосы движения проезжую часть. Проекты устройства поверхностного стока, в том числе озеленения, предназначенного для отвода поверхностного стока, часто являются единственной возможностью реконструировать или полностью переоборудовать такие улицы. Это позволяет создать более комфортные условия для пешеходов и велосипедистов.

5.2.5.2 Местные жилые улицы, как правило, невелики, и в любом режиме интенсивность движения транспорта на них мала. На местных улицах, как правило, допускается парковка с одной или обеих сторон проезжей части. Превышение скорости – частая проблема, которую можно решить с применением озеленения, предназначенного для отвода поверхностного стока, на основе планировочных решений по снижению скорости движения автомобилей [6] (рисунок 5.4).

Существующие деревья и частые примыкания прерывают тротуар, а иногда ограничивают возможности размещения элементов поверхностного водоотвода.



**Рисунок 5.4 – Примеры преобразования местных жилых улиц**

5.2.5.3 Местные улицы требуют создания удобной пешеходной и велосипедной инфраструктуры, что является приоритетом по отношению к обеспечению движения автомобилей. Эти улицы обслуживают местные короткие передвижения и предоставляют значительную возможность интегрировать озеленение, предназначенное для отвода поверхностного стока.

Из-за небольших объемов движения и меньшего количества уличного смёта и мусора местные улицы могут быть идеальными участками проезжей части для размещения биодренирующих сооружений. Вода, стекающая с пересекающихся улиц с более интенсивным движением, может быть направлена в сооружения озеленения, расположенные на местных улицах. На местных улицах могут применяться все возможные элементы озеленения с учетом местных природных и климатических условий.

5.2.5.4 Разработка комплекса мер по управлению скоростью движения автомобилей на местной улице должна быть начальным этапом проектирования озеленения, предназначенного для отвода поверхностного стока.

На местных улицах также рекомендуется уменьшать радиусы закруглений между пересекающимися проезжими частями, обеспечивая, при необходимости, возможность проезда грузовых автомобилей. При размещении озеленения следует обеспечивать требуемую для безопасности движения видимость [6], применяя низкий кустарник (не более 0,5 м) либо деревья с кроной не ниже уровня 2,0 м от покрытия тротуара.

5.2.5.5 Дренирующее покрытие тротуара может использоваться на пешеходных и велосипедных путях, а также на примыкающих к проезжей части парковках. Если дренирующее покрытие используется только как часть общего покрытия, следует установить прокладку между участками с разными покрытиями. На парковочных полосах допускается устраивать обратный относительно полосы движения поперечный уклон, что позволит создавать продольный лоток между полосой движения и полосой парковки, не допускать образование луж на парковочных местах. Исключение составляют случаи, когда дренирующие покрытия парковки способны принять весь поверхностный сток с проезжей части или когда поверхностный сток передается дальше в иные сооружения водоотвода (биодренажные, ливневую канализацию и т. п.).

## **5.2.6 Пешеходная улица/улица смешанного движения**

5.2.6.1 Улицы смешанного движения и пешеходные улицы следует проектировать с приоритетом пешеходов перед всеми другими пользователями, в то же время позволяя автомобилям двигаться только с малой скоростью. Многие узкие или многолюдные улицы в центре города работают неформально как улица смешанного движения в час пик или в обеденный перерыв, но не регулируются как таковые (рисунок 5.5).



**Рисунок 5.5 – Пример улицы смешанного движения**

5.2.6.2 Пешеходная улица/улица смешанного движения часто имеет узкие или перекрытые тротуары, интенсивность движения пешеходов колеблется в зависимости от времени суток в широком диапазоне. Разгрузка товаров приводит к ограничению движения автомобилей по улице.

Отсутствие уклонов покрытия приводит к образованию луж и застою воды, особенно в низких точках, таких как бордюры, желоба и углы, что делает улицу недоступной для пешеходов во время дождя или таяния снега.

5.2.6.3 Пешеходная улица/улица смешанного движения должна допускать движение автомобилей только с малыми скоростями, с приоритетом движения для пешеходов. При этом важно обеспечить доступ для погрузки и доставки товаров, а также для размещения автомобилей жителей, проживающих на этой улице (резидентов). Рекомендуемый уровень ограничения скорости движения автомобилей составляет не более 30 км/ч.

Разработка комплекса мер по управлению скоростью движения автомобилей на пешеходной улице/улице смешанного движения должна быть начальным этапом проектирования озеленения, предназначенного для отвода поверхностного стока. При размещении озеленения следует обеспечивать требуемую для безопасности движения видимость [6], применяя низкий

кустарник (не более 0,5 м) либо деревья с кроной не ниже уровня 2,0 м от покрытия тротуара. Элементы озеленения, предназначенного для отвода поверхностного стока, должны ограничивать и подчеркивать доступную для автомобилей траекторию движения, не допускающую движения с высокой скоростью.

5.2.6.4 Выбор технологии уборки снега и борьбы с гололедом должен учитывать сохранение озеленения.

5.2.6.5 Водосточные желоба [14] или траншеи направляют сток в биодренажные элементы и могут быть спроектированы как элементы, отделяющие пешеходные дорожки от части улицы, на которой допускается смешанное движение.

При использовании дренирующего покрытия продольный и поперечный уклоны следует проектировать таким образом, чтобы направить воду, которая не проникает через дренирующее покрытие, в места ее сбора и отвода.

5.2.6.6 Элементы благоустройства рекомендуется размещать вдоль края пешеходной зоны, отделяя ее от части улицы, предназначенной для смешанного движения.

5.2.6.7 Для предотвращения проникания воды в соседние сооружения и подземные коммуникации могут потребоваться облицовка и гидроизоляция биодренирующих сооружений, отделение подземного пространства под дренирующими покрытиями.

5.2.6.8 Улицы в торговых зонах (коммерческие) должны быть доступны для грузовых автомобилей, осуществляющих доставку товаров. Там, где недостаточно ширины проезжей части, можно спроектировать улицу для смешанного движения с использованием большегрузных грузовых автомобилей в качестве контрольного (не расчетного) транспортного средства. Для погрузки и доставки следует предоставлять отдельные зоны и часы в течение суток. Назначенные зоны погрузки могут быть определены с помощью отличающегося по цвету или материалу дорожного покрытия или использования разметки.

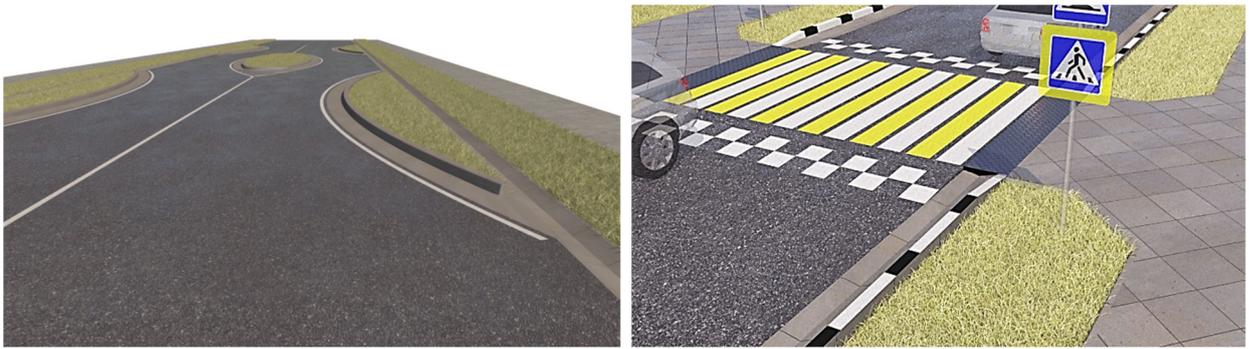
## **5.2.7 Жилая улица со смешанным движением**

5.2.7.1 Во многих городах есть преимущественно жилые улицы с низкой интенсивностью дорожного движения, на которых тротуары не соответствуют нормативным требованиям либо вообще отсутствуют, озеленение хаотичное либо отсутствует. Эти улицы являются общими пространствами, где люди ездят на велосипедах и гуляют по проезжей части. Скопления воды и размывы на таких улицах являются обычным явлением. Парковка происходит неформально (неорганизованно) вдоль улицы, элементы водоотвода отсутствуют или не образуют систему. Пешеходы используют все дорожное пространство для движения и не имеют защиты от автомобиля. При разъезде встречных автомобилей или проезде мимо припаркованного автомобиля пешеходы должны отойти на край улицы, в неудобную для ходьбы зону.

Во время сильных дождей сток может затопить лотки, кюветы и канавы, собирая мусор и загрязняющие вещества и, возможно, накапливаясь на дорожном покрытии.

Эти улицы с использованием озеленения, предназначенного для отвода поверхностного стока, могут быть перепроектированы как общие пространства, с улучшенной средой для пешеходов, велосипедистов и игр, обеспечивая при этом обслуживание, доставку и подъезд на автомобиле к домам, расположенным на такой улице.

5.2.7.2 Улицы, функционирующие со смешанным движением, должны быть спроектированы так, чтобы обеспечивать скорость движения транспортных средств не более 30 км/ч. Сужения проезжей части и другие мероприятия, которые замедляют или ограничивают транспортный поток [6], имеют решающее значение для обеспечения низкой скорости движения и обеспечивают безопасные и комфортные условия ходьбы и езды на велосипеде. Указанные элементы не должны препятствовать стоку воды (рисунок 5.6).



**Рисунок 5.6 – Примеры мероприятий по ограничению скорости движения автомобилей с лотком вдоль бордюра**

5.2.7.3 Тротуары рекомендуется проектировать с дренирующим покрытием, если позволяют природные условия, выделяя пешеходную часть улицы. При выборе материала следует учитывать технологии зимнего содержания. Если используются дренирующие покрытия тротуара или велосипедной дорожки, следует не допускать стока с соседних участков без твердого покрытия, а суммарный (косой) уклон должен обеспечивать сток воды, которая осталась на поверхности, в места размещения элементов водоотвода.

5.2.7.4 На улице необходимо обеспечить поперечные и косые уклоны согласно СП 42.13330 и СП 396.1325800.

Низкие ограждения или прорезанные бордюры могут быть расположены по всему периметру элементов озеленения, предназначенного для отвода поверхностного стока, для предотвращения попадания в них пешеходов или автомобилей. Биодренирующие сооружения с вертикальными стенками должны быть неглубокими, чтобы снизить риск споткнуться и получить травму, а также облегчить техническое обслуживание.

5.2.7.5 Элементы благоустройства (скамейки, велосипедные парковки и т. п.) позволяют выделять пространство, предназначенное только для пешеходов.

5.2.7.6 Биодренирующие сооружения могут нуждаться в облицовке и гидроизоляции, особенно в непосредственной близости от зданий и инженерных сетей.

## **5.2.8 Проезды**

5.2.8.1 Проезды рекомендуется проектировать как логическое продолжение улично-дорожной сети. Проезды являются неотъемлемой частью транспортной инфраструктуры населенного пункта.

Устройство в проездах озеленения, предназначенного для отвода поверхностного стока, превращает их в общественные пространства, которые также выполняют функции мобильности, обеспечивая доступ для служебных транспортных средств и грузов и значительно улучшая доступность для пешеходов и велосипедов.

Большинство проездов имеют низкую интенсивность движения автомобилей либо изначально предназначены для выполнения только пожарных функций.

5.2.8.2 В центре города или в жилом районе проезды часто служат для погрузки и доставки грузов, вывоза мусора или аналогичных операций, для выполнения которых в противном случае использовали бы главную (относительно проезда) улицу.

При проектировании проездов необходимо стремиться сбалансировать их функцию с потенциалом использования как общественного пространства. На проездах следует устраивать эффективный водоотвод, что позволяет создать привлекательное общественное пространство для людей.

5.2.8.3 В проездах в жилой застройке рекомендуется рассмотреть возможность использовать дренирующие покрытия. Следует избегать использования дренирующих покрытий в местах размещения контейнеров для мусора, чтобы избежать накопления мусора на проницаемой поверхности. На участках понижения поверхности, которые приводят к образованию луж, при условии пригодности для инфильтрации нижележащих почв, можно использовать дренирующие покрытия без необходимости устройства сооружений для сбора ливневых стоков, так как

низкая интенсивность движения автомобилей по проездам в жилой застройке не приводит к образованию загрязняющих веществ, которые могут быть смыты стоком.

5.2.8.4 Применение биодренирующих сооружений позволяет создать озеленение, привлекающее людей. Для предотвращения фильтрации подземных вод в соседние сооружения и подземные коммуникации могут потребоваться облицовка и гидроизоляция биодренирующих сооружений.

На пересечениях проездов с тротуарами при примыкании проезда к улице требуется обеспечивать видимость в соответствии с [6]. Для создания безопасной, привлекательной среды проезды должны иметь освещение.

5.2.8.5 Пожарные проезды с задней стороны зданий обеспечивают прямой доступ к помещениям на первых этажах и устраняют необходимость в проезде грузовиков и размещении площадок разгрузки товаров вдоль фасада, в местах прогулок и езды на велосипедах. Необходимо обеспечить доступ от зон погрузки внутрь здания при перевозке грузов на тележках.

5.2.8.6 На проездах озеленение, предназначенное для отвода поверхностного стока, может быть применено как мероприятие по снижению скорости движения согласно [6].

5.2.8.7 Проезды, совмещенные с тротуарами следует проектировать как улицу смешанного движения, с учетом 5.2.5.

## **5.2.9 Улица в производственной зоне**

5.2.9.1 Улицы в производственных зонах обслуживают производственные, складские и коммерческие территории. Основное движение – грузовое. Пешеходы и велосипедисты – как правило, только сотрудники предприятий, расположенных в обслуживаемой производственной зоне.

Такие существующие улицы при отсутствии подземной ливневой канализации, как правило, не оборудованы системой отвода поверхностного

стока и на них, как правило, не предоставляются минимальные возможности движения для пешеходов. Тротуары часто отсутствуют и на обочинах скапливаются лужи. Проход и проезд по улице в производственной зоне часто блокируются грузовиками. Маршруты пассажирского транспорта общего пользования обслуживают улицу и прибывающих рабочих предприятий. Ливневые стоки содержат большое количество взвесей, мусора и загрязняющих веществ с проезжей части.

Озеленение, предназначенное для отвода поверхностного стока, позволяет сделать улицу более привлекательной и при этом уменьшить скопление воды, что улучшает условия движения пешеходов и велосипедистов. Целесообразно устройство совмещенных пешеходных и велосипедных путей, отделенных от проезжей части озеленением.

5.2.9.2 На пересечениях целесообразно уменьшать радиусы закруглений между пересекающимися проезжими частями с устройством мероприятий для возможности проезда большегрузных автомобилей, препятствующих движению легковых автомобилей с высокой скоростью (рисунок 5.7).



**Рисунок 5.7 – Пример устройства отмычки для пропуска грузовиков**

5.2.9.3 На пешеходных и велосипедных дорожках целесообразно использование дренирующих покрытий, если позволяют природные условия и технологии зимнего содержания.

5.2.9.4 Использование озеленения, предназначенного для отвода поверхностного стока, на улицах в производственных зонах требует большего

внимания к очистке поверхностного стока. Необходимость устройства отдельных очистных сооружений, расположенных на прилегающей территории, необходимо обосновывать в проектной документации на основании анализа источников загрязнений в производственных зонах, вероятности попадания этих загрязнений на проезжую часть, тротуары и велосипедные дорожки, близости грунтовых вод и иных факторов.

Почвенная среда в биодренирующих сооружениях в промышленных зонах может быть многослойной и отличаться от используемой на улицах в жилых районах в зависимости от загрязнителей и необходимых мероприятий для очистки уличного стока от них. Биодренирующие сооружения могут нуждаться в облицовке и гидроизоляции, чтобы предотвратить дальнейшее проникновение загрязнений в грунт.

Целесообразно рассматривать возможность использования сооружений больших объемов для хранения и обработки большего количества стоков. Необходимо оценить возможность стока воды в ЛОС большой производительности.

5.2.9.5 На парковочных местах вдоль улицы и велосипедных дорожках допускается использовать дренирующие покрытия. При этом следует ограничивать количество поверхностного стока на такие покрытия с проезжей части и собирать сток в дренажные трубы для дальнейшего направления в очистные сооружения. Отказ от очистки стока должен быть обоснован анализом состава стекающей воды и соответствия ее санитарным нормам.

### **5.2.10 Восстановление ручьев и малых рек**

5.2.10.1 Восстановление ручьев и малых рек, ранее убранных в подземные трубы и канализационные коллекторы, позволяет снизить вероятность размывов и создать комфортную городскую среду с водоемом.

Восстановление естественного русла на поверхности позволяет создать пригодное для использования общественное пространство, при этом для сбора сточных вод используется озеленение, предназначенное для отвода поверхностного стока, а на ручье, при необходимости, могут устраиваться очистные сооружения.

Поток ручья направляется по руслу, а сток с прилегающих улиц направляется в озеленение, предназначенное для отвода поверхностного стока, расположенное вдоль улиц и (или) ручья. Вода, прошедшая очистку (при необходимости), может направляться по дренажным трубам в русло ручья.

### **5.2.11 Пересечения и примыкания в одном уровне**

5.2.11.1 Пересечения и примыкания необходимо устраивать в соответствии с СП 42.13330, СП 396.1325800 и [6]. Целесообразно упрощение пересечений с увеличением зон для пешеходов согласно [6] либо устройство направляющих островков с функцией островков безопасности (рисунок 5.8).



**Рисунок 5.8 – Примеры пересечений в одном уровне**

5.2.11.2 На пересечениях следует предусматривать устройство путей для пешеходов и велосипедистов согласно [6]. Следует избегать размещения

дренажных решеток и водосборников на углах и вершинах закруглений или в местах, где пешеходы могут споткнуться, наступая на бордюр.

5.2.11.3 При проектировании вертикальной планировки пересечений или примыканий следует учитывать:

- продольный профиль подходов к пересечению;
- высотные отметки и поперечный уклон проезжей части главной улицы или дороги, в том числе вираж на проезжей части главной улицы или дороги в случае расположения пересечения на кривой в плане;
- обеспечение водоотвода на пересечении.

Водоотводящие лотки и решетки ливневой канализации (при их наличии), как правило, устанавливаются в низких точках на подходах к пересечению или примыканию. Не следует размещать водоотводящие лотки (откосные и аналогичные, кроме прикромочных) и решетки ливневой канализации (при их наличии) в пределах наземных пешеходных переходов.

5.2.11.4 При устройстве поверхностного водоотвода на кольцевых пересечениях следует учитывать требования нормативных документов по проектированию кольцевых пересечений<sup>1)</sup>. Откосные водоотводящие лотки и решетки ливневой канализации (при их наличии), как правило, устанавливаются в низких точках на подходах к кольцевому пересечению, не допуская проникновения воды с прилегающих территорий и примыкающих улиц и дорог на кольцевую проезжую часть.

Если поперечные уклоны кольцевой проезжей части устраивают от центрального островка, центральный островок, как правило, устраивают приподнятым над проезжей частью. Если поперечные уклоны внутренней полосы кольцевой проезжей части устраиваются в сторону центрального островка, для отвода воды поверхность центрального островка следует устраивать ниже кольцевой проезжей части с устройством системы отвода

---

<sup>1)</sup> До 1 сентября 2021 г. в Российской Федерации действует ПНСТ 271–2018 «Дороги автомобильные общего пользования. Кольцевые пересечения. Правила проектирования».

воды, попадающей в область центрального островка, либо следует располагать решетки ливневой канализации вдоль границы центрального островка или его краевой полосы.

## **6 Требования к решениям отвода и фильтрации вод**

### **6.1 Общие положения**

6.1.1 Система отвода ливневого стока состоит из двух основных частей:

- сбора и организации стока ливневых вод;
- очистки стока, при необходимости, – при несоответствии стекающей воды санитарно-гигиеническим требованиям.

6.1.2 Проезжая часть улицы и тротуар сами по себе не являются объектами, которые загрязняют окружающую среду. Без движения автомобилей, пешеходов и велосипедистов они не являются источником образования загрязняющих веществ. Источником выбросов загрязняющих веществ являются пользователи улиц. При движении автомобилей по улице в результате износа дорожного покрытия, шин, тормозных механизмов, потерь НП образуются загрязняющие вещества. Загрязняет поверхностный сток также грунт, мусор, выносимые на проезжую часть и тротуары транспортными средствами и другими участниками движения, стоком воды с прилегающей территории.

6.1.3 Основным методом удаления поверхностных сточных вод (ПСВ) с улиц и дорог (при отсутствии загрязнений и соответствии стекающей воды санитарным нормам) является организация естественного стока без предварительного сбора. Вода в этом случае просачивается в грунт или стекает по поверхности в зависимости от скорости инфильтрации воды и наличия пути стока [40].

Для такого отвода поверхностного стока требуется:

- достаточно большие площади без твердого покрытия и достаточная фильтрационная способность почвы, чтобы принять поверхностный сток естественным способом, без риска затопления;

- естественный водоприемник (низины, канавы и водоемы), через которые может стекать поверхностный сток с улиц и дорог.

6.1.4 Вода с поверхности улиц и дорог должна отводиться на возможно более широкую площадь или вводиться во многих местах в желоба и канавы. Если поступление превышает инфильтрационную емкость почв, то воду поверхностного стока допускается кратковременно накапливать.

6.1.5 Поверхностный сток с улиц (дорог) с малой интенсивностью движения (менее 2000 автомобилей в сутки), как правило, не содержит существенных загрязнений [40] и при соответствии санитарным нормам может сбрасываться в водоемы, на прилегающую территорию и инфильтроваться в грунт без очистки. В этом случае перед местом водосброса следует установить колодец для отбора проб в целях периодической проверки чистоты стока, особенно в период снеготаяния.

Поверхностные воды улиц (дорог) с интенсивностью движения более 2000 авт./сут должны, как правило, перед сбросом в водоемы пройти обработку (очистку). Обработкой является также соответствующая инфильтрация сточных вод.

6.1.6 Основным источником ВВ в сточных водах с проезжей части и практически единственным в сточных водах с тротуаров являются смет на поверхности покрытия или от проезжей части и тротуара без покрытия. Частицы грунта на поверхности укрепленных усовершенствованными покрытиями тротуаров, пешеходных дорожек, проезжей части улиц и проездов населенных пунктов образуются, как правило, вследствие:

- водной эрозии с газонов и озелененных территорий;
- выноса частиц грунта колесами автомобилей, выезжающих с грунтовых площадок (парковок, газонов и т. п.);
- ветровой эрозии в случае, если из-за просушивания грунт газонов и других озелененных территорий превращается в пыль, легко поднимаемую ветром.

Вынос частичек грунта ливневыми стоками (водная эрозия) возможен в случае, если поверхностный сток с газонов и иных озелененных территорий попадает непосредственно на поверхность укрепленных усовершенствованными покрытиями тротуаров, пешеходных дорожек, проезжей части улиц и проездов населенных пунктов.

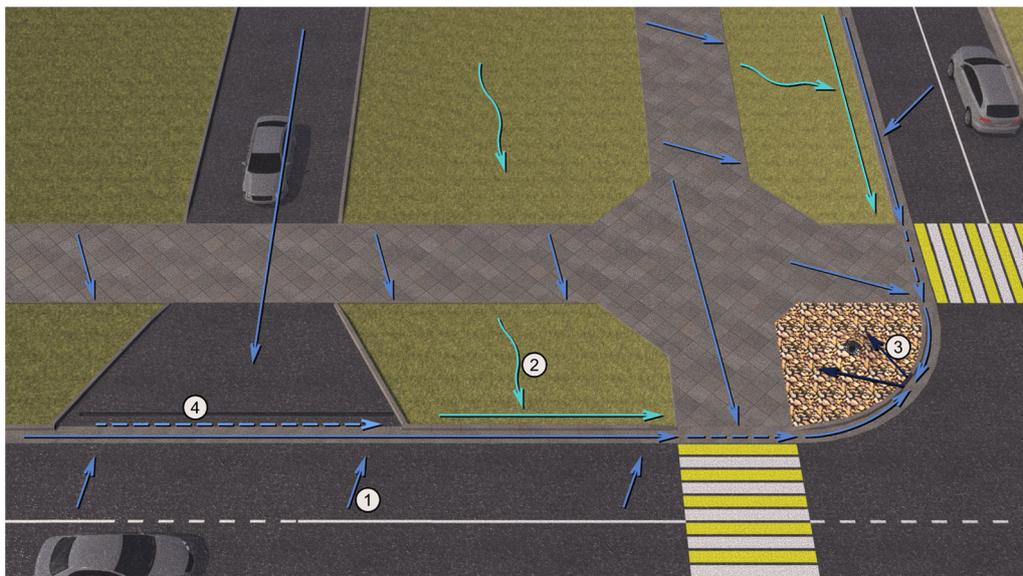
Следует предотвращать попадание на проезжую часть, тротуары и велосипедные дорожки стока, включающего взвешенные частицы грунта, вымытые при протекании через газон или аналогичную территорию.

## **6.2 Методы отвода поверхностного стока с проезжей части улиц и других объектов транспортной инфраструктуры в населенных пунктах**

### **6.2.1 Принципы устройства поверхностного водоотвода в населенных пунктах**

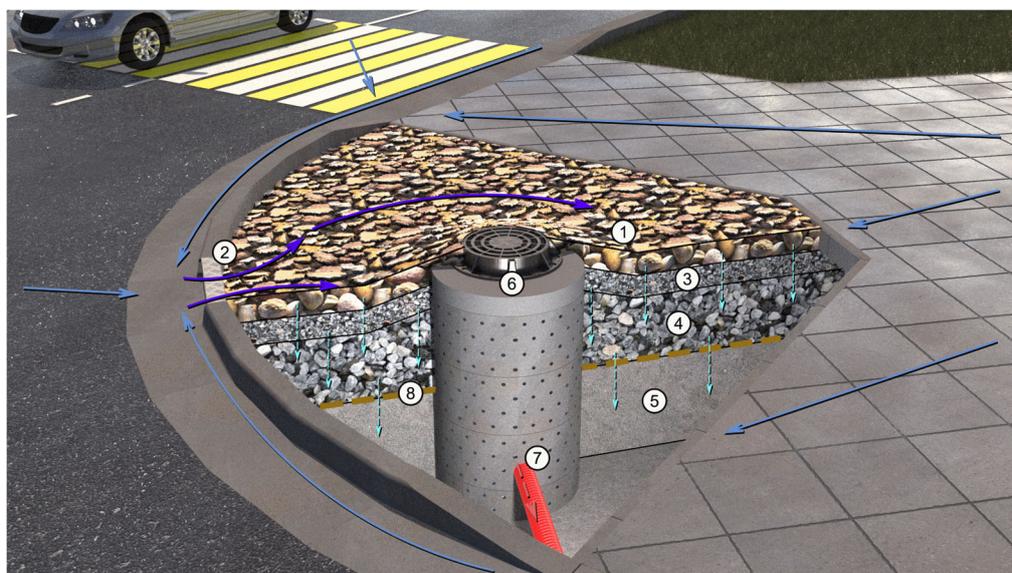
6.2.1.1 Общие принципы устройства поверхностного водоотвода в населенных пунктах заключаются в необходимости управляемой организации поверхностного стока воды с проезжей части улиц, тротуаров, парковок, проездов, остановочных пунктов общественного транспорта, велосипедных и пешеходных путей в целях предотвращения затопления улиц, выноса грунта на проезжую часть, подтопления фундаментов и подвалов зданий (рисунок 6.1) [4]. Сток воды должен быть организован от стен зданий.

6.2.1.2 На рисунке 6.2 приведена простейшая схема водоотвода (фильтрации) сточной воды через насыпку щебня с выводом воды в канализационный коллектор или ливневый дренажный колодец от указанных выше объектов.



1 – сток по проезду или улице; 2 – фильтрация сточной воды через газон; 3 – фильтрация сточной воды через насыпку щебня с выводом воды в канализационный коллектор (рисунок 6.2); 4 – канал для прерывания стока воды по проезду [51]

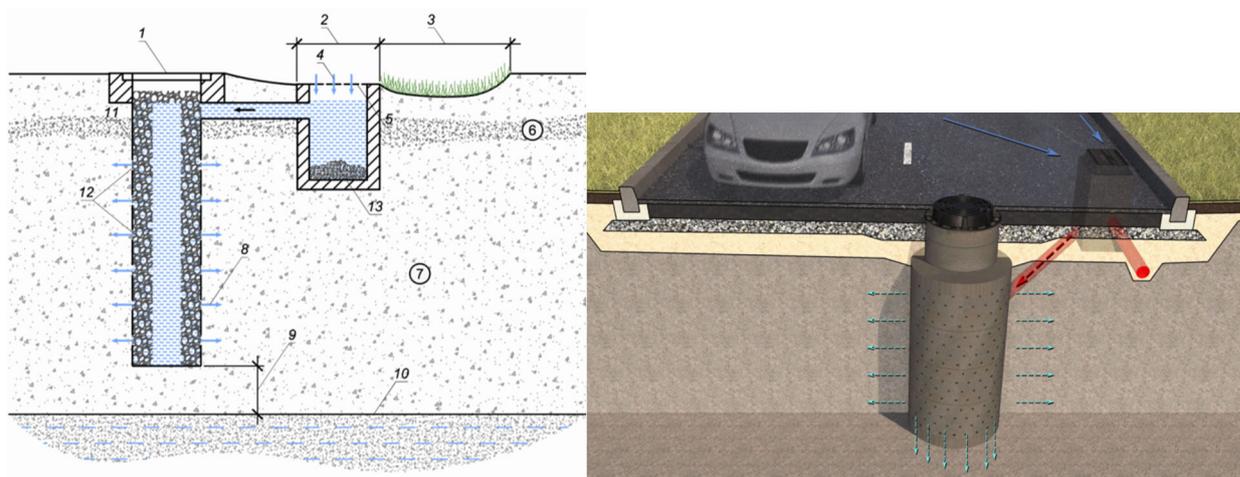
**Рисунок 6.1 – Система организации стока воды на городских застроенных территориях**



1 – мощение/верхняя засыпка; 2 – отверстие для стока воды с проезжей части; 3 – основание мощения; 4 – щебень; 5 – песок; 6 – ливневый дренажный колодец для стока воды; 7 – дренажная труба

**Рисунок 6.2 – Схема фильтрации сточной воды через насыпку щебня с выводом воды в канализационный коллектор, ПОС или ливневый дренажный колодец**

6.2.1.3 Важным элементом системы отвода поверхностного стока с проезжей части улиц и других объектов транспортной инфраструктуры является ливневый дренажный колодец, общий вид и схема работы которого приведены на рисунке 6.3.



1 – крышка колодца; 2 – ПОС (отстойник для осаждения ВВ); 3 – озеленение; 4 – сбор стекающей воды; 5 – решетка; 6 – водоупорный слой грунта; 7 – водоносный слой; 8 – инфильтрация воды в грунт; 9 – расстояние от дна колодца до грунтовых вод; 10 – уровень грунтовых вод; 11 – гравий; 12 – отверстия в стенках колодца; 13 – выпавший осадок

**Рисунок 6.3 – Общий вид и схема работы ливневого дренажного колодца**

6.2.1.4 Ливневый дренажный колодец предназначен для управления ливневыми стоками путем приема ливневых вод из систем сбора с осуществлением очистки внутри колодца либо приема ливневых вод, прошедших предварительную очистку, отведения сточных вод в грунт или водные объекты через перфорационные отверстия в колодце. Очистка воды может проводиться перед колодцем или внутри него.

Небольшая занимаемая площадь с потенциально большим объемом хранилища позволяет накапливать большой объем сточных вод с дальнейшей инфильтрацией воды в грунт. Скорость инфильтрации следует определять по ГОСТ 23278.

6.2.1.5 Минимальный рекомендуемый диаметр ливневого дренажного колодца составляет 0,9 м. Минимальное рекомендуемое расстояние между

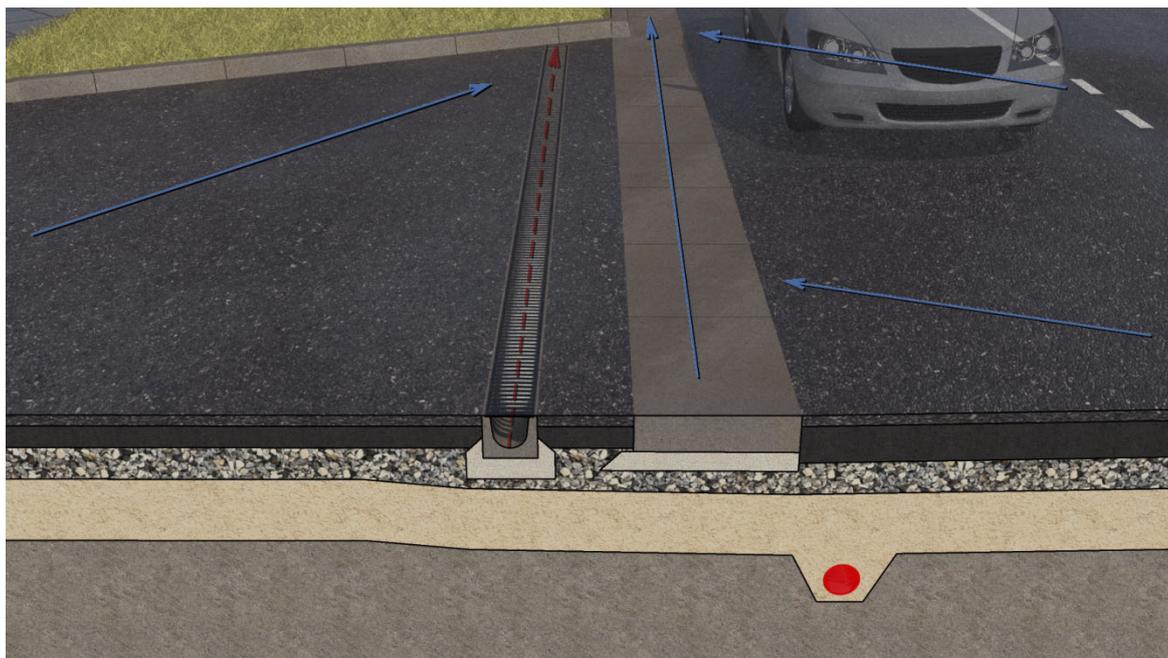
уровнем грунтовых вод и дном колодца составляет 0,6 м, минимально допустимое расстояние между ливневым колодцем и фундаментом здания –6,0 м.

6.2.1.6 Ливневые дренажные колодцы полностью находятся под землей, и на поверхности располагается только крышка люка; ливневые дренажные колодцы не влияют на городскую среду.

Ливневые дренажные колодцы воздействуют на велосипедистов или пешеходов так же, как обычная крышка люка, и не препятствуют их движению, за исключением пользователей средств индивидуальной мобильности с колесами маленького диаметра (роликовые коньки, гироскутеры, самокаты и т. п.). Для предотвращения травмирования указанных пользователей следует избегать расположения колодцев на велосипедных дорожках. На проезжей части следует располагать колодцы посередине полосы движения.

Колодцы могут быть использованы в сочетании с другими элементами управления поверхностным стоком.

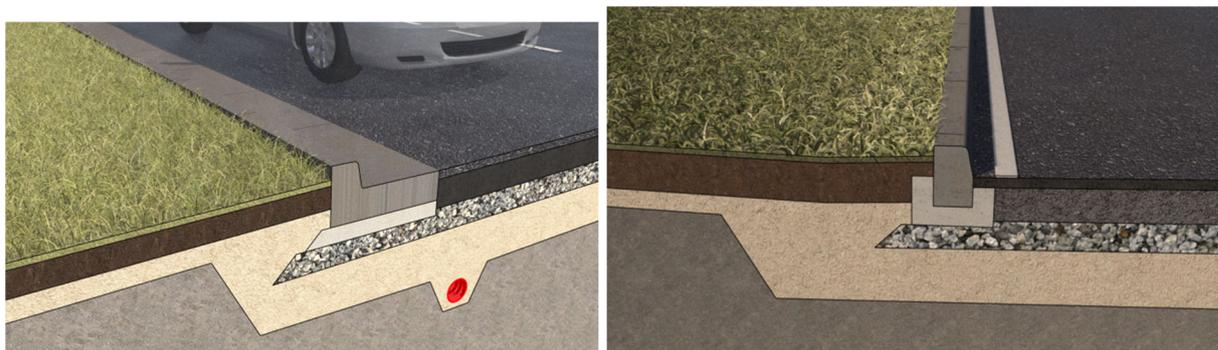
6.2.1.7 На застроенных территориях может использоваться устройство поперечного водосточного лотка [14], закрытого решеткой (рисунок 6.4), для прерывания стока воды по проезду в месте примыкания проезда к улице.



**Рисунок 6.4 – Схема канала для прерывания стока воды по проезду**

6.2.1.8 Одной из наиболее сложных проблем поверхностного водоотвода в населенных пунктах является прерывание или предотвращение стока с газона на поверхности укрепленных усовершенствованными покрытиями тротуаров, пешеходных дорожек, проезжей части улиц и проездов населенных пунктов.

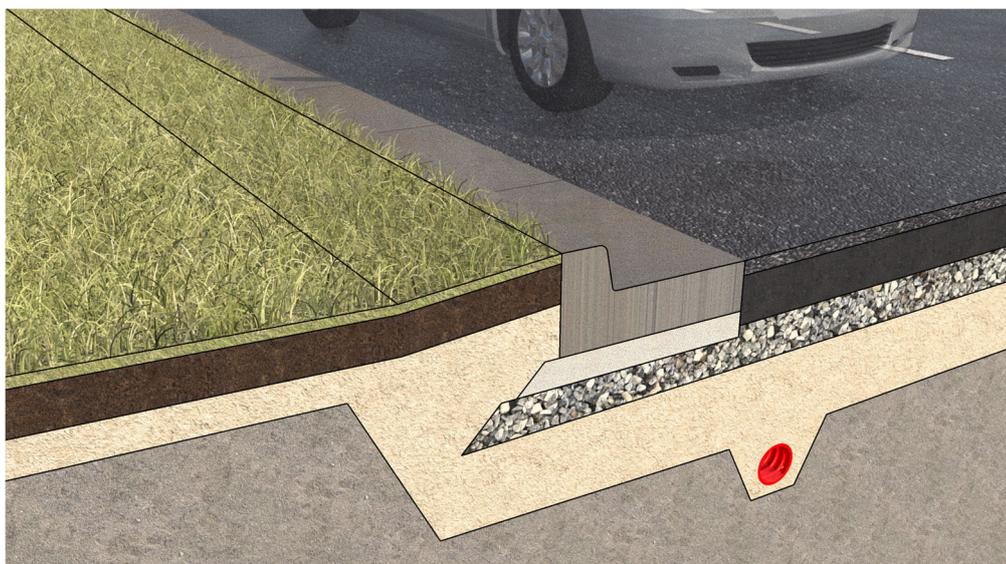
6.2.1.9 Ключевым фактором эффективной организации водостока без выноса частиц грунта на проезжую часть является превышение верхней кромки бордюра над поверхностью грунта минимум на 5–7 см (рисунок 6.5).



**Рисунок 6.5 – Примеры превышения верхней кромки бордюра над поверхностью грунта [44]**

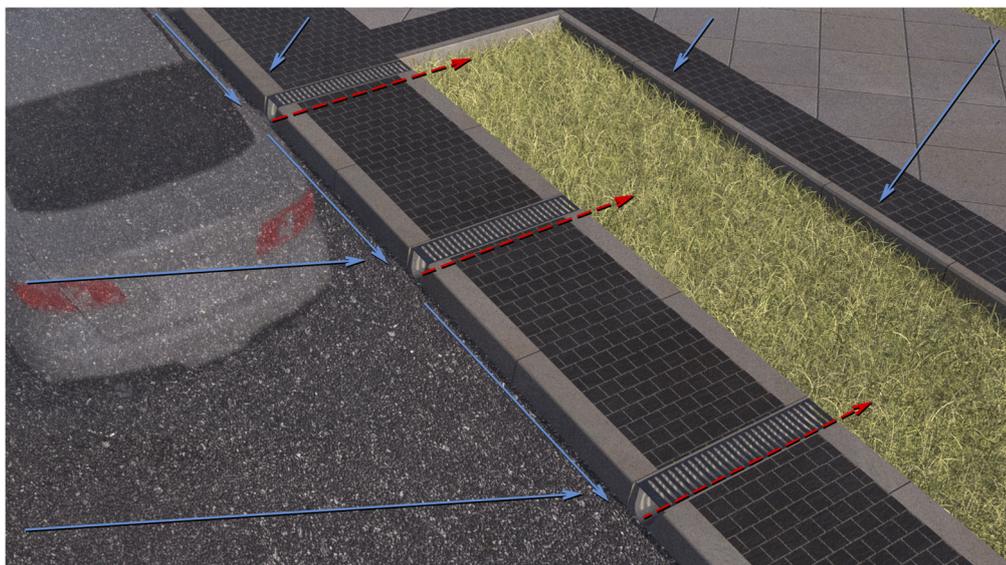
6.2.1.10 На рисунке 6.6 приведена типичная схема устройства лотка на газоне для организации продольного стока вдоль границы укрепленной твердым покрытием поверхности. Допускается также применять засыпку лотка щебнем или гравием, как показано на рисунке 6.2.

При устройстве лотка на газоне поверхность газона может быть на одном уровне с поверхностью бордюра или края тротуара/проезжей части, но в таком случае на газоне устраивают уклон от тротуара/проезжей части, что обеспечивает сток воды без выхода на укрепленную покрытием поверхность.



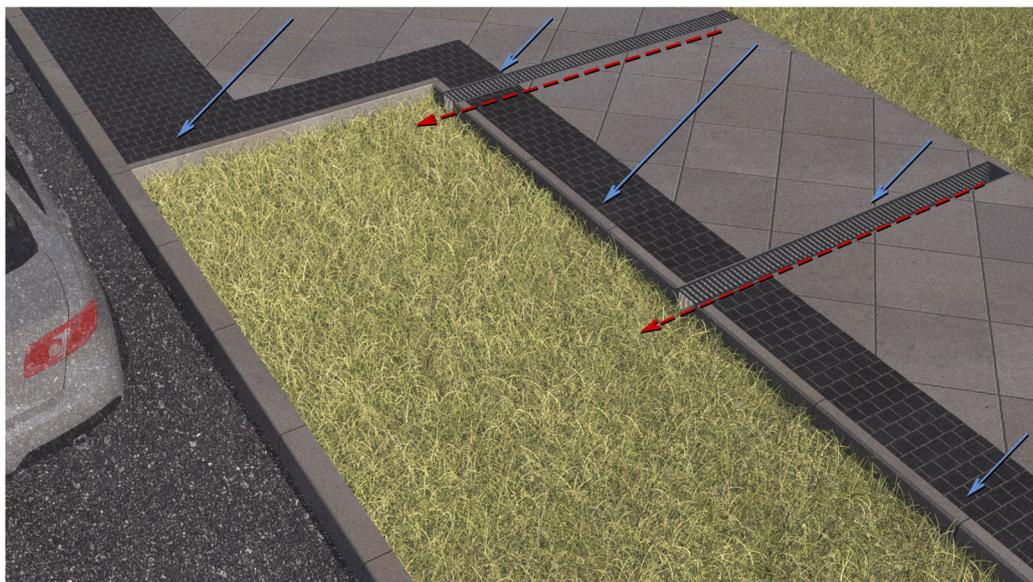
**Рисунок 6.6 – Схема устройства лотка на газоне для организации продольного стока вдоль границы укрепленной твердым покрытием поверхности**

6.2.1.11 При организации стока ливневых вод на газоны на улицах с малой интенсивностью движения для предотвращения попадания на тротуар взвешенных частиц и других загрязнителей устраивают специальные лотки для стока воды под тротуаром (рисунок 6.7).



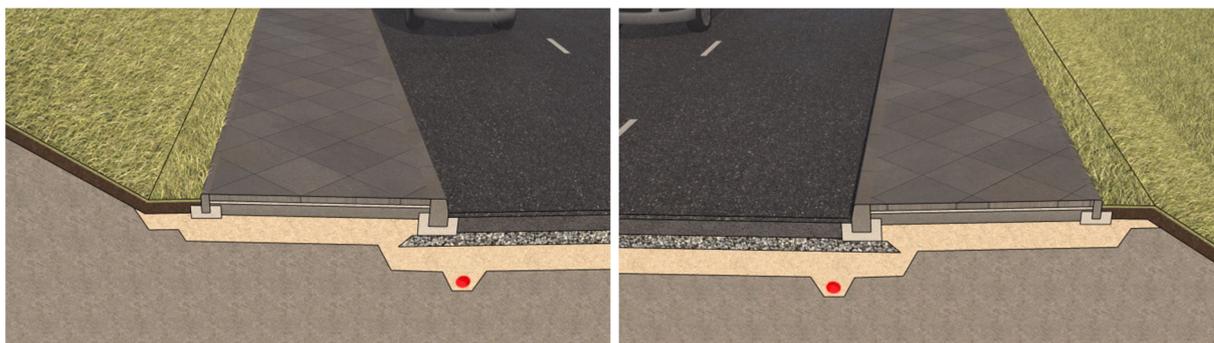
**Рисунок 6.7 – Пример расположения лотков для стока воды под тротуаром [44]**

6.2.1.12 Одновременно такие лотки могут служить также для сбора сточных вод с тротуара (рисунок 6.8) [40], [42], [43], [49].



**Рисунок 6.8 – Примеры организации сбора стока воды с тротуара [43]**

6.2.1.13 Для предотвращения выноса грунта на проезжую часть или тротуар с откоса при строительстве улицы или проезда на откосе предусматривают участки с горизонтальной поверхностью или обратным уклоном от проезжей части/тротуара (рисунок 6.9) [36].



**Рисунок 6.9 – Пример поперечного профиля улицы или проезда на откосе**

## 6.2.2 Дренирующее покрытие (тротуар, велосипедная дорожка, проезжая часть – при обосновании)

6.2.2.1 Большая площадь поверхности непроницаемого для воды покрытия в городах является основной проблемой при отводе городских ливневых стоков. Уменьшение площади поверхности непроницаемого покрытия за счет использования для покрытия проницаемых материалов позволяет воде проникать через улицы и тротуары, уменьшая объем ливневого стока. Дренирующие покрытия увеличивают пространство для проникновения воды, особенно в таких местах, как проезды, велосипедные дорожки или места для парковки, где необходимо устранять скопления воды (лужи) и т. п., не жертвуя пространством для мобильности.

6.2.2.2 Дренирующее покрытие представляет собой укрепленную поверхность тротуара, велосипедной дорожки, парковки или проезжей части, состоящую из материалов, которые позволяют воде свободно проходить через поверхность, тем самым устраняя или уменьшая сток по сравнению с дренирующим покрытием (рисунок 6.10). Для предотвращения скапливания воды под покрытием необходимо обеспечить сток воды по дренирующему слою под верхним слоем покрытия и (или) проникновение воды дальше в грунт. Блокирование воды гидроизолирующими материалами под покрытием не допускается.



а) Асфальтобетон

б) Плитка крупная

в) Плитка маленькая

**Рисунок 6.10 – Трехмерный вид дренирующих покрытий**

Дренирующие покрытия, как правило, включают в себя:

- либо конструктивный слой для стока воды под проницаемой поверхностью (например, щебень или гравий) который обеспечивает распределение нагрузки с верхних слоев покрытия, временное хранение и дренирование ливневых вод. При промерзании ниже верхнего слоя покрытия накопление воды под покрытием не допускается, вода должна полностью удаляться из-под покрытия в течение не более 24 ч [47];

- либо конструкции, обеспечивающие отвод воды в сторону (боковое дренирование), – дренажные трубы или слои из геосинтетических материалов. Дренажные трубы должны располагаться ниже границы промерзания [47].

Исключение составляют случаи, когда вода может проникать далее в естественный грунт (например, на песчаных грунтах) либо покрытие не имеет однородного слоя на поверхности (рисунок 6.11).



**Рисунок 6.11 – Примеры расположения дренирующих покрытий на парковках**

6.2.2.3 Дренирующие покрытия допускается применять на велосипедных дорожках, тротуарах, проездах, парковочных полосах и других парковочных элементах. Их допускается использовать на улицах с низкой интенсивностью движения автомобилей и ограничением движения грузовых автомобилей согласно СП 396.1325800.

Примерами дренирующих покрытий могут быть: дренирующий асфальтобетон, дренирующий бетон, дренирующие тротуарные плитки, несплошные плитки с заполнением полости грунтом, укрепление грунта георешетками и другие материалы, которые обеспечивают инфильтрацию ливневых вод непосредственно под поверхностью покрытия улицы и могут наноситься на любую часть улицы при условии соответствующих условий на поверхности и под поверхностью (рисунок 6.11). При применении тротуарной плитки вода просачивается через стыки между плитками.

6.2.2.4 Дренирующие покрытия наиболее эффективны при небольших уклонах (5 % или менее), чтобы позволить воде проникать внутрь и для обеспечения временного подземного хранения воды в засушливых районах в промежутках между дождями.

6.2.2.5 Для укрепления грунта на грунтовых площадках для парковки автомобилей применяют ячеистые структуры с вертикальными стенками ячеек, пластиковые решетки, георешетки (рисунок 6.12) [37]–[39].



**Рисунок 6.12 – Пример укрепления грунта на грунтовых площадках для парковки автомобилей разными видами укреплений**

6.2.2.6 Для проницаемых поверхностей велосипедных дорожек и полос рекомендуется использовать пористый асфальт или бетон (рисунок 6.13), а не тротуарную плитку, которая может со временем осесть и стать гораздо менее

удобной для езды на велосипеде, а для пользователей на средствах персональной мобильности с маленьким диаметром колес – опасной.

Примечание – В этом случае всю дорожную одежду следует устраивать в течение одного строительного сезона.



**Рисунок 6.13 – Схема расположения дренажных покрытий парковки и велосипедной дорожки**

6.2.2.7 Если велосипедная дорожка/полоса находится рядом с бордюром, использование водосточного лотка не рекомендуется, и следует рассмотреть возможность использования дренажного покрытия до бордюра, чтобы вода не стекала вдоль бордюра. Бордюр можно заглубить, чтобы он служил барьером для предотвращения бокового движения воды после ее прохождения через поверхностный слой покрытия.

Хотя велосипедные дорожки, тротуары и т. п. не являются поверхностями, вызывающими загрязнение, если велосипедная дорожка подвергается выносу взвешенных частиц и пыли со смежных поверхностей, создающих загрязнение (например, парковка), может потребоваться на участке газона, прилегающему к краю дренажного покрытия, устройство засыпки щебня или гравия, задерживающей взвешенные частицы при фильтрации через них воды.

6.2.2.8 Дренирующее покрытие требует регулярного технического обслуживания для сохранения работоспособности. Работы по обслуживанию могут включать в себя подметание, мойку или уборку пылесосом для удаления жира, масла, пыли и других отложений. Следует при этом учитывать технологии зимнего содержания покрытий.

При применении дренирующих покрытий не допускается вынос частиц грунта со смежных участков (например, от гравийных проездов). Вынос частичек грунта колесами автомобилей, выезжающих с грунтовых площадок (парковок, газонов и т. п.), возможен при проезде и парковке автомобилей по неукрепленному грунту, в том числе на строительной площадке. Для удаления отложений может потребоваться более частая уборка дренирующих покрытий для предотвращения засорения их пор.

При зимнем содержании пористого асфальтобетона или цементобетона следует подбирать размер фрикционных материалов (песок и т. п.) и технологию применения протогололедных реагентов таким образом, чтобы исключить засорение пор и замерзание растворов реагентов внутри покрытия.

### **6.3 Методы очистки поверхностных сточных вод с улиц**

#### **6.3.1 Общие положения**

6.3.1.1 Требования к качеству сточных вод установлены в санитарно-гигиенических нормах. В случае несоответствия ПСВ указанным выше требованиям сточные воды должны подвергаться очистке. Состав сточных вод после очистки должен соответствовать требованиям [5].

6.3.1.2 Очистка сточных вод может осуществляться различными группами методов:

- механическими (процеживание, отстаивание, фильтрация, обработка в поле центробежных сил);
- химическими (нейтрализация, окисление);

- физико-химическими (флотация, сорбция, ионный обмен, коагуляция, флокуляция и пр.);

- биохимическими (аэробные, анаэробные).

На практике для локальной очистки поверхностного стока с дорожного полотна нашли применение три группы методов:

- механические (процеживание, отстаивание, фильтрация);

- физико-химические (испарение, сорбция, ионный обмен, флотация);

- биохимические (аэробные).

6.3.1.3 Механические методы очистки применяют для выделения из сточных вод нерастворимых минеральных и органических примесей. Как самостоятельный метод механическую очистку допускается применять в тех случаях, если при ее применении удаление загрязняющих веществ из сточных вод позволяет осуществлять сброс таких вод в водные объекты. В других случаях механическая очистка предшествует другим методам очистки.

Для отделения крупного мусора применяют процеживание, осуществляемое через решетки, сетки.

Для очистки от взвешенных частиц (механических частиц, НП) применяют:

- отстаивание, основанное на свободном оседании (всплытии) примесей с плотностью большей (меньшей) плотности воды. Процесс реализуют в отстойниках, нефтеловушках, прудах, аккумулирующих емкостях, накопителях;

- фильтрацию через различные фильтрующие загрузки из природных и синтетических материалов, применяемую для очистки от мелкодисперсных примесей.

6.3.1.4 Физико-химические методы применяют для удаления из сточных вод растворимых примесей (солей ТМ, непредельных углеводов, ароматических соединений). Для локальной очистки ПСВ, как правило, реализуются следующие методы:

- сорбция;

- ионный обмен.

6.3.1.5 Биологические методы очистки применяют для очистки сточных вод от многих растворенных органических и неорганических загрязнителей, в том числе ТМ (Pb, Cu, Zn, Cd, Fe и др.). Эти методы характеризуются простотой, экономичностью, экологичностью при высокой эффективности очистки. Основные процессы, протекающие при биологической очистке сточных вод, – это биологические окисление и осаждение, сорбция. Данные процессы осуществляют сообщество микроорганизмов и растительность. В технологической схеме очистных сооружений поверхностного стока стадия биологической очистки применяется после механической обработки [9].

6.3.1.6 При выборе конкретного технологического процесса очистки, а также конструкции очистных сооружений, определяемых качественной и количественной характеристиками поверхностного стока, следует пользоваться [8] и [9].

При определении условий отведения и очистки поверхностного стока необходимо руководствоваться [1], [2], [3], [5] и ГОСТ 17.1.13.

При выборе схемы отведения очищенных сточных вод следует рассматривать среди прочих вариант использования таких вод для городских нужд, например для мытья дорожного покрытия, полива зеленых насаждений и т. п.

В таблице 6.1 приведены рекомендуемые [8] виды ЛОС в зависимости от категории автомобильных дорог.

Т а б л и ц а 6.1 – Рекомендуемые ЛОС на автомобильных дорогах

Вид ЛОС	Применяемые методы очистки	Категория автомобильных дорог по СП 34.13330
Простейшие	Механические	III и ниже
Пруды отстойники каскадного типа: 1- или 2-каскадные 2- и более каскадные	Механические, физико-химические, биологические	III–IV I–II
Гидрботанические площадки	Механические, физико-химические, биологические	III и выше

Окончание таблицы 6.1

Вид ЛОС	Применяемые методы очистки	Категория автомобильных дорог по СП 34.13330
Сборные сооружения модульного типа	Механические, физико-химические	I–IV
Очистные сооружения индивидуального проектирования из сборного и монолитного железобетона	Механические, физико-химические	I
Модульные станции полной заводской готовности	Механические, физико-химические	I–IV
Фильтрующий патрон	Механические, физико-химические	I–III

Рекомендуемое [6] соответствие категорий автомобильных дорог, переходящих в УДС на территории населенных пунктов, категориям объектов УДС, приведено в таблице 6.2.

Таблица 6.2 – Соответствие категорий автомобильных дорог, переходящих в УДС на территории населенных пунктов

Категория автомобильной дороги по СП 34.13330	Категория дорог и улиц населенного пункта по СП 42.13330	
Автомагистраль (IA)	Городская автомагистраль (магистральная городская дорога 1-го класса с расчетной скоростью 130 км/ч)	
Скоростная автомобильная дорога (IB)	Городская скоростная автомобильная дорога (магистральная городская дорога 1-го класса с расчетной скоростью 110 или 90 км/ч)	
	Магистральная улица общегородского значения 1-го класса	
Обычные автомобильные дороги	IV	Магистральная городская дорога 2-го класса
		Магистральная улица общегородского значения 1-го класса
	II	Магистральная улица общегородского значения 2-го класса
		Магистральная улица общегородского значения 3-го класса
	III	Магистральная улица общегородского значения 3-го класса
		Магистральная улица районного значения
	IV	Улица и дорога местного значения
		Основная улица сельского поселения
	V	Улица и дорога местного значения
		Местная улица и дорога сельского поселения

6.3.1.7 Для размещения ЛОС, представленных в таблице 6.1, как правило, требуется выделение относительно крупных для городской улицы земельных участков (рисунки 6.14 – 6.16).

Такие ЛОС рекомендуется устраивать для очистки поверхностного стока с магистральных городских дорог 1-го класса при наличии свободного пространства.

6.3.1.8 Для других типов городских улиц рекомендуется применять при соответствующем технико-экономическом обосновании биоинженерные очистные сооружения, которые не требуют больших площадей территории для размещения и органично вписываются в городскую среду, или ПОС.

6.3.1.9 Принцип действия ПОС (рисунки 6.17 и 6.18), как правило, построен на разности плотности воды и загрязняющих воду веществ. Основные НП имеют плотность ниже, чем у воды, и располагаются в поверхностных слоях стока, а механические «загрязнители» (взвешенные частицы) формируют осадок.



а) Пруд-испаритель



б) Пруд-отстойник каскадного типа



в) ЛОС со щебеночной загрузкой



г) ЛОС с отстойником и щебеночной загрузкой

**Рисунок 6.14 – Виды ЛОС**

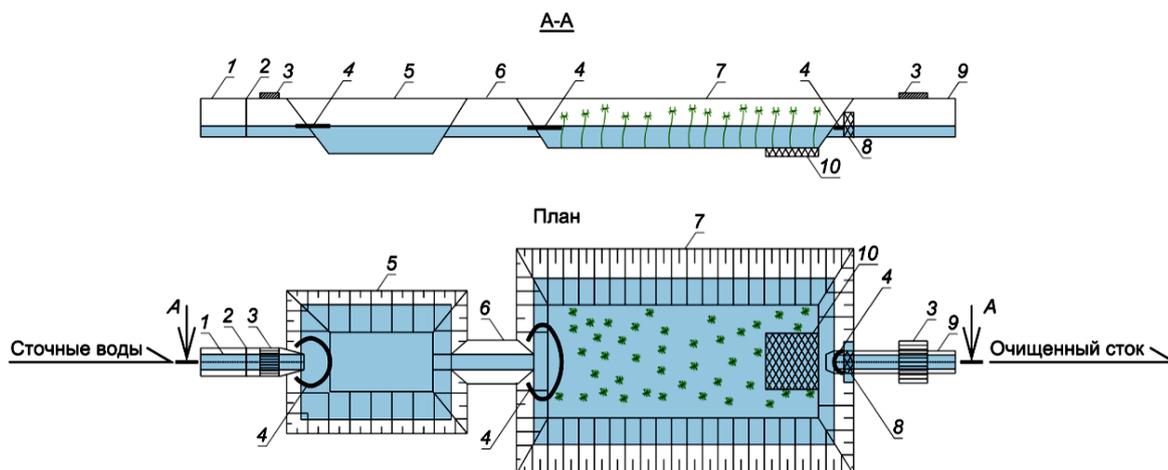
*а*



*б*



**Рисунок 6.15 – Общий вид ЛОС [8] индивидуального проектирования (а) и глубокой очистки подземного заложения (б)**

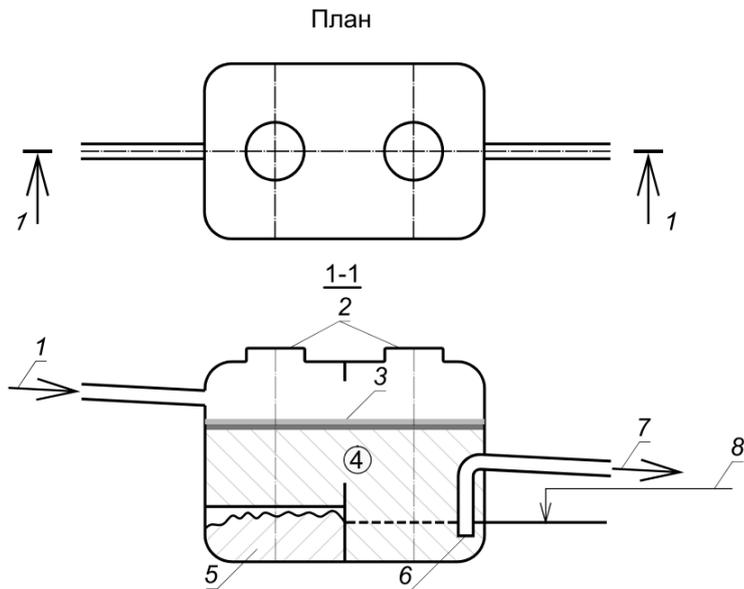


1 – подводящий лоток (канавка); 2 – решетка для улавливания плавающего мусора; 3 – мостки; 4 – боны из сорбирующего НП материала; 5 – буферный пруд для осаждения наиболее крупных фракций ВВ; 6 – соединительный лоток (канавка); 7 – основной пруд гидробиотической площадки с высшей водной растительностью; 8 – фильтрующая кассета с загрузкой природным сорбентом; 9 – отводящий лоток (канавка); 10 – площадка на дне пруда, выстланная слоем природных сорбентов

**Рисунок 6.16 – Схема гидробиотической площадки с усиленной защитой от нефтепродуктов в составе двух прудов [8]**

ПОС, как правило, следует проектировать в самотечном исполнении. Габаритные размеры, а также диаметры и уклоны подводящих / отводящих трубопроводов (сечения лотков) следует назначать из необходимой производительности сооружения.

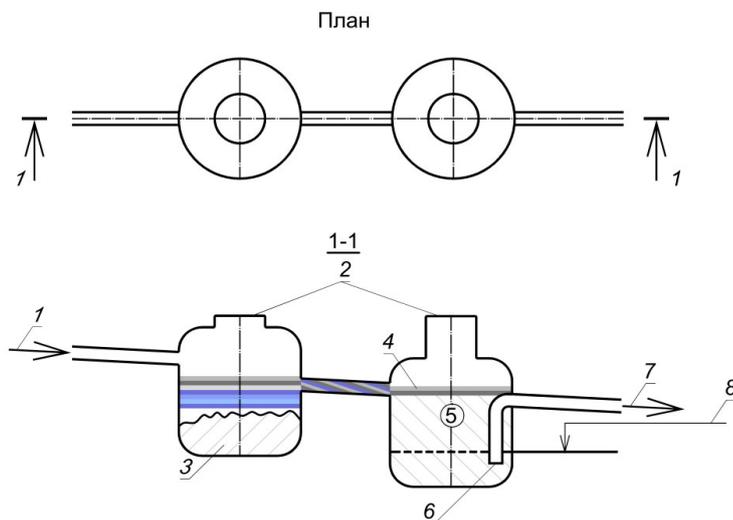
6.3.1.10 Для корректной работы означенных сооружений, особенно во время оттепелей в зимний (осенне-весенний) период, необходимо исключить локальное замерзание стока. Для этого ПОС и трубопроводы следует размещать ниже глубины промерзания грунта или утеплять/защищать от охлаждения, например, путем обваловки или с применением пенополиуретановых изделий. Допускается использовать ПОС при отводе воды из биодренажного сооружения, внутри ливневого дренажного колодца или перед попаданием воды в такой колодец.



1 – подвод загрязненного стока; 2 – люки для обслуживания сооружения; 3 – нефтепродукты и жиры; 4 – условно чистые воды; 5 – осадок; 6 – забор условно чистых вод; 7 – отвод условно чистых вод; 8 – минимальный технологический уровень условно чистых вод

Примечание – В целях недопущения попадания НП и жиров в забор условно чистых вод в момент ввода и на весь период эксплуатации ПОС необходимо поддерживать минимальный технологический уровень условно чистых вод.

**Рисунок 6.17 – Принципиальная схема ПОС в одном корпусе**



1 – подвод загрязненного стока; 2 – люки для обслуживания сооружения; 3 – осадок; 4 – НП и жиры; 5 – условно чистые воды; 6 – забор условно чистых вод; 7 – отвод условно чистых вод; 8 – минимальный технологический уровень условно чистых вод

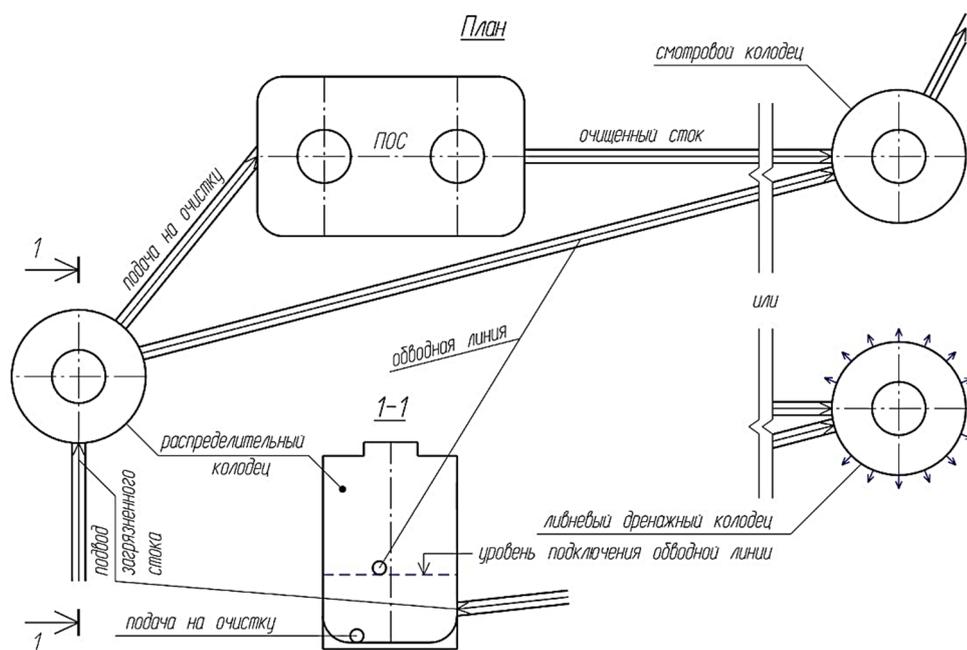
**Рисунок 6.18 – Принципиальная схема ПОС из отдельных элементов**

Примечание – В целях недопущения попадания НП и жиров в забор условно чистых вод, в момент ввода и на весь период эксплуатации ПОС необходимо поддерживать минимальный технологический уровень условно чистых вод.

## 6.3.2 Объем очищаемых стоков в простейших очистных сооружениях

6.3.2.1 Объем стока, подлежащий очистке, следует рассчитывать с учетом, что не весь сток подлежит очистке ПОС, поскольку большинство загрязняющих веществ удаляются с поверхности, на которой образуется сток, на первых фазах дождя (снеготаяния). Рекомендуется рассчитывать систему на сбор стока в течение первых 30 мин дождя согласно СП 32.13330; допускается рассчитывать на очистку стока в течение первых 20 мин дождя.

Допускается установка до ПОС распределительного колодца (камеры), из которого сначала сток подается на очистку, а при превышении интенсивности дождя (снеготаяния) – в обводную линию, минуя ПОС; затем сток, прошедший через ПОС, смешивается со стоком обводной линии (рисунок 6.19).



**Рисунок 6.19 – Принципиальная схема уменьшения объемов очищаемого стока**

К достоинствам данной системы относятся:

- в обводную линию попадают уже условно чистые воды, так как большинство загрязняющих веществ было смыто на предыдущих этапах дождя (снеготаяния);

- остаточная концентрация загрязняющих веществ в стоке обводной линии значительно падает при смешении со стоком, очищенным ПОС.

6.3.2.2 Производительность ПОС при использовании данной схемы необходимо рассчитывать следующим образом:

1) рассчитать объем дождевого стока от расчетного дождя по формуле

$$W_{\text{оч}} = 10 \cdot h_a \cdot F \cdot \Psi_{\text{mid}}, \quad (1)$$

где 10 – переводной коэффициент;

$h_a$  – максимальный слой осадков за дождь, мм, сток от которого подвергается очистке в полном объеме (при отсутствии данных многолетних наблюдений значение  $h_a$  для селитебных территорий и промышленных предприятий первой группы [9, пункт 4.1.8] допускается принимать в пределах 5–10 мм, как обеспечивающую прием на очистку не менее 70 % годового объема поверхностного стока для большинства территорий Российской Федерации);

$F$  – общая площадь стока, га;

$\Psi_{\text{mid}}$  – средний коэффициент стока для расчетного дождя (определяется как средневзвешенная величина в зависимости от постоянных значений коэффициента стока  $\Psi_i$  для разного вида поверхностей);

2) рассчитать максимальный суточный объем талых вод.

Максимальный суточный объем талых вод в середине периода снеготаяния, отводимых на очистные сооружения с селитебных территорий и промышленных предприятий, определяют по формуле

$$W_{\text{T max сут}} = 10 \cdot h_{\text{тр}} \cdot a \cdot \Psi_{\text{T}} \cdot F \cdot K_y, \quad (2)$$

где 10 – переводной коэффициент;

$h_{\text{тр}}$  – слой осадков заданной повторяемости;

$a$  – коэффициент, учитывающий неравномерность снеготаяния;  $a = 0,8$ ;

$\Psi_{\text{т}}$  – общий коэффициент стока талых вод;  $\Psi_{\text{т}} = 0,5-0,8$ ;

$F$  – общая площадь стока, га;

$K_y$  – коэффициент, учитывающий частичный вывоз и уборку снега, определяется по формуле

$$K_y = 1 - F_y / F,$$

здесь  $F_y$  – площадь, очищаемая от снега, включая площадь кровель, оборудованных внутренними водостоками;

3) выбрать из результатов расчетов максимальное значение и на его основании назначить требуемую производительность ПОС, которая должна превышать указанное максимальное значение.

### **6.3.3 Виды и конструкция локальных биоинженерных очистных сооружений, размещаемых под газонами**

6.3.3.1 Для очистки поверхностного стока с урбанизированных территорий в мировой практике (США, Канада, Европа, Австралия, Новая Зеландия, Китай) все большее применение находят биологические системы, элементы которых размещаются под газонами. Наиболее широко используются биоинженерные сооружения (БИС), которые могут быть устроены практически в любом месте между застройкой или в пределах красных линий улицы, в том числе в зоне благоустройства тротуара, на центральных и боковых разделительных полосах или вдоль застройки.

При этом сохраняют свою значимость механические и физико-химические процессы – фильтрация, осаждение, сорбция и ионный обмен [15].

6.3.3.2 Выделяют три основных вида БИС (рисунок 6.20), которые могут быть использованы для водоотвода и локальной очистки ПСВ на улично-дорожной сети городов:

- биофильтрационный склон;
- биодренажная канава;

- дождевой сад.

Данные сооружения сочетают в себе значительную эффективность, низкую стоимость и высокую экологичность строительства и эксплуатации, способность органично вписываться в урбанизированный ландшафт.

На одной улице могут быть размещены и объединены несколько элементов системы отвода воды, что позволяет реализовать весь потенциал управления поверхностным стоком, улучшить подвижность населения с применением всех доступных видов транспорта и внешний вид улицы, увеличить капитализацию жилой инфраструктуры.



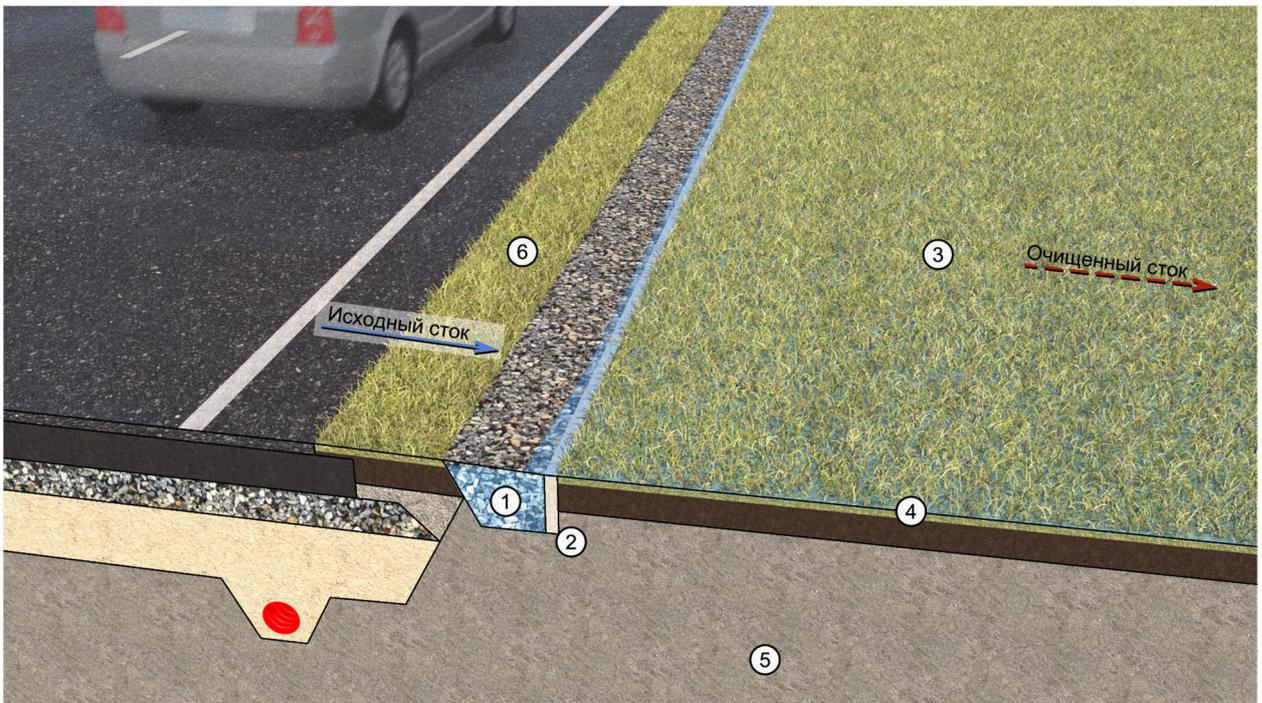
а) Биофильтрационный  
склон [46]

б) Биодренажная  
канавка [40]

в) Дождевой сад [50]

**Рисунок 6.20 – Внешний вид основных БИС в населенных пунктах**

6.3.3.3 Биофильтрационный склон представляет собой засаженную растительностью площадку, имеющую незначительный уклон, предусмотренный для движения поверхностного стока самотеком (рисунок 6.21).



1 – водораспределительный лоток с гравием; 2 – водораспределительная стенка; 3 – растительность на склоне; 4 – поверхностный сток; 5 – естественный грунт; 6 – водосборная поверхность

**Рисунок 6.21 – Биофильтрационный склон [26]**

Поверхностный сток движется в тонкослойном режиме с небольшой скоростью, что обеспечивает постепенное впитывание стока в почву и качество его очистки.

*Область применения:* очистка стоков с улиц, дорог, стоянок автомобилей. Биофильтрационные склоны могут применяться как первая ступень очистки перед биодренажными канавами и дождевыми садами.

*Механизмы очистки.* Работа биофильтрационного склона основана на фильтрации взвешенных частиц и других загрязняющих веществ при движении через растительность, а также на сорбции растворенных примесей на почвенных частицах и биологическом поглощении загрязняющих веществ высшими растениями и микроорганизмами почвы [15], [26], [46].

Эффективность очистки [46]:

- по ВВ – 81 %;
- по металлам (кадмий, медь, цинк, свинец) – от 50 % до 90%;
- по НП – 62 %;

- по общему фосфору – 9 %;
- по нитратам – 38 %;
- по биологическому потреблению кислорода (БПК) – 67 %.

*Продольный уклон.* Для предотвращения эрозии поверхности склона необходимо поддерживать небольшую скорость движения поверхностного стока, что обеспечивается при небольших уклонах. Оптимальный уклон вдоль направления стока составляет около 1 %. При больших уклонах значительно снижается инфильтрация стока в грунт, и повышается риск проявления эрозионных процессов [26].

*Глубина потока* – не более 25 мм [45].

*Скорость потока* не должна превышать 0,4 м/с [46]. Для гашения скорости поверхностного стока, поступающего в БИС, рекомендуется применять водораспределительные устройства (например, лотки с гравием). Снижению скорости потока при движении по склону также способствует растительность.

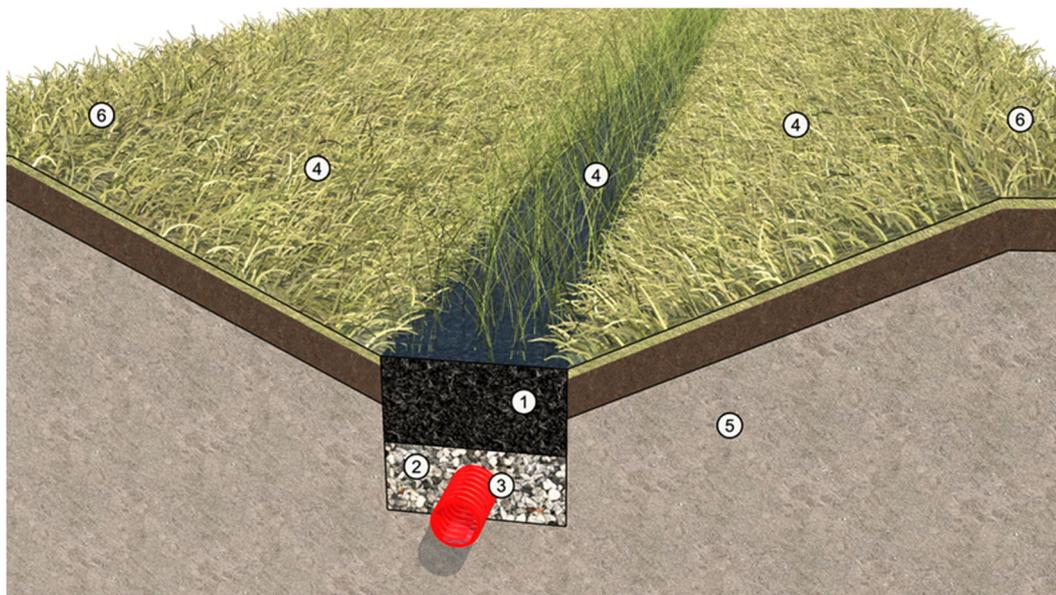
*Почва.* Для биофильтрационного склона подходят следующие виды почв: песчаный суглинок, суглинистый песок или суглинок. Минимальная мощность верхнего слоя почвы – 150 мм. Верхний слой должен быть достаточно плодородным для роста густой травы [46].

*Растительность.* Биофильтрационные склоны могут быть засажены подобранной или дикорастущей растительностью, а также кустарниками и деревьями [26]. Плотность посадки травы – высокая, трава однородная; вместо травы допускается использовать другие растения с тонкими стеблями. Рекомендуемая высота травы – 50 – 150 мм [46].

Необходимо, чтобы выбранные растения соответствовали почвенным, гидрологическим, световым и другим местным условиям [48].

6.3.3.4 Биодренажная канава (*биофильтрационный канал*) представляет собой открытый канал небольшой глубины (до 1 м, рекомендуется не более 0,6 м), чаще всего трапецеидального сечения, плотно засаженный высшей

растительностью и имеющий небольшой уклон для обеспечения движения воды самотеком (рисунок 6.22).



1 – фильтрующая загрузка; 2 – дренажный слой; 3 – отводящий трубопровод; 4 – растительность; 5 – естественный грунт; 6 – водосборная поверхность

**Рисунок 6.22 – Биодренажная канава [25]**

Биодренажная канава отличается от биофильтрационного склона тем, что имеет русло, а очищаемая вода движется в концентрированном потоке ([8], [26]). Если поверхностный сток содержит высокую концентрацию взвешенных частиц, требуется его предварительная очистка, с этой целью применяют биофильтрационные или отсыпные фильтрационные склоны [48]. Сточные воды после очистки отводятся либо непосредственно по канаве, либо по дренажной трубе, прокладываемой под ней.

*Область применения:* парковки, улицы, дороги, а также жилые комплексы ([26], [48]). Канавы имеют ограничения по применению, поскольку они занимают относительно большие территории и, как правило, не имеют вертикального отделения от тротуара и проезжей части. Устройство биодренажной канавы возможно только при благоприятном рельефе [15]. Проекты биодренажной канавы зависят от уклона и площади водосборной поверхности.

Согласно СП 32.13330 на территории поселений и городских округов отведение по открытой системе водостоков с применением разного рода лотков, канав, кюветов, оврагов, ручьев и малых рек допускается для селитебных территорий с малоэтажной индивидуальной застройкой, поселков в сельской местности, а также парковых территорий с устройством мостов или труб на пересечениях с улицами и дорогами.

Во всех остальных случаях требуются соответствующее обоснование и согласование с органами исполнительной власти, уполномоченными в области градостроительства, охраны окружающей среды и обеспечения санитарно-эпидемиологического надзора.

*Механизмы очистки.* При движении воды по каналу происходят осаждение взвешенных частиц, сорбция растворенных примесей на почвенных частицах, а также их биологическое поглощение растениями и микроорганизмами.

Эффективность очистки [46]:

- по ВВ – 81 %;
- по металлам (кадмий, медь, цинк, свинец) – от 50 % до 90 %;
- по НП – 62 %;
- по общему фосфору – 9 %;
- по нитратам – 38 %;
- по БПК – 67 %.

Протяженность канавы – не менее 30 м [46].

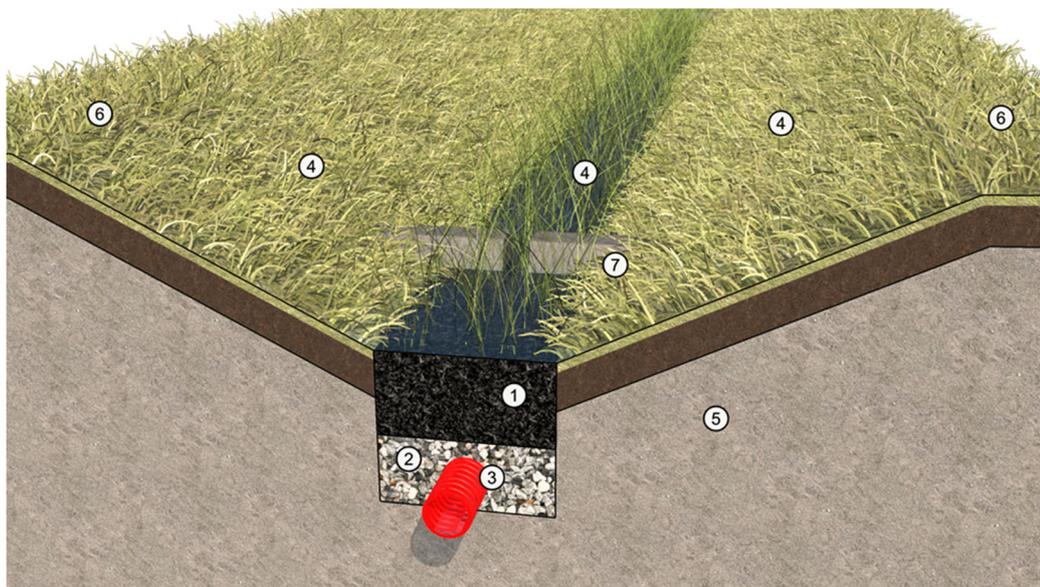
*Дно канавы* должно быть плоским, шириной не менее 300 мм, при механизированном способе скашивания травы рекомендуется увеличивать до 600 мм, но не более 2 м [46].

*Уклон бокового склона:* рекомендуется в диапазоне от 1 : 2 [60] до 1 : 4 [15] (вертикальный : горизонтальный).

*Продольный уклон.* Оптимальный продольный уклон – 2 % – 3 %. Это позволяет предотвратить водную эрозию, увеличить время нахождения сточных вод в биодренажной канаве [48].

На дне биодренажной канавы может быть устроен дренажный слой из щебня или гравия. Если уклон меньше 2 %, то под канавой следует проложить дренажную трубу. Дренажный слой, дренажную трубу рекомендуется оборачивать в нетканый геотекстильный материал для удержания взвешенных частиц. При проектировании дренажных систем следует руководствоваться СП 104.13330.

Для уклонов от 5 % до 8 % требуется сооружение сдерживающих дамб, чтобы снизить эффективный уклон до 5 % и менее (рисунок 6.23).



1 – фильтрующая загрузка; 2 – дренажный слой; 3 – отводящий трубопровод; 4 – растительность; 5 – естественный грунт; 6 – водосборная поверхность; 7 – устройство для гашения скорости течения при продольном уклоне дна более 6 %

**Рисунок 6.23 – Элементы биодренажной канавы [48]**

Для уклонов более 8 % сооружение канавы не рекомендуется, поскольку требуются более крупные сдерживающие плотины [46].

Рекомендуемое время поверхностного слива – 24– 48 ч [48].

*Дренажный слой*, выполненный из промытого крупнозернистого щебня или гравия, является дополнительным резервуаром для хранения очищенной воды, которая может использоваться для хозяйственных нужд города. Водоемкость насыпной крупнозернистой загрузки – 40 % – 45 % (объема

загрузки) [26], [48]. Подача очищенных сточных вод потребителю может осуществляться по дренажной перфорированной трубе, расположенной в дренажном слое.

*Сдерживающие дамбы* могут быть сооружены из бетона, камня, валунов, грунта, натурального дерева и других материалов. При применении каменных материалов для простоты возведения дамб рекомендуется использовать камни одного размера, хотя допускается использовать камни двух и более размеров при условии, что более крупные будут расположены в нижнем бьефе дамбы.

*Глубина потока* – не более 100 мм [46].

*Скорость потока* не должна превышать 0,8 м/с [46].

*Почва.* Для биодренажной канавы подходят следующие виды почв: песчаный суглинок, суглинистый песок или суглинок [48]. Минимальная мощность верхнего слоя почвы на дне канавы и ее склонов – 150 мм [46], [48]. Верхний слой должен быть плодородным для роста густой травы [46]. Он может содержать как местные, так и привозные почвы. Местные почвы могут потребовать улучшение.

*Растительность.* Биодренажные канавы могут быть засажены как подобранной, так и дикорастущей растительностью, а также кустарниками и деревьями [26]. Плотность посадки травы – высокая, трава однородная, вместо травы допускается использовать другие растения с тонкими стеблями. Рекомендуемая высота травы – 50 – 150 мм [46]. Необходимо, чтобы выбранные растения соответствовали почвенным, гидрологическим, световым и другим местным условиям.

6.3.3.5 Дождевой сад (*фитофильтр*) представляет собой пониженный участок территории, запроектированный для приема поверхностного стока и засыпанный фильтрующей загрузкой высотой 0,5–1,0 м, в которую высажены высшие растения (рисунок 6.24).

Предусмотренное конструкцией дождевого сада пространство над фильтрующей загрузкой заполняется в период поступления ПСВ, что

позволяет накапливать ливневые воды в период пиковых расходов в целях последующего медленного стока или инфильтрации.

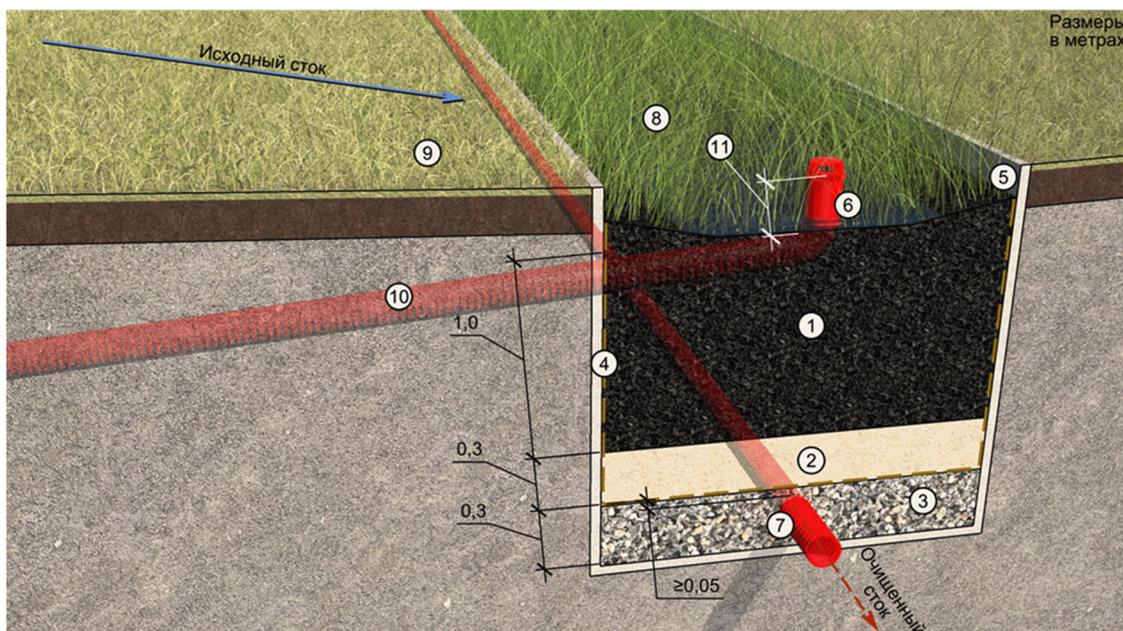
Рекомендуемая глубина зоны накопления сточных вод 0,1 – 0,25 м [15], [26]. Поступившие сточные воды не должны находиться в зоне накопления больше 24 ч, поскольку это может негативно сказаться на растениях, а также привести к появлению неприятных запахов и размножению насекомых (комаров, мошек и пр.), что недопустимо в городской среде [16], [26].

Максимальное время слива для всего объема поступившего поверхностного стока, включая зону накопления, почву, фильтрующую загрузку, дренажный слой (если он используется), – 72 ч [48].

Очищаемые поверхностные воды проходят через фильтрующую загрузку в вертикальном направлении и инфильтруются в окружающий грунт (при благоприятных гидрогеологических условиях) либо отводятся по дренажной системе самотеком.

*Область применения.* Дождевые сады могут применяться на всех категориях городских улиц.

*Механизмы очистки.* Очистка поверхностного стока в дождевых садах происходит за счет одновременного протекания процессов фильтрации через загрузку, сорбции загрязняющих веществ на частицах фильтрующего материала, биологического поглощения растениями и микроорганизмами [15].



1 – грунт засыпки (почва); 2 – песчаная подушка (необязательно); 3 – щебень; 4 – непроницаемая стена дождевого сада; 5 – геотекстиль; 6 – забор избыточной воды (перелив); 7 – дренажная труба; 8 – засев растениями; 9 – водосборная поверхность; 10 – труба коллектора; 11 – максимальный уровень воды в дождевом саду до начала перелива

**Рисунок 6.24 – Схема дождевого сада [46]**

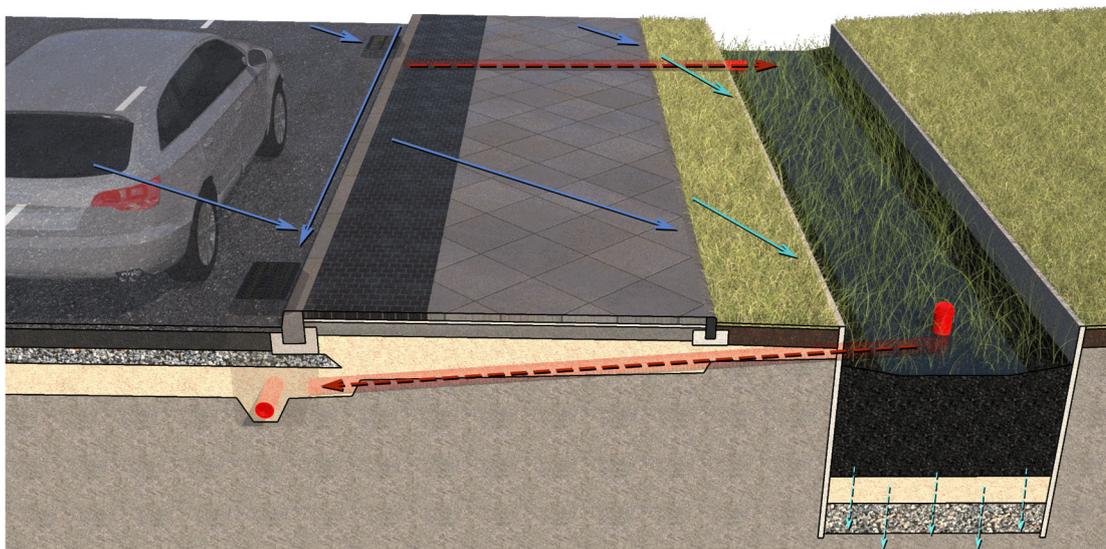
Эффективность очистки [46]:

- по ВВ – 90 %;
- по металлам (медь, цинк, свинец) – от 93 % до 98 %;
- по НП – свыше 75 %;
- по общему фосфору – 70 % – 83 %;
- по нитратам – 68 % – 80 %;
- по БПК – 90 %;
- по патогенным бактериям – 90 %.

*Конструкционные особенности.* Дождевые сады могут быть различных форм и размеров, но обычно имеют прямоугольную форму с вертикальными боковыми стенками с четырех (6.3.8.6) или трех (6.3.8.7) сторон. Стенки чаще бывают бетонными (сборными или монолитными), но могут использоваться и другие материалы. Высота стенки зависит от проектной глубины зоны накопления воды, уклона проезжей части и уклона внутренней поверхности

дождевого сада. Примеры устройства ввода стока в дождевой сад показаны в 6.3.8.2, 6.3.8.5, 6.3.8.7, 6.3.8.8.

Дождевые сады должны быть спроектированы таким образом, чтобы выдерживать нагрузку стока с расчетной площади водосбора. Расход воды следует рассчитывать по СП 32.13330. Несколько дождевых садов могут быть связаны между собой (поверхностными каналами или дренажными трубами) или последовательно размещены для предотвращения перегрузки на одном из них либо связаны дренажной трубой с канализационными коллекторами (рисунок 6.25).



**Рисунок 6.25 – Система отвода воды от дождевого сада через дренажную трубу при достижении уровня воды максимального проектного уровня**

[48]

Система отвода воды позволяет ливневой воде вытекать из дождевого сада, если уровень воды достигает максимального проектного уровня. Дождевые сады, в которых используются дренажные трубопроводы (рисунок 6.25), должны быть оборудованы смотровыми колодцами, которые обеспечивают доступ для осмотра и технического обслуживания, а также для откачки воды из подземной системы в случае отказа.

Очищаемые сточные воды могут инфильтроваться в боковом направлении, проникая под покрытие или смежные подвалы и сооружения.

Для предотвращения этого негативного процесса необходимо увеличивать глубину стены или использовать материалы, уменьшающие инфильтрацию воды, вплоть до гидроизоляции.

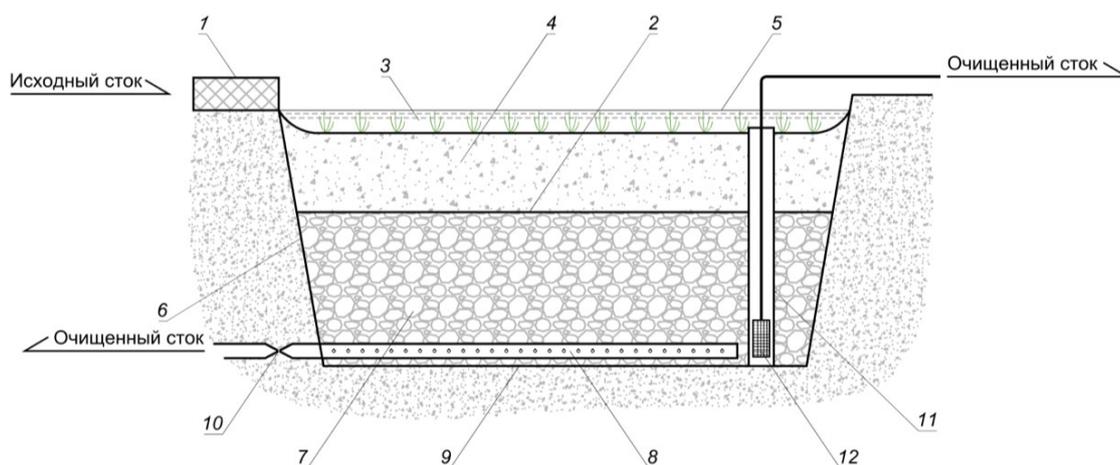
В зависимости от способа отведения очищенных вод различают инфильтрующие и неинфильтрующие дождевые сады. В инфильтрующих дождевых садах отвод очищенных вод осуществляется в естественный грунт, расположенный ниже фильтрующей загрузки.

В тех случаях, когда инфильтрация ливневых вод не рекомендуется из-за местных условий, низкой водопроницаемости естественных грунтов (водопроницаемость определяется по ГОСТ 23278) или других ограничений, дождевые сады проектируются с непроницаемыми стенами, основанием и отводящей дренажной инфраструктурой. Дно и стены дождевого сада могут быть изготовлены из бетона и (или) могут иметь гидроизоляцию по всем или некоторым сторонам дождевого сада для предотвращения проникновения через дно и стены воды.

*Дренажный слой*, выполненный из промытого крупнозернистого щебня или гравия, является дополнительным резервуаром для хранения очищенной воды, которая может использоваться для хозяйственных нужд города (рисунок 6.26).

Подача очищенных сточных вод потребителю может осуществляться по дренажной перфорированной трубе, расположенной в дренажном слое, либо с помощью погружного насоса, расположенного в скважине, выполненной сквозь фильтрующую и крупнозернистую загрузку. Водоемкость крупнозернистой загрузки – 40 % об. – 45 % об. [24], [47]. Рекомендуются следующие параметры [46]:

- щебень (гравий) должен быть промытым, без мелких частиц, мощность слоя – не менее 300 мм;
- диаметр перфорированной трубы – 100 – 150 мм;
- минимальная мощность слоя щебня (гравия) над трубой – 50 мм.



1 – камера отстаивания или фильтр (опционально); 2 – блок очистки; 3 – зона накопления ПСВ; 4 – фильтрующая загрузка; 5 – растительность; 6 – резервуар с насыпным крупнозернистым материалом; 7 – крупнозернистый насыпной материал (КНМ); 8 – дренажная труба; 9 – непроницаемое основание; 10 – устройство регулирования расхода; 11 – скважина; 12 – погружной насос

**Рисунок 6.26 – Устройство дождевого сада с дренажным слоем из крупнозернистого насыпного материала [26]**

Дренажный слой, дренажную трубу следует оборачивать в нетканый геотекстильный материал. Проектирование водоотвода выполняется по СП 104.133330, а его размещение – в соответствии с требованиями СП 42.13330.

В зонах с высокой интенсивностью пешеходного движения для снижения риска падения следует предусматривать ограждение дождевого сада (рисунок 6.27).

*Почва (фильтрующая загрузка).* Универсального общепринятого состава фильтрующей загрузки, который обеспечит максимальную пропускную способность и качество очистки, не существует [26]. Свойства загрузки зависят от ее фракционного состава и могут быть улучшены добавлением в состав загрузки веществ, обладающих ионообменными или сорбционными свойствами (низинный торф, глины, цеолит, шунгит, клиноптилолит, активированный уголь и другие природные и искусственные материалы).



**Рисунок 6.27 – Ограждение дождевого сада [45]**

Укладывая фильтрующую загрузку следует слоями 30 – 40 см, слегка уплотняя ее [37]. На поверхность загрузки для снижения потерь на испарение может быть нанесен слой мульчи (торфа, например) толщиной порядка 10 см [16]. Этот же слой в холодный период года выполняет теплозащитные функции [24]. К мульче предъявляются следующие требования [48]:

- для мульчирования не допускается использовать скошенную траву;
- любая мульча размером более 8–10 см может отрицательно повлиять на условия произрастания и может вызвать чрезмерное поступление питательных веществ в дождевой сад;
- на застроенных территориях не допускается мульчирование навозом и гидропосевом с высоким содержанием удобрений;
- мульча не должна содержать сорняков.

Некоторые применяемые составы фильтрующей загрузки приведены в таблице 6.3.

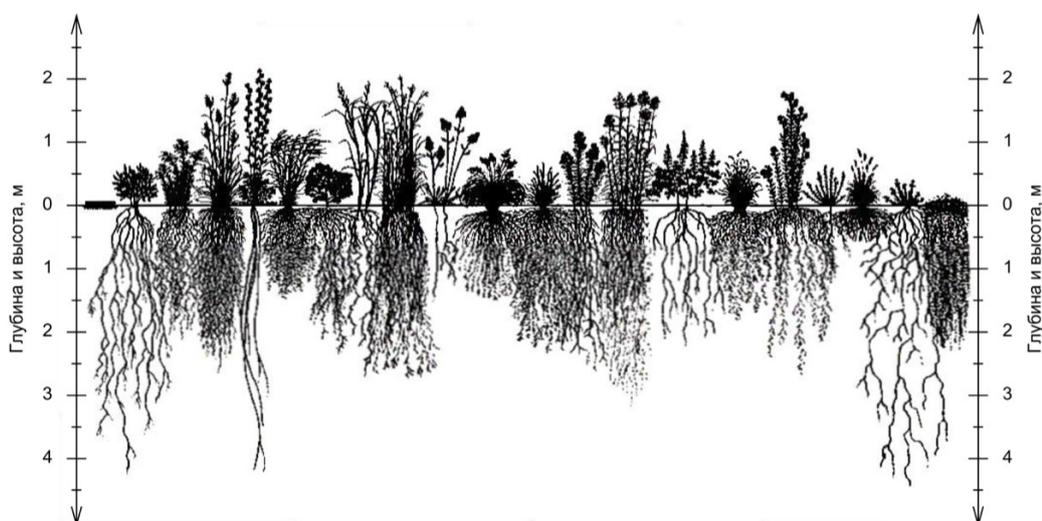
Таблица 6.3 – Рекомендуемые составы фильтрующей загрузки для дождевых садов [33], [57]

Источник	Основной материал	Органическое вещество	Ограничение по содержанию глинистых частиц, не более
Руководство по проектированию сооружений очистки поверхностных сточных вод, г. Окленд, Новая Зеландия [46]	Смесь песка и супеси с долей песчаных частиц 35 % об. – 60 % об.	–	25 %
Рекомендации по составу загрузки для фитофильтров, г. Остин, США [26], [46]	Песок 70 % – 80 %	20 % – 30 % просеянной почвы	10 %
Университет г. Monash, Австралия [26], [46]	Промытый просеянный песок	3 % об. органического материала	3 %
Рекомендации управления по коммунальным услугам г. Сиэтл, США [26]	60 % – 65 % песка	35 % – 40 % измельченного компоста с содержанием органики 40 %	–
Отчет о работе существующих фитофильтров в г. Северная Каролина, США [26]	85 % – 88 % промытого песка	3 % – 5 % органического материала	12 %
Руководство по проектированию биоинженерных сооружений <i>Prince George's Country</i> , штат Мэриленд, США [26]	50 % об. – 60 % об. песка	20 % – 30 % измельченного компоста из листового опада или 20 % – 30% почвы	5 %
Щукин И.С. Очистка поверхностных сточных вод с применением фитофильтров: дисс. ... канд. техн. наук [26]	50 % об. – 70 % об. мелкого строительного намывного песка (ГОСТ 8736); 20 % об. – 40 % об. природного цеолита	10 % об. низинного торфа	–

Начальная пропускная способность фильтрующей загрузки не должна превышать 305 мм/ч и быть не менее – 12,5 мм/ч [27]. Под начальной пропускной способностью подразумевается скорость безнапорной фильтрации при высоте столба жидкости над поверхностью фильтрующей загрузки 0,3 м, определяемая при вводе фильтра в эксплуатацию (до начала подачи загрязненных вод). В процессе эксплуатации пропускная способность

фитофилтра может изменяться (как правило, уменьшаться) в значительном диапазоне. Снижение пропускной способности фильтрующей загрузки ниже минимального значения может привести к большому объему переливов неочищенного поверхностного стока без очистки и застою воды в системе. При достижении минимальной скорости фильтрации необходимо провести рыхление или замену верхнего слоя фильтрующей загрузки.

*Растительность.* Растения являются основным инструментом поддержания пропускной способности фильтрующей загрузки. Причинами снижения пропускной способности дождевого сада являются накопление осадка (слой 5–10 см) в фильтрующей загрузке и уплотнение фильтрующей загрузки в первые месяцы эксплуатации. В дальнейшем уплотнение загрузки, как правило, не происходит [26]. Со временем пропускная способность фитофилтров может восстанавливаться за счет перфорирующего действия корневой системы растений в процессе роста и отмирания корней. Но не все растения способны эффективно восстанавливать пропускную способность фильтрующей загрузки. Предпочтения следует отдавать растениям с толстыми корнями (рисунок 6.28), которые раздвигают почву, что способствует образованию макропор. Растения с тонкими длинными корнями, наоборот, дополнительно скрепляют почву, образуя развитый «каркас» [26], [27].



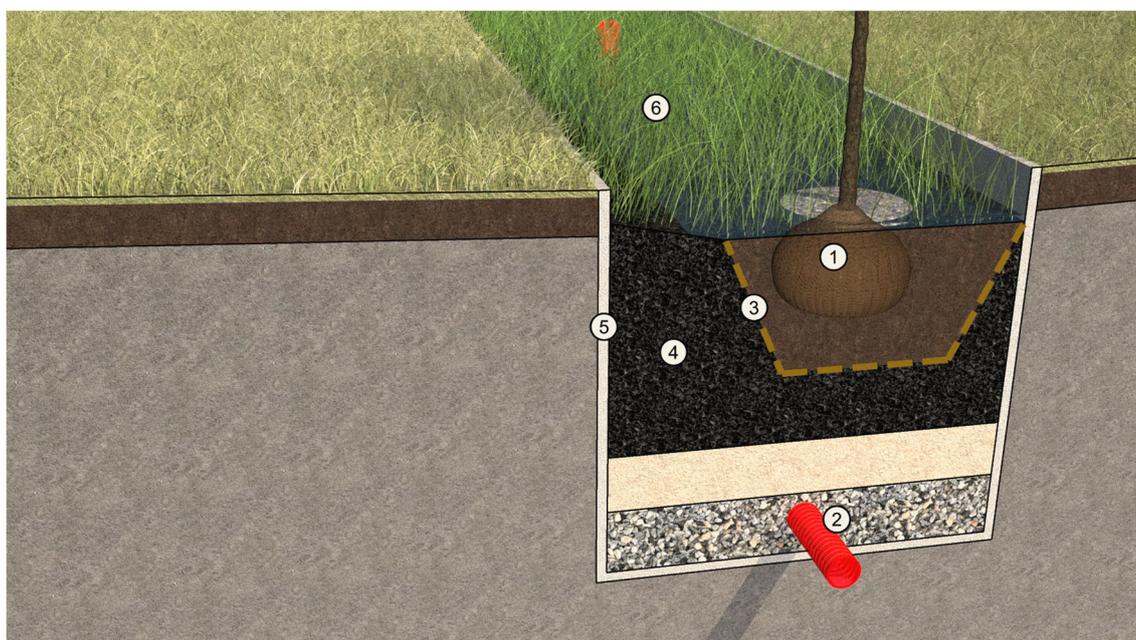
**Рисунок 6.28 – Пример профиля корневой зоны растений [48]**

Растительные материалы должны соответствовать почвенным, гидрологическим, световым и другим условиям местности.

Рекомендуется следующая плотность посадок на 9 м<sup>2</sup> площади поверхности дождевого сада [48]:

- одно большое дерево;
- два – четыре небольших дерева или кустарника;
- шесть травоподобных растений;
- кусты почвопокровных и полевых цветов в виде треугольника с центрами на расстоянии 0,3 м друг от друга. В качестве альтернативы посадке почвопокровных растений можно использовать смесь местных трав и диких цветов.

Если невозможно обеспечить достаточные объем почвы и зазор от стен для корневой системы дерева, средние и большие деревья следует размещать за пределами дождевых садов (рисунок 6.29).



1 – корни дерева; 2 – дренажная труба; 3 – проницаемый нетканый геотекстиль; 4 – почва для посадки дерева; 5 – стена дождевого сада; 6 – растения

**Рисунок 6.29 – Схема размещения дерева вне дождевого сада [48]**

### 6.3.4 Критерии выбора биоинженерного сооружения

6.3.4.1 Рассмотренные БИС имеют ограниченную область применения. Выбор того или иного сооружения, а также его схемы следует проводить для каждой территории индивидуально на основании учета технологических и эксплуатационных характеристик сооружений.

Одним из основных технологических показателей БИС является эффективность очистки от загрязнений, присутствующих в поверхностном стоке, которая определяется процессами, происходящими в сооружении при очистке ПСВ. В таблице 6.4 представлен перечень процессов, происходящих в рассмотренных БИС при очистке поверхностного стока.

Таблица 6.4 – Процессы, происходящие при обработке поверхностного стока на биоинженерных сооружениях [15]

Сооружение	Механизм удаления загрязняющих веществ					Снижение пиковых и общих расходов стоков
	Фильтрация	Осаждение	Биологическое поглощение	Почвенная адсорбция	Обеззараживание	
Биофильтрационные склоны	■	□	□	□	□	□
Биодренажные канавы	■	□	□	□	□	□
Дождевые сады	■	□	■	■	■	■
Примечание – В настоящей таблице применены следующие условные обозначения: ■ – основной процесс; □ – вторичный (второстепенный) процесс.						

6.3.4.2 В таблице 6.5 приведен диапазон эффективности очистки сточных вод от различных загрязняющих веществ на рассмотренных БИС. Из рассмотренных БИС наиболее универсальными являются дренажные сады [27].

Таблица 6.5 – Эффективность очистки сточных вод от загрязняющих веществ на биоинженерных сооружениях [15]

Сооружение	Эффективность					
	ВВ	Биогенные элементы (N, P)	ТМ	НП	Органические вещества	Бактерии
Биофильтрационные склоны	■	□	■	■	■	□

Сооружение	Эффективность					
	ВВ	Биогенные элементы (N, P)	ТМ	НП	Органические вещества	Бактерии
Биодренажные канавы	■	□	■	■	■	□
Дождевые сады	■	■	■	■	■	■

Примечание – В настоящей таблице применены следующие условные обозначения:  
 ■ – высокая (~ 70 % – 100 %); ■ – средняя (~ 40 % – 70 %); □ – низкая (~ 10 % – 40 %).

6.3.4.3 Помимо эффективности очистки сточных вод при выборе типа БИС и его схемы необходимо учитывать также территориальные и климатические факторы (таблица 6.6).

Таблица 6.6 – Критерии выбора биоинженерных сооружений [15]

Условия	Сооружение		
	Биофильтрационные склоны	Биодренажные канавы	Дождевые сады
Территориальные			
Обслуживаемая площадь	Менее 2 га		
Площадь от площади водосбора	–	–	2 % – 4 %
Высокая степень урбанизации	Возможно	Возможно	Рекомендуется
Горный рельеф	Возможно при уклонах до 20 %	Возможно при уклонах до 20 %	Возможно
Грунты с плохой водопроницаемостью (суглинки, глины)	Возможно	Возможно	Возможно при устройстве дренажной системы
Климатические			
Засушливые районы	Рекомендуется	Рекомендуется	Возможно при использовании подходящей растительности
Холодный климат*	Возможно, однако, производительность значительно снижается	Возможно. Объем канала удобно использовать как снегосвалку	Возможно при принятии мер по предотвращению снижения пропускной способности фильтрующего материала при замерзании

\* Все сооружения требуют использования растений, подходящих для данного климата и устойчивых к воздействию противогололедных реагентов.

6.3.4.4 На выбор БИС и его конструкции влияют площадь водосборной территории и наличие свободного места под его строительство. Следует учитывать рельеф местности: слишком большие уклоны приводят к

повышенным скоростям течения поверхностного стока, что может стать причиной эрозии поверхности, а также привести к значительному снижению доли инфильтрации стока в грунт, слишком малые уклоны – к застаиванию воды в сооружениях [15].

6.3.4.5 При выборе БИС необходимо провести оценку грунта в месте строительства. Грунты с хорошей проницаемостью (песчаные и супесчаные) приведут к инфильтрации загрязненного стока в водоносные горизонты, что может, в свою очередь, привести к загрязнению подземных источников. Грунты с низким коэффициентом фильтрации (суглинки, глины) надежно защищают грунтовые воды от поступления загрязненных сточных вод, но препятствуют проведению инфильтрации. В случае применения дождевых садов это вынуждает использовать в качестве загрузки привозные грунты с более высокой пропускной способностью.

6.3.4.6 Применение БИС в условиях низких температур (менее 10 °С) имеет свои особенности: уменьшаются скорости осаждения и фильтрации, наблюдается снижение активности растений и почвенных микроорганизмов. Для поддержания эффективности очистки сточных вод, особенно в период весеннего снеготаяния, на который часто приходится пиковый расход и загрязненность поверхностного стока, необходимо введение в биоинженерные сооружения компонентов, обладающих сорбционными и ионообменными свойствами, таких как низинный торф, цеолит, шунгит, клиноптилолит и др.

### **6.3.5 Рекомендации по выбору растений в биоинженерных сооружениях**

6.3.5.1 Растения, применяемые в БИС, должны быть приспособлены к климатическим особенностям территории, чередованию сухих и влажных периодов, а также обладать устойчивостью к загрязняющим веществам, присутствующим в стоке (НП, ТМ, противогололедные реагенты) [15].

6.3.5.2 Для посадки в БИС могут быть использованы как древесные растения, так и травянистые, а также их сочетания. Отдавать предпочтение следует растениям с толстыми корнями, которые раздвигают почву, что способствует образованию макропор и восстановлению фильтрующей способности почв [27].

Среди древесных растений можно выделить род Ива (*Salix*), насчитывающий более 370 видов. Большинство ив устойчиво растут на влажных почвах. Наибольшей способностью к поглощению ТМ обладают Ива козья (*Salix caprea*) и Ива белая (*Salix alba*) [27] (рисунок 6.30).



а) Ива козья Пендула [31]



б) Ива белая [30]

#### Примечания

1 Ива козья Пендула (*Salix caprea pendula*): лиственное дерево высотой 2–3 м, средняя продолжительность жизни – до 30 лет, к почве неприхотлива, растет при любой влажности почвы, морозостойкое.

2 Ива белая (*Salix alba*): лиственное дерево, высота – 30 м, ширина – 20 м, продолжительность жизни – 100 лет, может расти на любой почве, морозостойкое.

### **Рисунок 6.30 – Древесные растения**

6.3.5.3 Из травянистых растений целесообразно использовать осоки (*Carex*). Осоки отличаются неприхотливостью и встречаются во всех климатических зонах. Большинство видов осоки предпочитают влажные места обитания. Осоки способны аккумулировать в себе НП и ТМ, а также обладают

декоративными свойствами, в связи с чем находят широкое применение в ландшафтном дизайне [27] (рисунок 6.31).



**Рисунок 6.31 – Использование осок в дождевых садах [52]**

6.3.5.4 В умеренном климате рекомендуется применение в фитофильтрах ириса болотного (*Iris pseudacorus*) и тростника обыкновенного (*Phragmites communis*) [26], обладающих высокой эффективностью извлечения загрязняющих веществ из фильтрующей загрузки и высокой скоростью восстановления пропускной способности загрузки (рисунок 6.32).

*a*



*б*



*a)* – ирис болотный [28], [29]; *б)* – тростник обыкновенный [32]

**Рисунок 6.32 – Растения для дождевых садов**

6.3.5.5 Среди травянистых растений, широко применяемых в качестве газонных трав, перспективны морозоустойчивые, обладающие высокой аккумулирующей способностью к ТМ [27]:

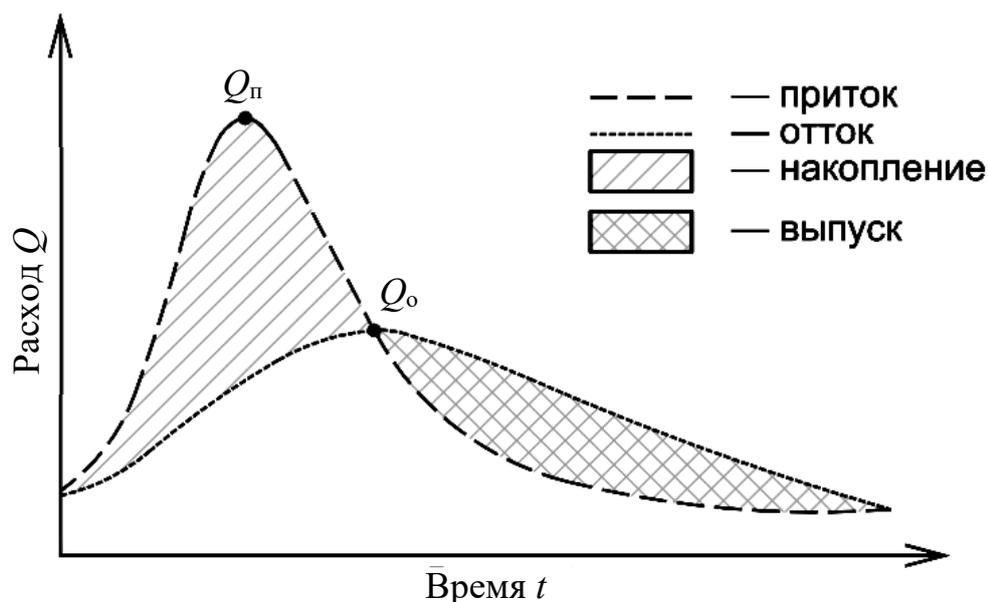
- овсяница красная (*Festuca rubra*);
- овсяница луговая (*Festuca pratensis*);
- мятлик луговой (*Poa pratensis*);
- клевер ползучий (*Trifolium repens*);
- клевер луговой (*Trifolium pratense*);
- райграс пастбищный (*Lolium perenne*).

6.3.5.6 Влияние газонных трав на изменение фильтрующей способности почв в настоящее время не изучена, однако следует воздержаться от применения газонных трав в дождевых садах, так как газонные травы могут образовать в верхнем слое почвы развитый корневой каркас, уплотняющий ее.

### **6.3.6 Системы предварительной очистки, накопления и хранения поверхностного стока**

6.3.6.1 Особенностью поверхностного стока является нестабильность качественных и количественных характеристик во времени. В первых порциях поверхностного стока наблюдаются очень высокие концентрации ВВ, которые могут быть в 10–20 раз выше, чем в конце дождя, так как происходит смыв загрязнений, накопившихся на водосборной поверхности в течение сухого периода [26].

Учитывая, что выпадение осадков носит вероятностный характер, а объем поверхностного стока, образующийся за непродолжительный период, может значительно превышать возможности системы водоотвода, системы ливневой канализации могут включать устройства для накопления стока и сглаживания пикового расхода поверхностного стока, растягивая его во времени (рисунок 6.33).



**Рисунок 6.33 – График распределения пикового стока по времени при хранении в воды в инфильтрационной системе [46]**

Собранная дождевая вода может быть использована для полива зеленых насаждений, а также для производственного водоснабжения, мойки дорожных покрытий согласно пунктам 4.4, 4.14 СП 32.13330.2018.

6.3.6.2 Конструктивно устройства для накопления стока могут выполняться в виде стальных, стеклопластиковых или пластмассовых емкостей, железобетонных резервуаров, прудов-накопителей, модульных систем из пластмассовых блоков.

Функция накопления стока может выполняться БИС. Поэтому даже если в населенном пункте имеется ливневая канализация, то использование биоинженерных методов сбора и очистки дождевого стока является обоснованным в связи с возможностью отделения системы ливневого стока от остальной канализации.

6.3.6.3 Соединение ливневой канализации с канализационной системой населенного пункта приводит к целому ряду проблем:

- относительно чистые дождевые воды, практически не требующие очистки, соединяются с загрязненными водами канализационной системы, что увеличивает общий объем стока, а, следовательно, и расходы на его очистку;

- увеличивается минимальная проходимость канализационной системы, что требует увеличения диаметра трубопровода;

- возникает риск перегрузки канализационной системы во время сильных ливней, что приводит к затоплениям.

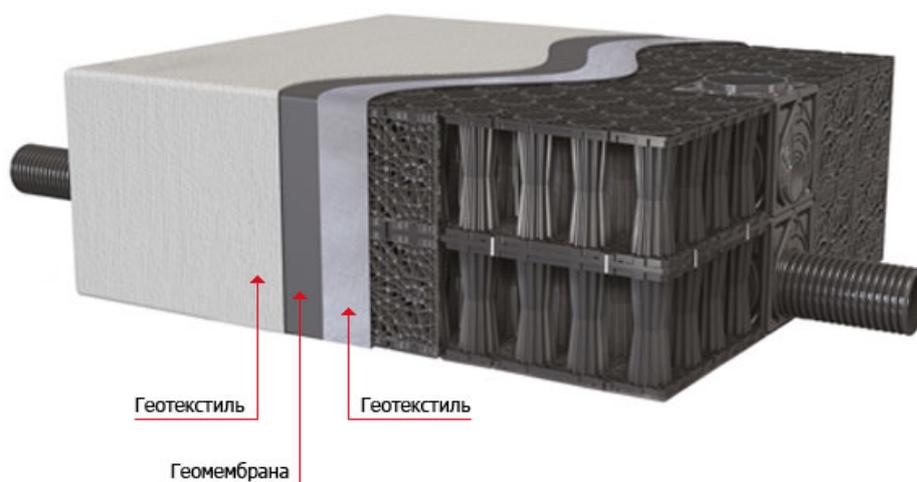
6.3.6.4 Указанные в 6.3.3 биоинженерные системы сбора и очистки поверхностного дождевого стока могут устраиваться связанными с инфильтрационными блоками, где дождевая вода накапливается, а затем постепенно просачивается в почву через слой геотекстиля, возвращаясь в свой природный цикл. Связь биодренажных сооружений с инфильтрационными блоками может устраиваться по дренажным и канализационным трубам.

Устройство биодренажного сооружения с инфильтрационными блоками позволяет избежать дополнительного загрязнения воды, соответственно не требуется расходов на очистку. Для снижения количества ила, накапливающегося в системе, дождевую воду направляют в систему после предварительной очистки с применением отстойников, бензоотделителей и т. д. (рисунок 6.34) [34].

6.3.6.5 Инфильтрационные блоки (из полипропилена или иных аналогичных по свойствам материалов) позволяют создать резервуары для инфильтрации дождевых осадков, не зависящие от канализационной системы (рисунок 6.35). Такие инфильтрационные блоки существенно снижают риск затоплений и экономических потерь, к которым могут привести затопления.



**Рисунок 6.34 – Технологическая схема инфильтрационной системы для приема дождевых вод с дорожной поверхности [34]**



**Рисунок 6.35 – Аккумулирующие блоки [34]**

6.3.6.6 Система может использоваться для аккумуляции и временного хранения дождевой воды. Для этого необходимо предусмотреть верхний слой из геотекстиля, водонепроницаемой мембраной и вторым слоем геотекстиля для защиты мембраны от механических повреждений [34].

Данные резервуары собирают дождевую и талую воду, не пропуская ее в грунт на протяжении определенного времени. Срок службы модулей – 50 лет.

6.3.6.7 Промывка системы осуществляется гидродинамическим способом не реже двух раз в год. При промывке внутрь системы опускается шланг с форсункой на конце. Вода под давлением подается через шланг к форсунке. Сопла форсунки должны быть направлены в обратную сторону, вследствие чего ток воды высокого давления не только промывает стенки системы, но и продвигает форсунку вперед.

6.3.6.8 При проектировании необходимо учитывать скорость инфильтрации стока в почву.

### **6.3.7 Эксплуатация биоинженерных сооружений**

Эксплуатация БИС включает следующие операции:

- проверка работоспособности БИС;

- удаление мусора;
- восстановление эродированных участков;
- уход за растениями, особенно в первое время после их посадки: прополка, удаление отмерших растений, полив (при необходимости), внесение удобрений;
- восстановление растительности;
- кошение травы (для биофльтрационных склонов и биодренажных канав);
- периодическое извлечение осадка;
- рыхление или замена фильтрующей загрузки (для дождевых садов в случае достижения критического значения пропускной способности фильтрующей загрузки – 12,5 мм/ч).

В зимний период на территориях, характеризующихся наличием устойчивого зимнего покрова, целесообразно использовать БИС для складирования снега (если это не нанесет вреда растениям), поскольку наличие на поверхности сооружений снежного покрова значительно уменьшает промерзание грунта [15].

### **6.3.8 Рекомендации по устройству биологических методов очистки поверхностного стока на улично-дорожной сети городов**

6.3.8.1 На улично-дорожной сети для водоотвода и локальной очистки ПСВ рекомендуется применение следующих разновидностей БИС:

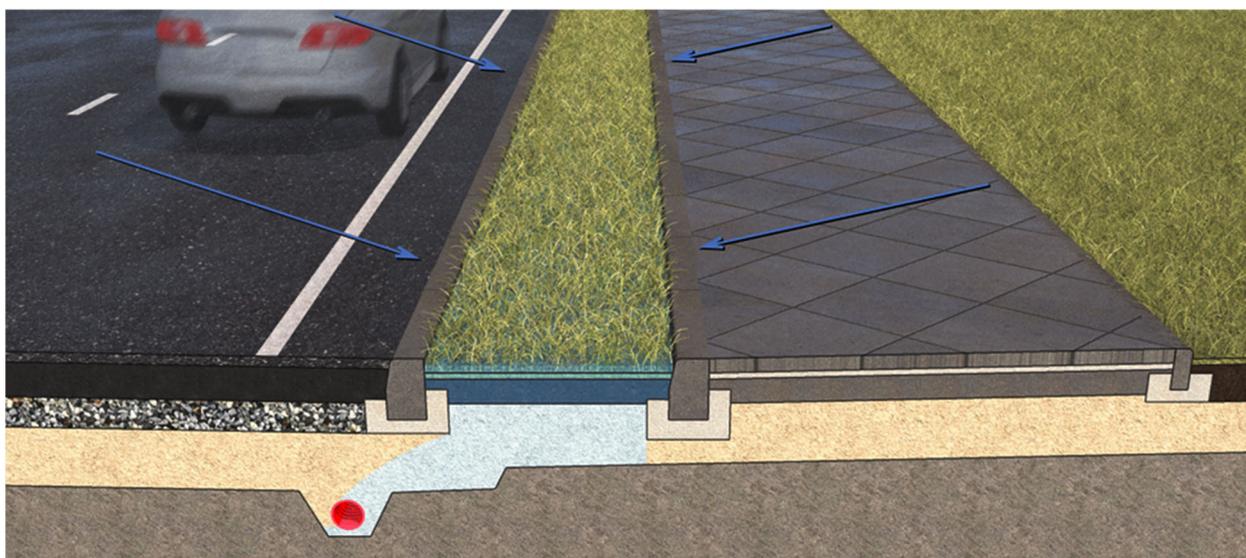
- полоса озеленения;
- посадка деревьев вдоль улиц;
- дренажная труба/канал;
- биодренажная канава;
- дождевой сад на тротуаре;
- гибридный биодренажный дождевой сад;
- водоотвод от остановочных пунктов;

- дождевой сад на островках безопасности;
- средний или угловой блок озеленения;
- зеленое расширение бордюра.

#### 6.3.8.2 Полоса озеленения

Полоса озеленения для отвода поверхностного стока (рисунок 6.36) – это узкая полоса вдоль бордюра улицы, на которой высажена только трава или низкая растительность, представляющая собой, как правило, биофильтрационный склон. Она предназначена для управления ливневыми стоками путем размещения верхней части почвогрунта в полосе озеленения ниже уровня лотка, позволяя ливневым стокам как с улицы, так и с тротуара течь непосредственно в полосу озеленения.

Поднятый бордюр с отверстиями по всей его длине можно использовать со стороны проезжей части, чтобы сток мог попадать на полосу озеленения. Полосы озеленения могут быть спроектированы для проникновения ливневых стоков в подземные горизонты или для их сброса в существующую ливневую канализацию.



**Рисунок 6.36 – Схема расположения полосы озеленения для отвода поверхностного стока**

Полоса озеленения ослабляет ливневые потоки, обеспечивает хранение и, в некоторых случаях, инфильтрацию и испарение воды. В проточных полосах озеленения сток может быть передан в существующую систему ливневой канализации либо через подземную ливневую канализацию (при наличии), либо в виде мелкого концентрированного потока, который направляется вниз по течению к следующему элементу системы сбора поверхностного стока.

Данное БИС обеспечивает физический буфер между пешеходами и улицей. При этом не требуется уменьшения ширины тротуара.

При проектировании необходимо учитывать существующие условия парковки транспортных средств на улице. Рекомендуется размещать там, где нет парковки на улице и (или) широких обочин.

Обработка кромок должна препятствовать переходу пешеходов и велосипедистов в полосу озеленения. Размещение должно происходить вне велосипедных дорожек. Может не подходить для пешеходных зон с большой интенсивностью движения.

Растения и используемые грунты следует подбирать с учетом скорости потока воды.

При активном использовании противогололедных реагентов и высокой интенсивности движения полоса озеленения для обеспечения выживаемости растений должна быть не менее 2 м.

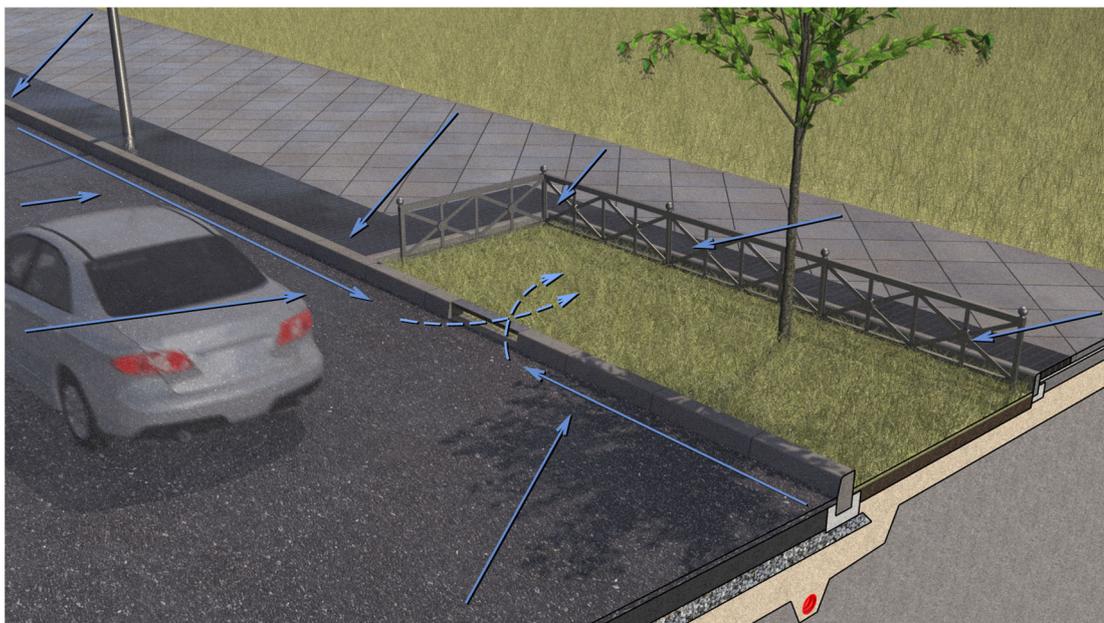
#### 6.3.8.3 Посадка деревьев вдоль улиц

Деревья играют большую роль в жизни улицы, создавая тень, снижая уровень шума, стресс, добавляя эстетическую ценность.

Загрязнение воздуха в городах, в значительной степени обусловленное выбросами транспортных средств и сжиганием топлива, представляет угрозу для здоровья населения, усугубляя респираторные и сердечно-сосудистые

заболевания. Посадка деревьев играет важную роль в очистке воздуха, удалении из воздуха загрязнений и фильтрации твердых частиц.

Посадки деревьев вдоль улицы могут служить инструментом снижения скорости движения автомобилей, за счет визуального сужения улицы, подчеркивания края проезжей части и упорядочивания парковки вдоль проезжей части (если такая парковка разрешена) (рисунок 4.2).



**Рисунок 6.37 – Примеры посадки деревьев как способа водоотвода с проезжей части улиц, повышения эстетической привлекательности уличного пространства**

В городах большая доля застроенных земель и непроницаемого для воды покрытия, в том числе асфальта и бетона, способствует образованию эффекта городского острова тепла: температура воздуха в городе может быть выше на 2 °С – 3 °С, чем в прилегающих сельских районах. Посадка деревьев может помочь смягчить эффект городского острова тепла посредством суммарного испарения и затенения.

В дополнение к существенной социальной и эстетической ценности деревья, высаженные вдоль улицы, добавляют дополнительную экономическую и экологическую ценность для городов и населенных пунктов. Деревья могут внести существенный вклад в отвод поверхностного стока,

поглощая осадки, обеспечивая сток воды в дренирующую систему и контролируя объем стока. Поэтому деревья, высаженные вдоль улицы, могут быть составной частью системы отвода поверхностного стока (рисунок 6.37).

Колодцы или ямы для отдельных деревьев представляют собой грунт кубической формы. Колодцы могут иметь огороженные стенки или структурные системы разделения грунта георешетки или геосетки для защиты почвы от уплотнения и сохранения дождевой воды. При этом ряд соединенных между собой отдельных деревьев могут иметь подземную систему дренажных труб для распределения поверхностного стока между ними. Такие сооружения могут устраиваться в зоне благоустройства тротуара, а также на центральных и боковых разделительных полосах при достаточной ширине таких полос и выполнении требований к габаритам приближения и обеспечению видимости согласно СП 396.1325800 и [6].

При проектировании необходимо предусматривать ограждение деревьев, чтобы снизить риск случайного столкновения пешеходов или велосипедистов с деревом, а также риск удара педалей велосипеда о поднятые бордюры или ограждения. Деревья могут быть посажены либо между велосипедной дорожкой и пешеходной дорожкой, либо между велосипедной дорожкой и проезжей частью.

Необходимо убедиться, что деревья, посаженные в колодцах тротуарной зоны/зоны посадки, имеют достаточное корневое пространство под землей. Высота или ширина кроны должны обеспечивать необходимый габарит для пешеходов и велосипедистов [6].

Ямы и траншеи для посадки деревьев следует проектировать с учетом обеспечения пространства для корней деревьев, увеличивающегося по мере старения деревьев. Недостаточное корневое пространство может ухудшать здоровье деревьев и приводить к разрушению покрытия тротуара или велосипедной дорожки, создавая опасные для движения пешеходов и велосипедистов условия. Рекомендуется использовать корневые барьеры, чтобы направить корни в соответствующую зону роста.

Для деревьев, посаженных в зоне благоустройства тротуара и выполняющих функцию сбора поверхностного стока, необходимо обеспечить выпуск для воды поверхностного стока и, при необходимости, систему распределения воды по ячейкам с деревьями. Это может быть бордюр, закрытый или открытый лоток водоотведения [14], дренажные трубы.

Если деревья примыкают к велосипедной дорожке, следует обеспечить необходимый для велосипедистов габарит под ветвями согласно СП 396.1325800 и [6].

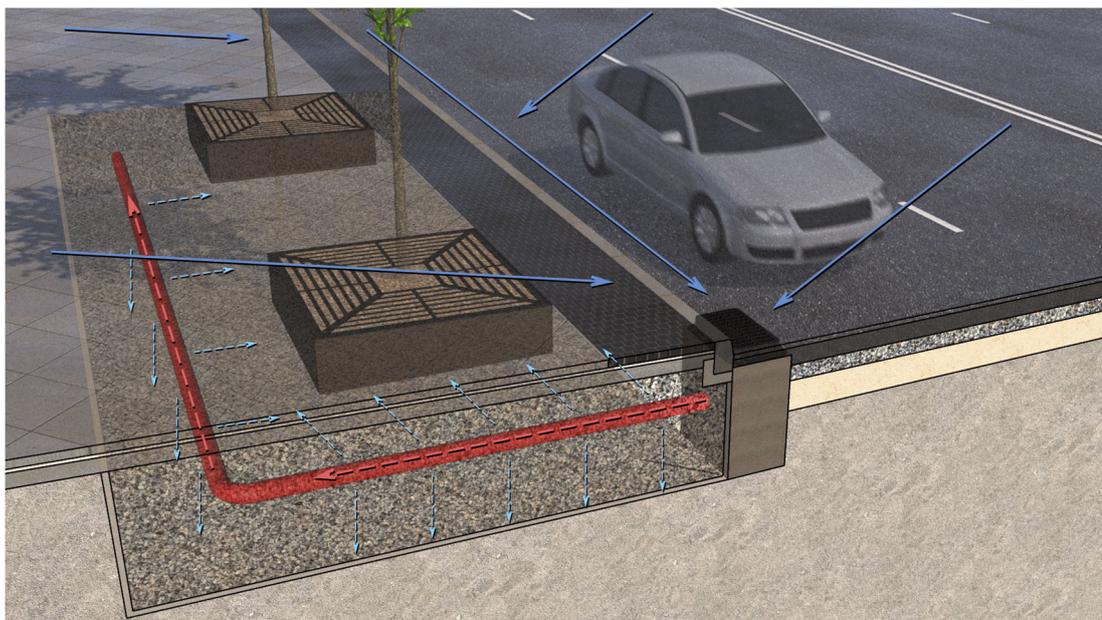
Для посадки следует использовать разнообразные породы деревьев, подходящие для данных климатических и региональных условий, способные выдерживать переувлажнение почвы в период дождя и воздействие противогололедных реагентов.

Различные деревья могут обеспечить пищу и среду обитания для разных видов птиц и мелких животных. Разнообразие пород деревьев может повысить их устойчивость к болезням. Рекомендуется избегать чрезмерной специализации ограниченного числа видов деревьев и использовать некоторые вечнозеленые хвойные деревья для сохранения преимуществ озеленения в течение всего года.

Рекомендуется выбирать породы деревьев, которые обеспечивают достаточную тень, особенно там, где используется общественное пространство.

#### 6.3.8.4 Дренажная труба/канал

Дренажный канал – это система, состоящая из подземной дренажной трубы, устроенной под тротуаром в траншее, засыпанной камнями, и ряда деревьев вдоль участка улицы, которые объединяет дренажная труба (рисунок 6.38).



**Рисунок 6.38 – Пример расположения дренажного канала**

Дренажный канал предназначен для управления поверхностным стоком путем подключения дренажной трубы к одному или нескольким впускным отверстиям для воды, что позволяет ливневому стоку с улицы и тротуара попадать в дренажную трубу. Вода может храниться в пустых пространствах между камнями или аналогичным материалом в траншее, обеспечивая влагой деревья и медленно проникая в почву через дно траншеи.

Если пропускная способность системы превышена, поверхностные стоки могут полностью обойти ливневую канализацию и попасть в существующий впускной канал ниже по течению (рекомендуется рассчитывать систему на сбор стока в течение первых 30 мин дождя согласно СП 32.13330; допускается рассчитывать на очистку стока в течение первых 20 мин дождя) или через систему водоотвода, подключенную к сети ливневой канализации (при наличии). Поверхность над траншеей и окружающими улицу деревьями восстанавливается до уровня окружающих поверхностей.

Использование дренажного канала с деревьями позволяет собирать и хранить большой объем ливневой воды, обеспечивает возможность посадки деревьев вдоль улицы.

Поскольку поток воды направлен внутрь системы, особое внимание следует уделить предварительной обработке применяемых материалов и конструкций. При техническом обслуживании требуется плановая очистка впускных отверстий и труб.

#### 6.3.8.5 Биодренажная канава

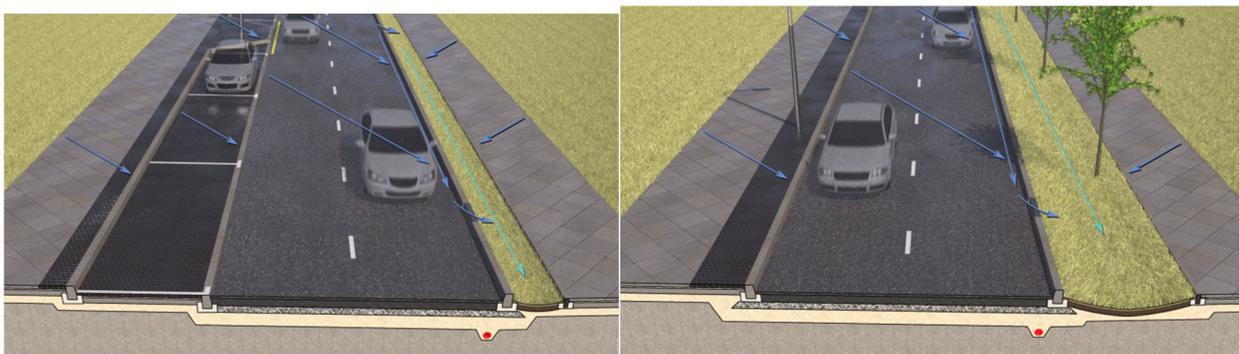
Биодренажные канавы представляют собой неглубокие озелененные понижения с боковыми откосами, имеющими небольшой уклон (рисунок 6.39).



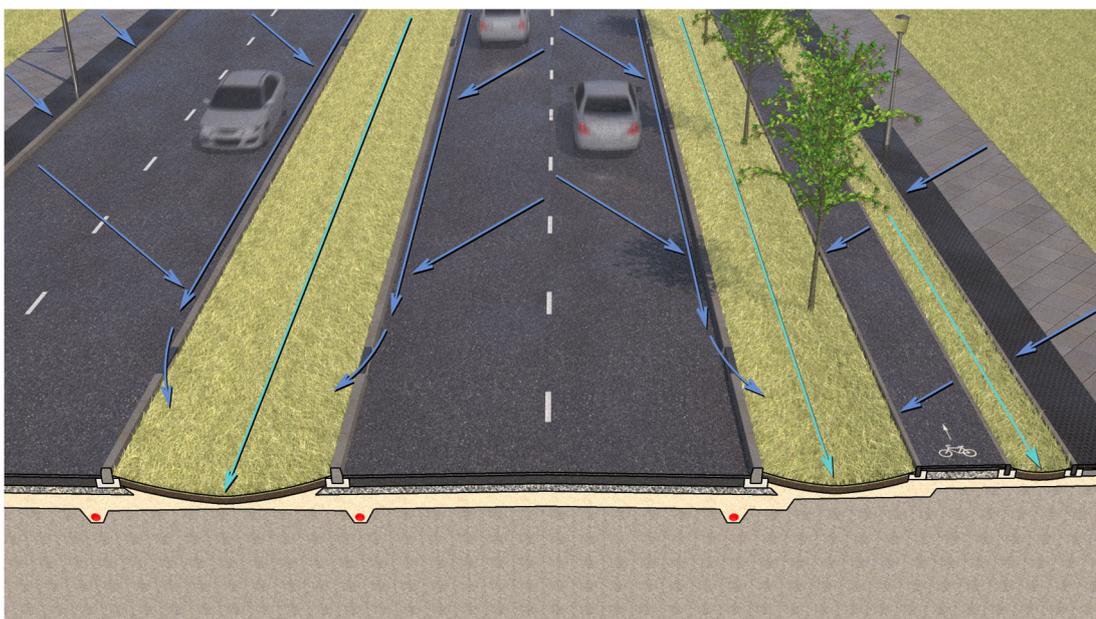
**Рисунок 6.39 – Схема расположения дренажных канав с засевом трав и мелких кустарников**

Канавы имеют меньшую стоимость строительства, но для их размещения требуется больше места, а площадь поверхности для инфильтрации и перемещения воды больше, чем у дождевых садов. Канавы могут пропускать большие объемы стока.

Примеры схем устройства дренажных канав с газоном вдоль одностороннего проезда с парковкой приведены на рисунке 6.40, а на местной или районной улице с центральной разделительной полосой – на рисунке 6.41.

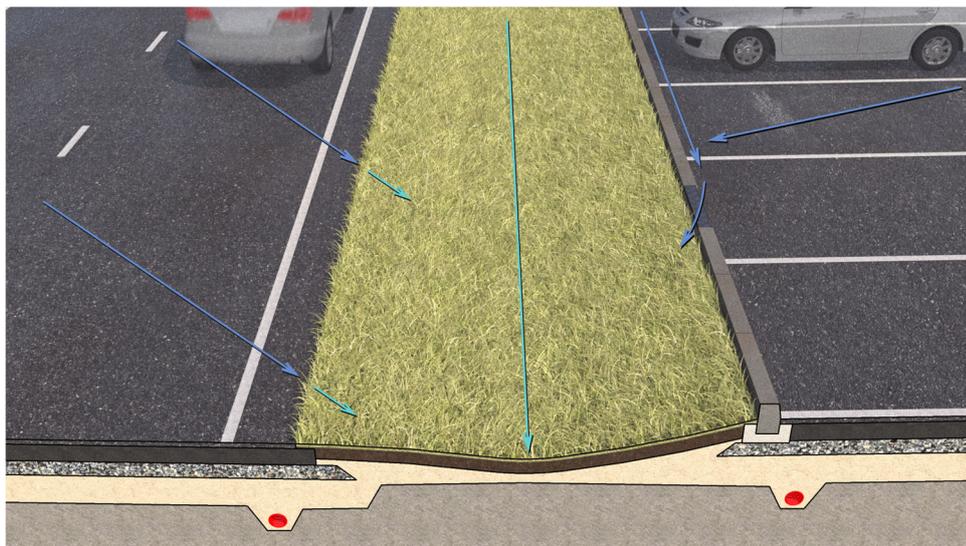


**Рисунок 6.40 – Схемы устройства дренажных канав с газоном вдоль одностороннего проезда с парковкой [35]**



**Рисунок 6.41 – Схемы устройства дренажных канав с газоном на местной или районной улице с центральной разделительной полосой [35]**

На рисунке 6.42 приведены схемы устройства дренажных канав с газоном с разными боковыми склонами между проезжей частью улицы и парковкой.



**Рисунок 6.42 – Схема устройства дренажных канав с газоном между проезжей частью улицы и парковкой [41]**

Поверхностный сток направляется в дренажную канаву через прорези в бордюрах, лотки или иным методом.

В большинстве случаев биодренажные канавы имеют глубину менее 0,6 м и не представляют серьезной угрозы безопасности в случае попадания в них пешеходов или транспортных средств. Ровная нижняя часть канавы обеспечивает место для обслуживающего персонала во время работ по содержанию.

Нижняя часть биодренажной канавы вместе с боковыми откосами образуют зону проникновения воды в грунт. Если плоская нижняя область расширена или склоны сделаны менее крутыми, объем задерживаемого стока может быть увеличен. Минимальная ширина дна, как правило, составляет 0,3 м, но она может варьироваться в зависимости от условий конкретного места и доступного пространства, других условий, указанных в 6.3.3.

Боковые откосы канавы обеспечивают переход от поверхности смежной территории к дну канавы. Значения уклонов боковых склонов следует определять на основе оценки вероятности водной эрозии почвы, способности выживания растений, ремонтпригодности и способности пешеходов и

маломобильных групп населения самостоятельно выбираться из канавы. Рекомендуются уклоны боковых откосов в диапазоне 2,5–4 : 1 (горизонтальный (H) : вертикальный (V)), что обеспечивает баланс между комфортом пешеходов и ландшафтом. Для облегчения обслуживания рекомендуется принимать откосы 3H : 1V или более пологие. Если канавы засажены травой, для кошения и технического обслуживания рекомендуется принимать крутизну боковых откосов от 3H : 1V до 4H : 1V.

В стесненных условиях допустимы уклоны боковых склонов 2H : 1V или круче. Такие канавы, как правило, имеют меньшую общую глубину (обычно 0,3 м) и более подвержены водной эрозии почвы.

Если глубина канавы более 0,3 м для стабилизации откосов может потребоваться их укрепление.

Боковые откосы могут быть разными на стороне тротуара и на стороне проезжей части в зависимости от местных условий.

Ровные участки на краю биодренажной канавы должны быть уплотнены для обеспечения возможности движения пешеходов, велосипедистов и автомобилей, случайно съехавших с проезжей части или тротуара. Рекомендуется использовать для краевой зоны естественную почву территории с уплотнением; рекомендуемый коэффициент уплотнения – 0,95.

В местах, где пешеходы могут сойти с тротуара или двигаться по канаве, устойчивые растительные покровы земли могут очертить край канавы. Для защиты растений от вытаптывания применяют бортовой камень или другие барьеры, например низкое ограждение. Благоустройство территории между тротуаром и улицей также препятствует входу людей в канавы.

В местах улицы со значительным оборотом автомобилей на парковке вдоль улицы следует предусмотреть устройство укрепленной полосы шириной от 0,3 до 0,6 м с обратной стороны бордюра, разделяющего места для парковки и озеленение. В этом случае рекомендуется применять боковой уклон не круче 3H : 1V для обеспечения комфорта людей, выходящих из припаркованных автомобилей.

Местные каменные валуны и булыжники могут способствовать улучшению эстетики ландшафта, увеличению крутизны боковых склонов и обеспечить контроль водной эрозии, если они закреплены. Дно канавы может быть засыпано щебнем или гравием, что препятствует возникновению размывов. Ширина дна может быть равномерной или меняться.

Скорость инфильтрации через дно и стены канавы следует определять согласно ГОСТ 23278.

Дренажные канавы в наибольшей степени применимы в условиях низкой плотности застройки или низкой интенсивности движения, поскольку они занимают относительно большие территории и практически не имеют вертикального отделения от тротуара и проезжей части.

Канавы обычно применяют на улицах микрорайонов или кварталов малоэтажных жилых домов, вдоль автомобильных дорог общего пользования, разделительных полос, кольцевых пересечений или неиспользуемых территорий вдоль проезжей части, а также в районах, где имеется достаточно свободного места для размещения объекта в пределах полосы озеленения вдоль улицы.

На улицах с избыточной площадью проезжей части можно использовать канавы как часть мероприятий по освобождению пространства в пределах красных линий для обеспечения безопасности, повышения комфорта городской среды и управления ливневыми стоками.

В канавах может использоваться широкий перечень растений, применяемых для озеленения. Посадка различных деревьев допускается как на дне канавы, так и на боковых склонах или выступах (бермах).

#### 6.3.8.6 Дождевой сад на тротуаре

Дождевой сад на тротуаре – это специальный озелененный участок территории, предназначенный для управления ливневыми стоками, устроенный, как правило, на тротуаре или между тротуаром и проезжей частью. Сток направляется в дождевой сад, верхняя часть почвы в дождевом

саде устраивается ниже, чем уровень водоотводного лотка улицы. Конструкция дождевого сада описана в 6.3.3.

Дождевые сады [41] могут применяться на разных категориях городских улиц, иметь различную глубину, конструкцию кромок и видовой состав растительности. Дождевые сады эффективны там, где ширина улицы в красных линиях ограничена или имеется большая интенсивность движения.

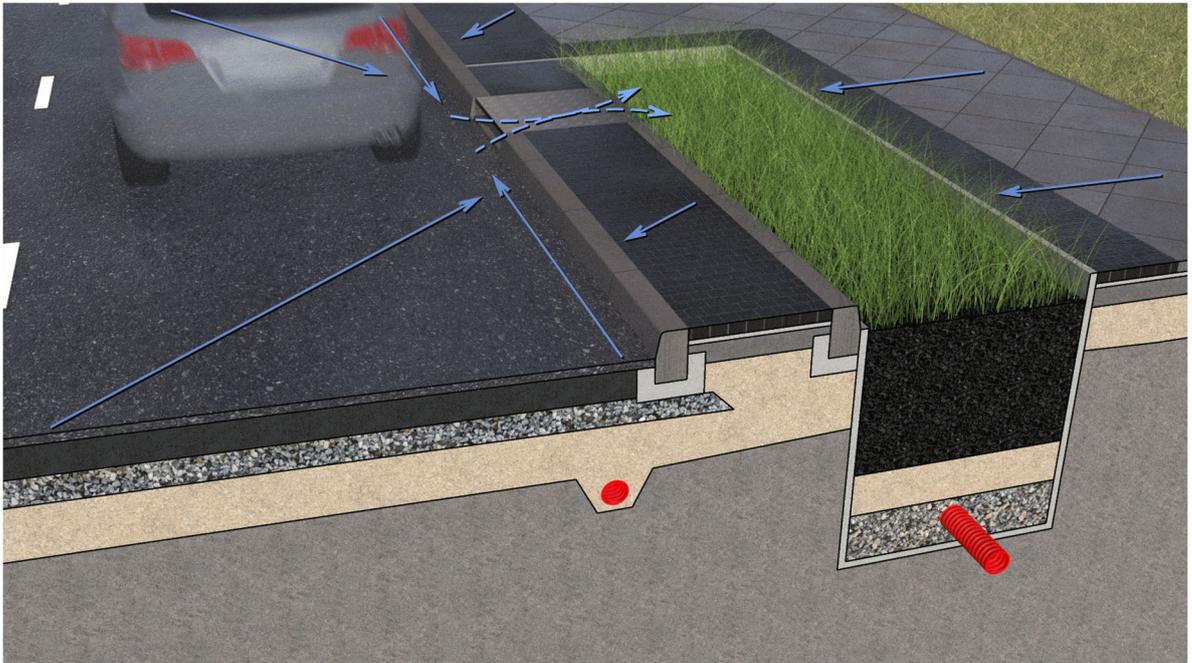
Дождевые сады могут быть различных формы и размеров. Обычно они имеют прямоугольную форму с вертикальными боковыми стенками со всех четырех сторон и открытым дном.

Дождевые сады имеют, как правило, глубину и пропускную способность инфильтрации больше, чем биодренажные канавы. Дождевой сад с отводом воды обеспечивают эффективное снижение пикового расхода, и его можно использовать в ситуациях, когда инфильтрация невозможна или нежелательна.

Дождевой сад подключается к одному или нескольким входным отверстиям (типы различаются), позволяя стоку ливневой воды с улицы поступать в дождевой сад. Сток со смежных тротуара, велосипедной дорожки или проезжей части может перетекать прямо в дождевой сад с поверхности.

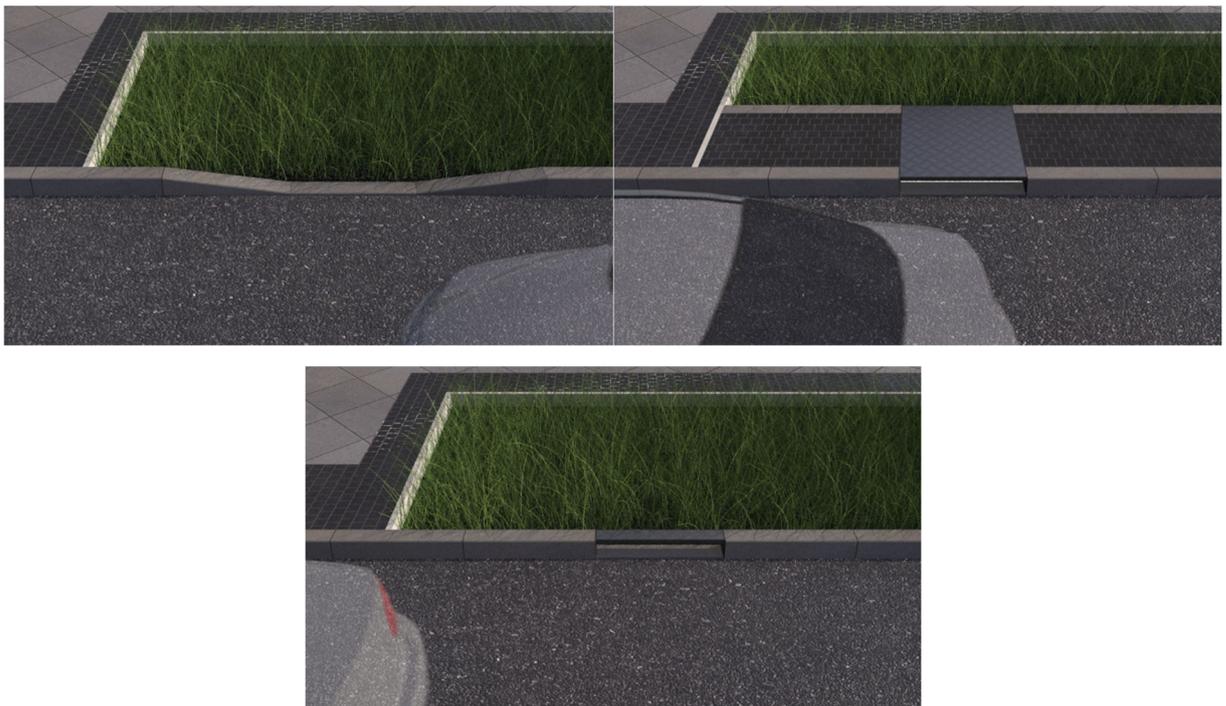
Зеленые насаждения в составе дождевого сада обеспечивают поглощение воды и предварительную очистку ее от загрязняющих веществ, а также поддержание требуемого состояния засыпки.

В тех случаях, когда проникновение воды в почву не может быть реализовано из-за характеристик почв, уровня грунтовых вод или других местных условий и ограничений, дождевые сады могут быть спроектированы с непроницаемыми стенами, основанием и отводящей дренажной инфраструктурой, которая собирает воду, фильтрует сток вниз через почвенную среду и направляет очищенные стоки по дренажной трубе (рисунок 6.43).



**Рисунок 6.43 – Схема расположения дождевого сада на тротуаре**

Для стока воды с проезжей части улицы в дождевой сад в бордюре следует устраивать разрывы или отверстия, как показано на рисунке 6.44.



**Рисунок 6.44 – Примеры размещения дождевых садов с отводом воды с дорожного покрытия улицы**

Отвод воды из дождевого сада может осуществляться в грунт под дождевым садом (при отсутствии угрозы загрязнения грунтовых вод) по дренажной трубе (рисунок 6.43) или по стокам (рисунок 6.45), которые могут быть направлены в очистные сооружения (6.3.1 и 6.3.6). Указанные стоки позволяют удалять воду из дождевого сада в случае угрозы его переполнения.



**Рисунок 6.45 – Пример устройств для отвода воды из дождевого сада**

Подземная труба может быть непосредственно выведена под прилегающие озелененные территории или присоединена к системе инфильтрации воды, расположенной в стороне от дождевого сада.

С добавлением подземной трубы для отвода воды на прилегающие территории общая производительность дождевого сада увеличивается, что может потребовать применения более глубоких стенок дождевого сада.

Вода из дождевого сада может инфильтроваться в боковом направлении, проникая под покрытие или в смежные подвалы и сооружения. Для предотвращения этого необходимо увеличивать глубину нижней кромки стены или использовать материалы, уменьшающие инфильтрацию воды, вплоть до гидроизоляции.

Для предотвращения бокового перемещения стенок дождевого сада допускается использовать удерживающие конструкции тротуара или проезжей части. Высота вертикальной стены зависит от проектной глубины накопления воды в дождевом саду, уклона проезжей части и уклона внутренней поверхности объекта.

Вертикальные стены целесообразно устраивать из бетона (сборного либо монолитного), но допускается использовать и другие материалы. Дно дождевого сада может быть изготовлено из бетона, дно и стены могут иметь гидроизоляцию по всем или некоторым сторонам дождевого сада для предотвращения проникновения воды во внешний почвогрунт. Дренажная труба может устанавливаться в основании дождевого сада для сбора очищенного стока.

Для эксплуатации и технического обслуживания должен быть обеспечен доступ к нижней части объекта.

Должна быть обеспечена безопасность людей в части предотвращения падения в дождевой сад (см. 6.3.3, рисунок 6.2.7). Вдоль края дождевых садов следует предусматривать бордюр высотой 0,12 м или низкое ограждение (менее 0,6 м в высоту). Растения, высота которых может достигать высоты бордюра (предпочтительно с некоторой переменной высотой), действуют как визуальный барьер и препятствуют попаданию в дождевой сад людей.

Дождевые сады должны быть рассчитаны таким образом, чтобы выдерживать нагрузку стока с расчетной площади притока. Расход воды следует рассчитывать по СП 32.13330. Несколько дождевых садов могут быть связаны поверхностными каналами или дренажными трубами или последовательно размещены для предотвращения перегрузки на одном из них. Дождевые сады должны отфильтровать всю попадающую в них воду в течение 24 – 72 ч (в зависимости от частоты выпадения осадков) после дождя, чтобы предотвратить размножение насекомых и образование бактерий или водорослей. Скорость инфильтрации следует определять по методике ГОСТ 23278.

Новые дождевые сады могут нуждаться в поливе в течение периода от 1 до 3 лет. Для этого может использоваться отфильтрованная дождевая вода, но это требует дополнительной подземной инфраструктуры.

При размещении дождевых садов на тротуаре необходимо обеспечить минимальную ширину тротуара согласно СП 396.1325800. Дождевые сады не должны препятствовать доступу к парковочным местам или зонам погрузки.

Дно дождевого сада на тротуаре обычно должно быть не менее 1,2 м в ширину, чтобы обеспечить выживание растительности. Более узкие дождевые сады могут быть использованы в особых условиях, таких как защитные буферные зоны между проезжей частью и велосипедной дорожкой или при недостаточной ширине тротуара, но они должны быть спроектированы с учетом возможности выживания растений, характеристик инфильтрации и стоимости строительства и эксплуатации.

Максимальная глубина накопления воды в дождевом саде, как правило, составляет не более 0,25 м, при этом расстояние по вертикали от тротуара до почвы/грунта в зонах с высокой интенсивностью пешеходного движения для снижения риска травм при попадании людей в дождевой сад составляет, как правило, 0,3 м. Для более глубоких дождевых садов следует предусматривать полноценные ограждения или перила.

При средней или высокой интенсивности пешеходного движения зазор безопасности между дождевым садом и пешеходной частью тротуара должен быть таким же, как между пешеходной частью тротуара и зданием согласно СП 396.1325800 и [6]. При низкой интенсивности пешеходного движения и нормативной ширине тротуара согласно СП 42.13330 зазор безопасности между тротуаром и дождевым садом допускается не предусматривать.

Дождевые сады, расположенные рядом с парковкой, должны обеспечивать въезд и выезд транспортного средства, а также иметь уплотнение почвы, как правило, шириной 0,9 м от бордюра. Зазор безопасности вдоль парковки следует принимать по СП 396.1325800 и [6].

Если дождевой сад отделяет тротуар от парковки, следует предусматривать проход к парковке шириной не менее 1,5 м.

Если применяются несколько последовательно расположенных коротких дождевых садов (длиной 6 м или меньше), проходы между ними

допускается устраивать шириной не менее 1,2 м. Указанные проходы должны соответствовать требованиям к путям для маломобильных групп населения согласно СП 396.1325800, СП 59.13330, СП 136.13330, СП 140.13330 а также быть оборудованными тактильными указателями согласно ГОСТ Р 52875.

Для обеспечения теневого навеса и повышения комфорта пешеходов в дождевые сады могут быть интегрированы деревья.

Следует обеспечить достаточное пространство для корней деревьев и выбирать подходящие виды для местного климата, характеристик грунта и конкретного элемента озеленения. Средние и большие деревья следует размещать за пределами дождевых садов, если не будет обеспечен достаточный зазор от стен и объем почвы, чтобы обеспечить достаточное корневое пространство.

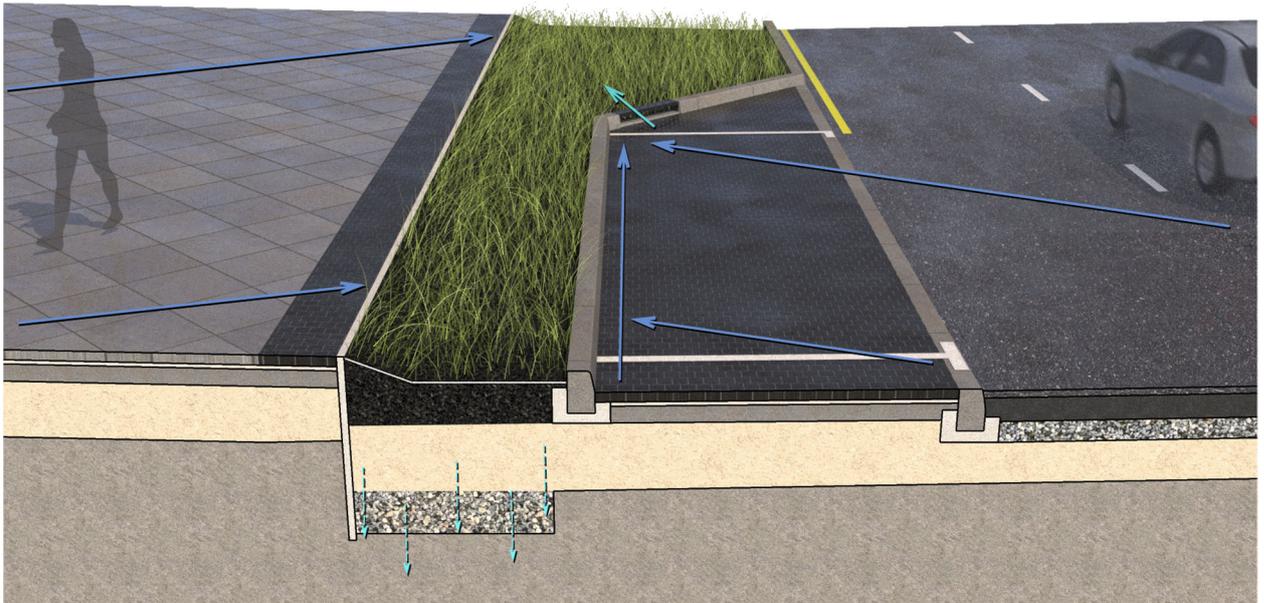
Небольшие деревья, посаженные в дождевых садах, могут иметь низко расположенные кроны, которые препятствуют движению пешеходов и велосипедистов вследствие расположения над покрытием тротуара ниже требуемого габарита. При выполнении работ по содержанию необходима обрезка крон для обеспечения габарита под кроной согласно [6].

Если в составе дождевого сада имеется дренажная труба для отвода воды, это также может ограничить возможность размещения деревьев, так как необходимо обеспечить зазор от корней до дренажной трубы и вертикальной стены.

Элементы благоустройства, включая скамейки, информационные знаки и т. п., могут быть использованы в качестве барьеров для дождевых садов для повышения безопасности пешеходов.

#### 6.3.8.7 Гибридный биодренажный дождевой сад

Гибридный биодренажный дождевой сад включает элементы, применяемые в составе дождевого сада и дренажной канавы. Такой сад имеет одну вертикальную стену, с другой стороны – откос с уклоном, что позволяет увеличить площадь поверхности для инфильтрации воды (рисунок 6.46).



**Рисунок 6.46 – Схема расположения гибридного биодренажного  
дождевого сада**

Стена и откос могут быть обращены в сторону как проезжей части, так и тротуара, в зависимости от местных условий. Для устройства гибридного биодренажного дождевого сада могут быть использованы различные материалы, включая бетон, гравий, бордюрный камень, а также металлические ограждения.

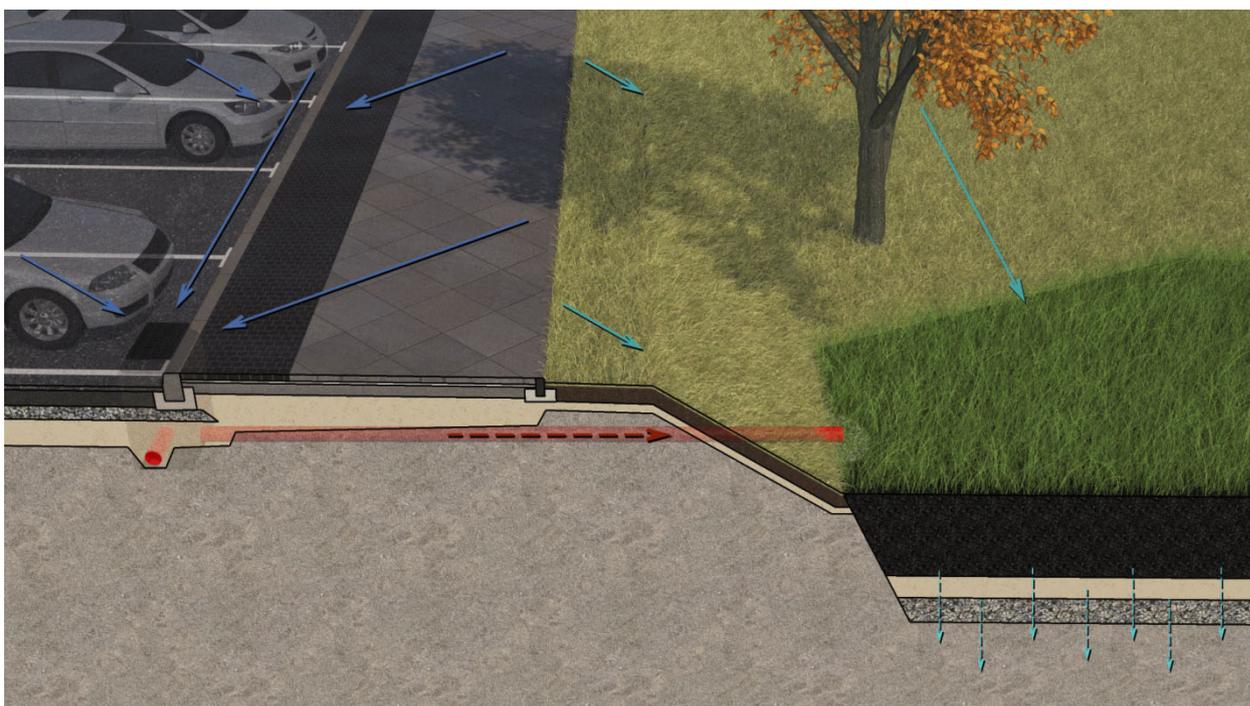
В тех случаях, когда вертикальная стена дождевого сада расположена со стороны тротуара, она должна быть рассчитана на нагрузку от пешеходов; могут потребоваться возведение опорных конструкций, ограждений и, возможно, переустройство тротуара.

Гибридный биодренажный дождевой сад, как правило, следует проектировать со стенами, меньшими чем у дождливого сада, из-за необходимости размещения откоса и предусматриваемого для этой цели пространства. Рекомендуемая максимальная глубина от уровня тротуара до дна элемента – не более 0,5 м, рекомендуемый уклон откоса – 2,5Н: 1V.

Рекомендуемая минимальная ширина дна составляет 0,9 м, что обеспечивает как сток воды вдоль дождевого сада, так и возможность

обслуживания сооружения и дна. Ширина дна может изменяться за счет изменения крутизны откоса для достижения большей площади инфильтрации.

Вывод воды в гибридный биодренажный дождевой сад с проезжей части, парковки или тротуара может осуществляться так же, как в дождевой сад со стенами (рисунок 6.44) или по подземной трубе (рисунок 6.47).



**Рисунок 6.47 – Пример отвода воды с уличной парковки на прилегающий дождевой сад**

Гибридные биодренажные дождевые сады используются в условиях низкой или средней плотности застройки, при малой интенсивности движения и, как правило, размещаются в полосе озеленения на улицах со смешанной или жилой застройкой. Полосы озеленения часто бывают недостаточно широкими, чтобы вместить биодренажные канавы с двумя откосами, но достаточно широкими для размещения гибридных биодренажных дождевых садов. Применение такого сада позволяет в стесненных условиях существующей застройки уложиться в имеющееся пространство на улицах городов и населенных пунктов.

Боковые откосы более дешевы, их эксплуатация и переустройство менее сложны по сравнению с вертикальной стеной. Основным условием применения гибридного биодренажного дождевого сада является наличие достаточного пространства между тротуаром и проезжей частью.

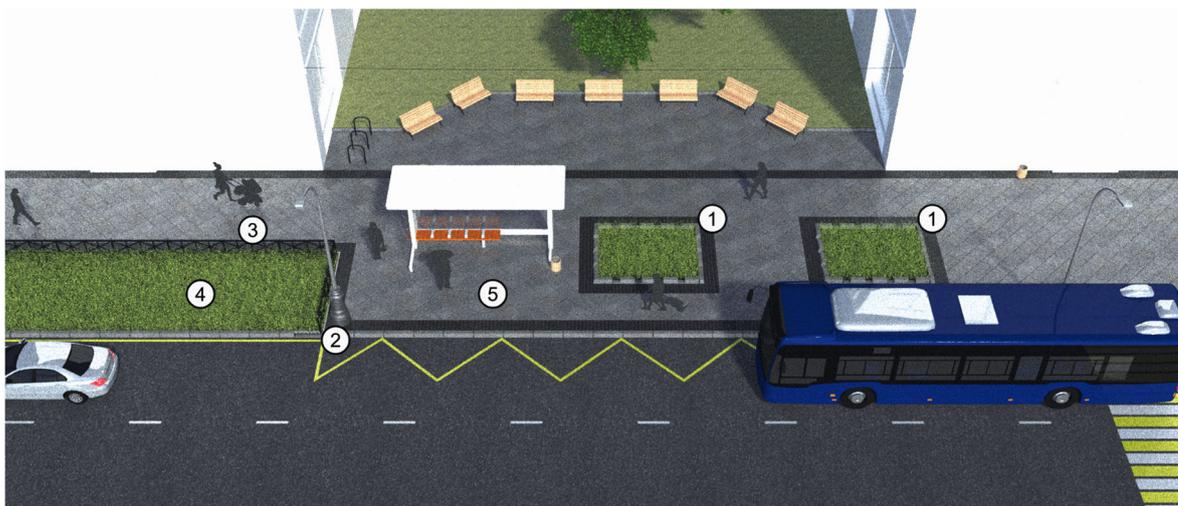
Посадка деревьев допускается на боковом откосе, так как вертикальная стена препятствует росту деревьев, но позволяет ограничить распространение корневой системы дерева, в том числе в сторону подземных инженерных сетей при их размещении за стеной гибридного биодренажного дождевого сада.

При принятии решения о размещении и конфигурации гибридного биодренажного дождевого сада необходимо определить ориентацию дождевого сада относительно застройки и инженерных сетей, предпочтительное место тени от деревьев, а также учесть требования к габаритам пешеходных и велосипедных путей и зазорам безопасности согласно СП 396.1325800 и [6].

#### 6.3.8.8 Водоотвод от остановочных пунктов пассажирского транспорта общего пользования

Элементы озеленения, предназначенного для отвода поверхностного стока, могут устраиваться вблизи остановочных пунктов пассажирского транспорта общего пользования (рисунок 6.48).

Частью инфраструктуры остановочного пункта, обеспечивающего удобную посадку и высадку, могут быть дождевые сады, занимающие часть выступов, формирующих карманы и т. п.



1 – дождевой сад; 2 – зона остановочного пункта; 3 – тротуар; 4 – дождевой сад, гибридный биодренажный дождевой сад или иной элемент озеленения; 5 – посадочная площадка

**Рисунок 6.48 – Пример устройства водоотвода на остановочном пункте с использованием дождевого сада**

Дождевые сады, встроенные в планировочные решения остановочного пункта в виде небольших элементов, улучшают условия нахождения пассажиров на остановочных пунктах, но требуют особого внимания водителей автобусов при посадке и обеспечения видимости.

Дождевые сады следует устраивать на самом дальнем от перекрестка конце посадочной площадки (рисунок 6.48), чтобы ограничивать пешеходам возможность пересечь проезжую часть в непредусмотренном и необорудованном месте. Между посадочной площадкой и пешеходной дорожкой могут быть устроены биодренажные канавы.

Размещение озеленения, предназначенного для отвода поверхностного стока, должно быть согласовано с оператором, осуществляющим перевозки пассажиров на маршруте. Ветви деревьев и насаждения не должны ограничивать обзор со стороны водителя или движение автобусов и иных маршрутных транспортных средств. Рекомендуется выбирать низкорослую растительность, высотой не более 0,5 м, или деревья, ветви которых не будут

мешать приближающимся транспортным средствам: крона должна быть на высоте не менее 4,5 м.

Рекомендуется использовать крупные деревья вдоль задней части посадочной площадки пассажирского транспорта общего пользования или тротуара и низкую растительность на ближнем крае.

Для предотвращения попадания пешеходов в дождевые сады и иные сооружения следует предусматривать ограждения.

У впускных отверстий должны быть крышки там, где бордюр не параллелен кромке полосы движения, для предотвращения въезда транспортного средства в дождевые сады.

#### 6.3.8.9 Дождевые сады на островках безопасности

Размещение озеленения, предназначенного для отвода поверхностного стока, на островках безопасности, островках, отделяющих велосипедные дорожки, или других элементах, смещенных от бордюра, может улучшить городской пейзаж и обеспечить возможность размещения деревьев. Дождевые сады могут быть размещены на островках безопасности при условии подходящей вертикальной планировки и планировочного решения.

Сток направляется в дождевой сад на островке в виде стока по поверхности покрытия либо с использованием лотков или бордюра. Лоток, обеспечивающий перепускной сток (в обход островка), должен также располагаться вдоль бордюра или края островка, чтобы предотвратить скопление воды на полосе движения.

При применении озеленения следует обеспечивать видимость согласно требованиям СП 396.1325800 и [6].

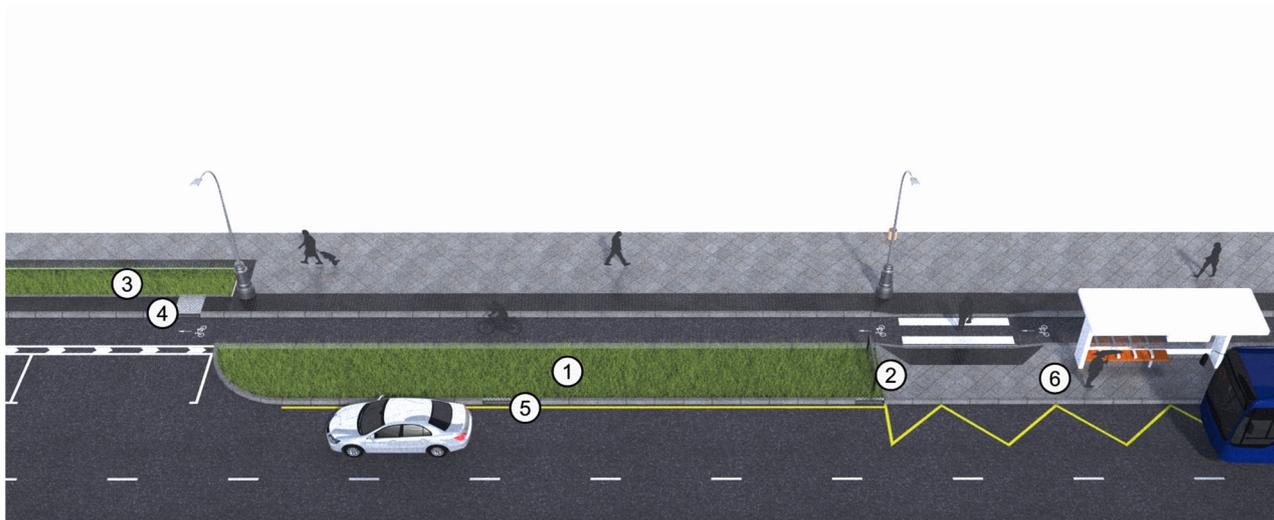
На островках, которые примыкают к остановочным пунктам пассажирского транспорта общего пользования (рисунок 6.49), перила должны ограждать место для пассажиров во время ожидания для ограничения

входа людей в объекты озеленения, предназначенного для отвода поверхностного стока.

Размещение дождевых садов должно обеспечивать возможность проведения работ по зимнему содержанию, ремонту и уборке в летний период.

На островках безопасности могут совместно применяться дождевые сады и гибридные дождевые сады, если это оправдано наиболее эффективным использованием имеющегося пространства и финансовых ресурсов.

Деревья могут быть высажены на островках безопасности при наличии достаточного пространства для корней дерева и при условии, что ветви не будут препятствовать проезду или ухудшать видимость.



1 – дождевой сад или гибридный биодренажный дождевой сад; 2 – ограждение дождевого сада; 3 – полоса озеленения; 4 – велосипедная дорожка; 5 – отверстие для стока воды в дождевой сад; 6 – остановочный пункт наземного пассажирского транспорта общего пользования

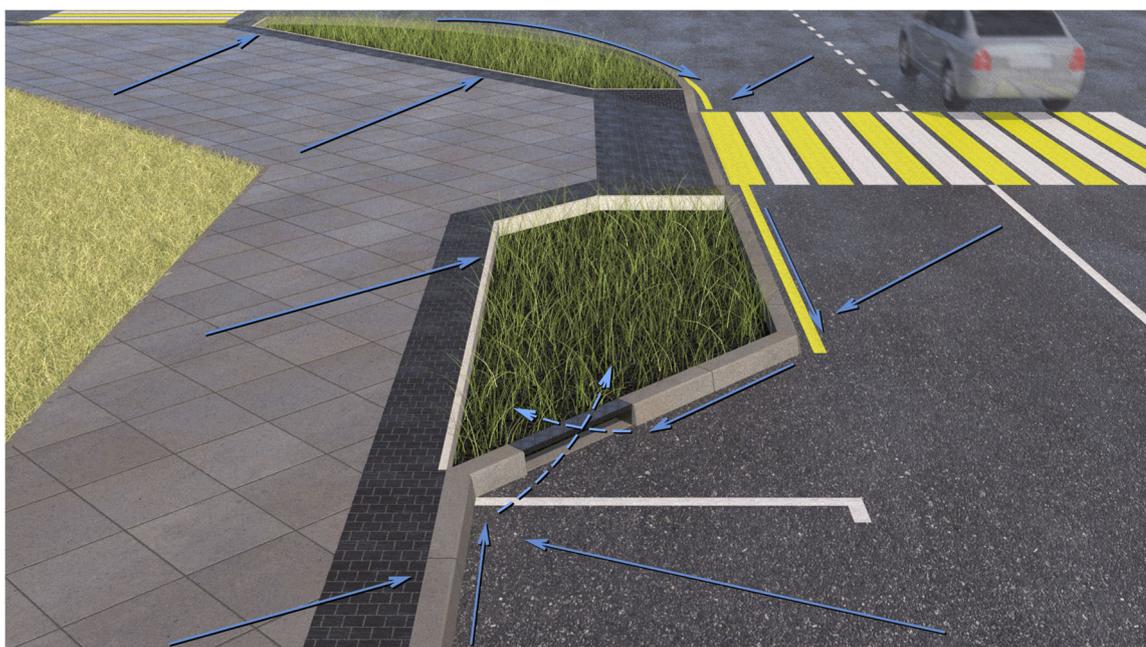
### **Рисунок 6.49 – Схема расположения островка безопасности с дождевым садом**

Для защиты от заезда автомобилей в озеленение (дождевые сады на островках безопасности) рекомендуется устройство бордюров (приподнятых островков безопасности). Если бордюр не установлен, следует использовать столбики с отражателями или делиниаторы, чтобы не допустить заезда автомобилей в озеленение.

При одностороннем движении автомобилей деревья рекомендуется высаживать на дальнем по ходу движения конце островка безопасности, являющегося элементом инфраструктуры снижения скорости движения [6]. На центральных разделительных островках безопасности на пересечениях посадка деревьев не допускается. При озеленении центральных островков безопасности кольцевых пересечений следует руководствоваться требованиями нормативных документов по проектированию кольцевых пересечений<sup>1)</sup>.

#### 6.3.8.10 Средний или угловой блок озеленения

Средний или угловой блок озеленения (рисунок 6.50) – это ландшафтное расширение бордюра, которое смещает линию бордюра в проезжую часть, например при прерывании полосы для парковки.



**Рисунок 6.50 – Схема водоотвода в средний или угловой блок озеленения, содержащий дождевой сад**

<sup>1)</sup> До 1 сентября 2021 г. в Российской Федерации действует ПНСТ 271–2018 «Дороги автомобильные общего пользования. Кольцевые пересечения. Правила проектирования».

Он предназначен для управления ливневым стоком: снижения скорости течения и задержания части воды, верхняя часть почвогрунта устраивается ниже, чем уровень водосточного лотка улицы, и имеет одно или несколько впускных отверстий.

Средний или угловой блок озеленения может содержать дождевой сад или гибридный биодренажный дождевой сад. Сток со смежного тротуара может перетекать прямо с поверхности. Блоки озеленения предназначены для сбора и уменьшения скорости течения ливневых вод. Посадка растений в пределах бордюра позволяет поглотить часть ливневой воды. Оставшаяся ливневая вода может временно храниться в пределах блока озеленения до тех пор, пока она не проникнет в грунт, дренаж или канализацию (при наличии). Избыточная вода должна вытекать с нижней стороны блока и стекать далее в следующий элемент сбора поверхностного стока.

Средний или угловой блок озеленения обеспечивает фильтрацию воды сквозь почву и является физическим буфером между пешеходами и улицей. При этом такой блок не требует занятия зоны тротуара.

Средний или угловой блок озеленения способствует снижению скорости автомобиля за счет физического и визуального сужения улицы, сокращает расстояние пешеходного перехода при использовании на пересечениях, обеспечивает площадь в пределах красных линий для небольших насаждений в дополнение к деревьям.

При применении необходимо учитывать существующие условия парковки на улице, ширину улицы и радиус поворота транспортного средства. Изменение существующей бордюрной линии будет напрямую влиять на существующие схемы поверхностного водосбора.

Растительность должна обеспечивать требуемые условия видимости согласно СП 396.1325800 и [6].

При проектировании следует избегать изменения маршрута велосипедистов. При размещении рядом с перекрестком рекомендуется, чтобы пешеходный путь проходил через блок озеленения, что может ограничить его способность инфильтровать ливневые стоки.

Средний или угловой блок озеленения может быть интегрирован с зоной отдыха для пешеходов или остановочным пунктом пассажирского транспорта общего пользования.

Блок озеленения требует проведения регулярного обслуживания, такого как обрезка, полив во время засухи, удаление сорняков и мусора и т. д., а также плановая очистка впускных отверстий и труб.

#### 6.3.8.11 Расширение бордюра

Расширения бордюров рекомендуется применять на улицах с широкой проезжей частью (например, если ширина правой полосы движения превышает установленную СП 42.13330). Такие расширения визуально и физически сужают проезжую часть, создавая более безопасные и короткие переходы для пешеходов и обеспечивая спокойное движение транспорта на улицах с низкой разрешенной скоростью движения автомобилей и на улицах с развитой торговлей. Получаемое при этом свободное пространство может быть использовано для сбора и очистки поверхностного стока, посадки деревьев, благоустройства улицы (рисунок 6.51).



**Рисунок 6.51 – Расширение бордюра для размещения элемента водоотвода**

Расширения бордюров для размещения озеленения, предназначенного для отвода поверхностного стока, могут быть расположены на перекрестках, чтобы сузить расстояние для пешеходов и уменьшить радиусы бордюров, побуждая водителей делать более медленные повороты. Установка блоков на перекрестках может создать возможности для улучшения доступности и безопасности пешеходов. Сокращение расстояния пересечения, уменьшение радиусов закруглений, модернизация бордюрных рамп и перемещение препятствий, таких как сигнальные столбики, могут улучшить мобильность пешеходов и перераспределить непроницаемое пространство в пользу озеленения.

Посадки могут быть использованы в углах для визуального соединения пересечений. В составе описываемого сооружения может использоваться как основной, так и гибридный биодренажный дождевой сад.

Бордюр (перегородка) в средней части блока может использоваться для сбора и направления стока в дренаж, обеспечивая при этом снижение скорости течения воды.

Расширения бордюров позволяют перенаправить поток воды в лотки.

Следует обеспечивать стыковку впуска стока в уширение бордюра и уровень лотка. Необходимо учитывать суммарный косой уклон вертикальной планировки улицы. Если сток превышает емкость дождевого сада во время сильных дождей, переполнение может вызвать распространение воды на проезжую часть, уменьшая видимость и создавая опасность для пользователей.

Ширина расширения бордюра зависит от типа улицы. Расширения бордюров рекомендуется располагать не ближе 0,3–0,6 м от внешнего края правой полосы движения для устройства лотка для сбора воды вне полосы движения, ширина может быть адаптирована к требованиям доступа экстренных служб (пожарных и т. п.) или грузового транспортного средства, или другим существующим условиям, например уменьшена в целях уменьшения ширины проезжей части на местной улице, где в связи с

ограничением скорости движения аквапланирование колеса не является существенным фактором риска дорожно-транспортного происшествия.

Отгон уширения следует принимать по СП 396.1325800, если уширение бордюра является частью заездного кармана остановочного пункта или ограничивает переходо-скоростную полосу, в остальных случаях отгон должен быть в диапазоне от 30° до 60° относительно оси полосы движения.

Следует использовать растения высотой не более 0,5 м, чтобы обеспечить требования видимости согласно СП 396.1325800 и [6].

Следует предотвращать попадание в озеленение, в т. ч. в дождевой сад, транспортных средств и велосипедов. Металлические крышки на стоках в дождевой сад, как правило, эффективны.

Входные отверстия, при необходимости, должны включать в себя гасители скорости течения воды, попадающей из лотка.

Укрепление поверхности за бордюром в зоне озеленения не требуется, так как парковка рядом с уширением бордюра не допускается. Вдоль бордюра со стороны озеленения может быть включена зона шириной 0,5–0,6 м для технического обслуживания дождевого сада.

### **6.3.9 Методы определения пропускной способности сточных вод через газон**

6.3.9.1 Пропускная способность биоинженерных систем отвода, предварительной очистки, накопления и хранения дождевых и талых поверхностных стоков определяется характеристиками почв, растительности, климатическими факторами, конструктивными особенностями сооружений, площадью водосбора и т. д.

6.3.9.2 Характеристикой степени водопроницаемости почв и грунтов является коэффициент фильтрации, представляющий собой скорость фильтрации при градиенте напора, равном единице. Скорость фильтрации воды в грунтах  $v$  характеризуется законом Дарси:

$$v = k\Delta H/l = kI, \quad (3)$$

где  $k$  – коэффициент фильтрации;

$I$  – градиент напора;

$\Delta H$  – разность напоров;

$l$  – длина пути фильтрации.

За скорость фильтрации принимают расход воды в единицу времени, отнесенный к площади поперечного сечения образца грунта.

Коэффициент фильтрации определяют в лабораторных условиях в фильтрационных приборах и в полевых условиях с помощью опытных откачек, нагнетаний и наливов. Ориентировочные значения коэффициента фильтрации грунтов допускается принимать по таблице 6.7 [17].

Т а б л и ц а 6.7 – Ориентировочные значения коэффициента фильтрации грунтов

Тип грунта	$k$ , м/сут
Галечниковый (чистый)	> 200
Гравийный (чистый)	100–200
Крупнообломочный с песчаным заполнителем	100–150
Песок:	
- гравелистый	50–100
- крупный	25–75
- средней крупности	10–25
- мелкий	2–10
- пылеватый	0,1–2
Супесь	0,1–0,7
Суглинок	0,005–0,4
Глина	< 0,005
Торф:	
- слаборазложившийся	1–4
- среднеразложившийся	0,15–1
- сильноразложившийся	0,01–0,15

В некоторых грунтах, например в плотных глинах, фильтрация возникает лишь тогда, когда градиент напора превысит некоторое критическое значение, называемое начальным градиентом напора. При значительных

величинах начального градиента напора следует учитывать его влияние в зависимости от степени уплотнения грунта. Для слабых глинистых грунтов в процессе их консолидации под нагрузкой коэффициент фильтрации значительно уменьшается при увеличении плотности грунта [15].

6.3.9.3 Методы лабораторного определения коэффициента фильтрации приведены в ГОСТ 25584. Применение табличных данных возможно при известном гранулометрическом составе грунта. Используя визуальные методы, можно оценить границы коэффициента фильтрации по таблицам 6.8–6.10 [7].

Таблица 6.8 – Коэффициенты фильтрации грунтов

№ п/п	Наименование пород	Коэффициент фильтрации, м/сут
	<u>Скальные грунты</u>	
1	Слабо трещиноватые породы: доломиты, мел, мергели, сланцы	5–20
2	Различные трещиноватые породы	20–60
3	Сильно трещиноватые породы	Более 60–70
	<u>Галечниковые и гравийные грунты</u>	
4	Галечник с песком	20–100
5	Галечник отсортировочный	Более 100
6	Галечник чистый	100–200
7	Гравий чистый	10–200
8	Гравий с песком	75–150
9	Гравийно-галечниковые грунты со значительной примесью мелких частиц	20–60
	<u>Песчаные грунты</u>	
10	Песок пылеватый глинистый с преобладающей фракцией 0,01–0,05 мм	0,6–1,0
11	Песок пылеватый однородный с преобладающей фракцией 0,01–0,05 мм	1,5–5,0
12	Песок мелкозернистый глинистый с преобладающей фракцией 0,1–0,25 мм	10–15
13	Песок мелкозернистый однородный с преобладающей фракцией 0,1–0,25 мм	20–25
14	Песок среднезернистый глинистый с преобладающей фракцией 0,25–0,5 мм	35–50
15	Песок среднезернистый однородный с преобладающей фракцией 0,25–0,5 мм	35–40
16	Песок крупнозернистый, слегка глинистый с преобладающей фракцией 0,5–1,0 мм	35–40
17	Песок крупнозернистый однородный с преобладающей фракцией 0,5–1,0 мм	60–75
	<u>Глинистые грунты</u>	
18	Глина	Менее 0,001

Окончание таблицы 6.8

№ п/п	Наименование пород	Коэффициент фильтрации, м/сут
19	Суглинок тяжелый	0,05–0,01
20	Суглинок легкий и средний	0,4–0,005
21	Супесь плотная	–
22	Супесь рыхлая	0,1–0,01
23	Супесь	1,0–0,4
	<u>Торф</u>	
24	Торф мало разложившийся	4,5–1,0
25	Торф среднеразложившийся	1,0–0,15
26	Торф сильно разложившийся	0,15–0,01

Таблица 6.9 – Водопроницаемость лессовидных суглинков [13]

Порода	Глубина залегания, м	Коэффициент фильтрации, м/сут		Отношение $K_{ф.верт}$ к $K_{ф.гор}$
		вертикальное направление	горизонтальное направление	
Лессовидный суглинок	1,8–2,0	12,21	0,31	37,5
То же	2,6–2,8	1,72	0,38	4,5
»	1,8–2,0	0,12	0,017	7
»	2,65–2,8	0,11	0,011	10

Таблица 6.10 – Коэффициент фильтрации торфов [13]

Группа торфа	Степень разложения, %	Коэффициент фильтрации, см/с
<b>Низинный:</b>		
- слаборазложившийся	10–20	0,002–0,01 (0,005)
- среднеразложившийся	30–45	0,0002–0,003 (0,0008)
<b>Береговой:</b>		
- очень слаборазложившийся	До 10–15	0,01–0,025 (0,015)
- слаборазложившийся	10–20	0,002–0,007 (0,004)
- среднеразложившийся	30–45	0,00025–0,001 (0,0005)

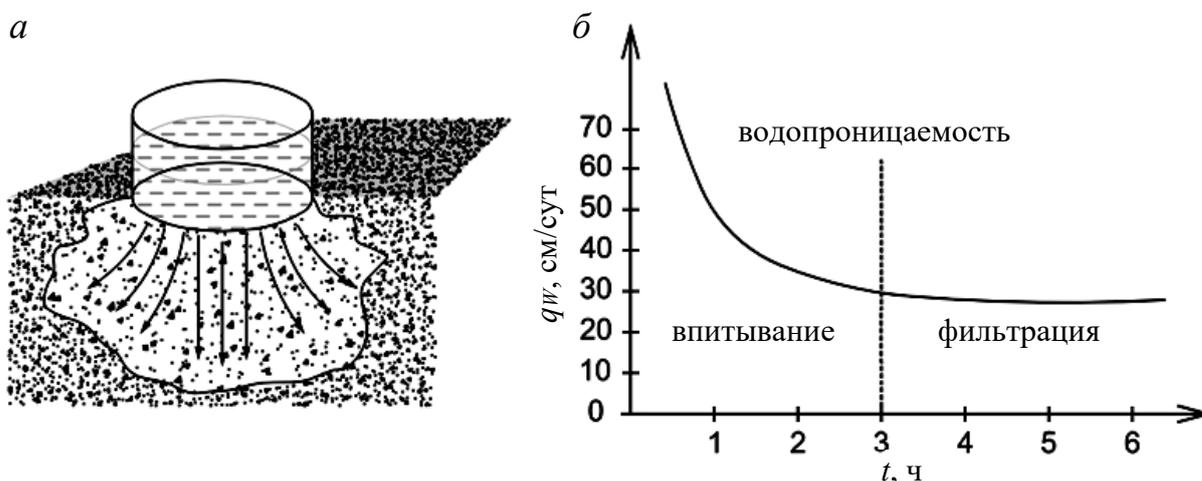
6.3.9.4 Процесс фильтрации воды через почву отличается от процессов фильтрации в грунтах.

Процесс водопроницаемости почвы включает впитывание воды в ненасыщенную влагой почву и при заполнении всего порового пространства водой – фильтрацию. В любой момент времени можно рассчитать поток влаги  $q_w$ , см/мин, в почву как количество воды  $Q$ , см<sup>3</sup>, прошедшее в почву в единицу времени  $t$ , мин, через единицу площади экспериментального цилиндра  $S$ , см<sup>2</sup>.

$$q_w = \frac{Q}{St} \quad (4)$$

Для соответствующих стадий этот поток будет равен коэффициенту впитывания  $K_{\text{впит}}$  и коэффициенту фильтрации  $K_{\text{ф}}$ , так как градиент гидравлического давления близок к единице. Оба они будут иметь ту же размерность, что и поток влаги  $q$ . Как правило,  $K_{\text{впит}}$  больше  $K_{\text{ф}}$ , что видно на рисунке 6.52, б.

При расчете  $K_{\text{впит}}$  следует указывать, в какой момент времени процесса водопроницаемости он был рассчитан. Обычно для сравнительной оценки указывают количество воды (в миллиметрах водного слоя), впитавшееся в 1-й час эксперимента, т. е. единица измерения в этом случае – миллиметры в час.  $K_{\text{ф}}$  является стабильной, отражающей основные свойства почв величиной.



**Рисунок 6.52 – Цилиндр для определения водопроницаемости почвы (а) и изменение скорости водопроницаемости, отражающее две стадии процесса водопроницаемости – впитывание и фильтрацию (б) [10]**

Если все поровое пространство заполнено водой, то процесс движения влаги в такой двухфазной (только твердая и жидкая фазы) системе называют фильтрацией. При описании процесса фильтрации считается, что по всем порам вода движется с одинаковой скоростью, формируя фильтрационный фронт в насыщенной водой почве. Такие условия в почве бывают нечасто и в основном характерны для движения грунтовых вод, верховодки, условий весеннего снеготаяния.

6.3.9.5 Гранулометрический состав городских почв – показатель, который определяет продуктивность городской почвы, степень ее фильтрационной и водоудерживающей способности. Характеристики физическо-механических свойств в гранулометрическом составе типичных городских почв приведены в таблице 6.11.

Таблица 6.11 – Изменение физическо-механических свойств городских почв (поверхностные горизонты) [12]

Свойства	Дерново-подзолистые почвы вне города	Урбаноземы
Твердость почвы, кг/см	20–25	40–45
Поровое пространство, %	50	30–40
Плотность сложения, г/см	0,9–1,2	До 1,8

В целом по гранулометрическому составу почвы определяют ее адсорбционную, структурообразующую способность, плотность, влагоемкость, тепловые и физико-механические свойства.

6.3.9.6 Диапазоны средних значений коэффициента фильтрации для различных по гранулометрическому составу почв приведены в таблице 6.12.

В общем случае следует считать, что если почвенный горизонт имеет коэффициент фильтрации не больше 6 см/сут, то этот почвенный горизонт можно рассматривать как водоупорный, практически непроницаемый для воды вне зависимости от его гранулометрического состава и других свойств.

Таблица 6.12 – Диапазоны средних значений коэффициента фильтрации для различных по гранулометрическому составу почв

Почвенные объекты	Диапазон $K_f$ , см/сут
Песчаные почвы	300–800
Суглинистые	20–100
Глины	1–50

6.3.9.7 Для расчета  $K_f$ , определяемого методом трубок с постоянным напором, может использоваться следующее уравнение [21]:

$$K_{\phi} = Q / (4rH + \pi r^2), \quad (5)$$

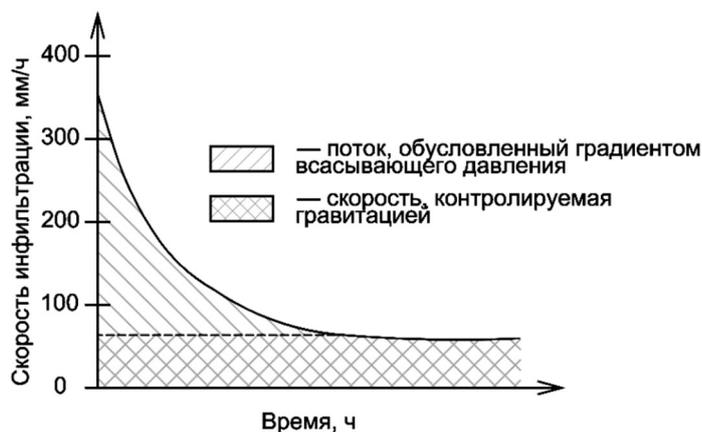
где  $K_{\phi}$  – коэффициент фильтрации почвы;

$Q$  – объем влаги, поступающей из цилиндра в почву в единицу времени;

$H$  – слой воды (напор) в цилиндре;

$r$  – радиус цилиндра.

По данным [21] при затоплении почвы скорость инфильтрации, вначале высокая, постепенно снижается и через некоторое время падает до постоянной величины, которая служит мерой гидравлической проводимости насыщенной почвы (рисунок 6.53).



**Рисунок 6.53 – Скорость инфильтрации почвенной среды**

6.3.9.8 Допускается использовать другие способы определения скорости инфильтрации дождевой воды в грунт, основанные на применении различных эмпирических формул, которые могут быть использованы для оценки фильтрационной способности различных почвогрунтов [11]:

- Костякова – Бефани:

$$I = k + \frac{\alpha}{t^n}, \quad (6)$$

- Хортон:

$$I = (I_0 - k)e^{-\beta t} + k, \quad (7)$$

- Попова:

$$I = \operatorname{Re} \frac{-Rt}{D} + k, \quad (8)$$

где  $I$  – скорости инфильтрации;

$k$  – коэффициент фильтрации;

$\alpha$  и  $n$  – эмпирически устанавливаемые параметры;

$t$  – время с момента начала дождя;

$I_0$  – начальная скорость впитывания;

$\beta$  – эмпирический коэффициент;

$R$  – интенсивность осадков;

$D$  – дефицит влаги в верхнем полуметровом слое грунта.

Недостатками указанных способов являются высокая степень неопределенности коэффициентов, входящих в формулы, отсутствие учета уклона площадки, а также сложность выбора способа для определения скорости инфильтрации в конкретном месте.

### **6.3.10 Оценка сорбционной способности почв**

6.3.10.1 Оценка эффективности почвы как фильтрационного элемента очистки поверхностного стока должна учитывать пять видов поглотительной способности почв [20]:

1) *Механическая поглотительная способность* – свойство почв поглощать поступающие с водным или воздушным потоком твердые частицы, размеры которых превышают размеры почвенных пор. От размера и формы пор зависят крупность задерживаемых частиц и глубина их проникновения в почву. Вода, проходя сквозь почвенную толщу, очищается от взвесей, что позволяет использовать это свойство почв и рыхлых пород для очистки питьевых и сточных вод.

2) *Химическая поглотительная способность* обусловлена образованием в результате происходящих в почве химических реакций труднорастворимых соединений, выпадающих из раствора в осадок. Поступающие в почву в составе атмосферных, грунтовых поливных вод катионы и анионы могут

образовывать с солями почвенного раствора нерастворимые или труднорастворимые соединения.

3) *Биологическое поглощение* вызвано способностью живых почвообитающих организмов (корни растений, микроорганизмы) поглощать различные элементы. Биологическая поглотительная способность характеризуется большой избирательностью поглощения, обусловленной специфической для каждого вида потребностью живых организмов в элементах питания.

4) *Физическая поглотительная способность* — способность почвы увеличивать концентрацию молекул различных веществ у поверхности тонкодисперсных частиц. Поверхностная энергия таких частиц, измеряющаяся произведением поверхностного натяжения, возникающего на границе соприкосновения дисперсной фазы с дисперсионной средой, на суммарную поверхность частиц дисперсной фазы, стремится к наибольшему сокращению. Это реализуется уменьшением поверхности твердой фазы (укрупнение частиц) или понижением поверхностного натяжения путем адсорбции на поверхности частиц некоторых веществ. Вещества, понижающие поверхностное натяжение, называются поверхностно-активными (органические кислоты, алкалоиды, многие высокомолекулярные органические соединения). Они притягиваются к поверхности тонкодисперсных частиц, т. е. испытывают положительную физическую адсорбцию. Многие минеральные соли, кислоты, щелочи, некоторые органические соединения повышают поверхностное натяжение воды, вызывая явление отрицательной физической адсорбции, при которой концентрация данных веществ уменьшается по мере приближения к поверхности частицы. Понижение поверхностного натяжения достигается избирательной адсорбцией молекул воды, а не растворенных в ней веществ.

5) *Физико-химическая (обменная) поглотительная способность* — способность почвы поглощать и обменивать ионы, находящиеся на поверхности коллоидных частиц, на эквивалентное количество ионов

раствора, взаимодействующего с твердой фазой почвы. Это свойство почвы обусловлено наличием в ее составе так называемого почвенного поглощающего комплекса (ППК), связанного с почвенными коллоидами, представляющего собой совокупность минеральных, органических и органо-минеральных соединений высокой степени дисперсности, нерастворимых в воде и способных поглощать и обменивать поглощенные ионы.

Почва относится к гетерогенным полидисперсным образованиям, для которых коллоидное состояние вещества имеет большое значение. Поглотительной способностью обладают как коллоидные частицы (0,2–0,001 мкм), так и предколлоидная фракция (0,2–1 мкм). Диаметр частиц 1 мкм представляет собой грань, отделяющую механические элементы с резко выраженной поглотительной способностью. Органическая часть ППК обладает значительно большей емкостью поглощения, чем минеральная.

Сумма всех катионов, находящихся в диффузном слое почвенных коллоидов и способных к обмену, определяется емкостью поглощения, величина которой в минеральных почвах колеблется от 2–5 до 50–60 мг-экв/100 г почвы и зависит от содержания гумуса и количества минеральных коллоидов.

6.3.10.3 Анализ распределения подвижных форм химических веществ в почвенном профиле показывает наличие двух пиков аккумуляции; в гумусовом и иллювиальном горизонтах. Эти горизонты характеризуются повышенным содержанием минеральных и органических коллоидов, для которых характерны высокие сорбционные свойства.

Максимальные значения емкости катионного обмена (ЕКО) характерны для болотных почв (до 100 мг-экв/100 г) и для минеральных почв травянистых экосистем с высоким содержанием органического вещества: черноземов и дерново-карбонатных (до 75 мг-экв/100 г), а также иллювиальных горизонтов солонцов до (60 мг-экв/100 г). Наименьшие – для почв малогумусных, легкого

гранулометрического состава, например бурых пустынно-степных (до 5–10 мг-экв/100 г).

Характеристикой сорбционных свойств почв кроме ЕКО является также показатель мощности гумусового горизонта (А). Для оценки суммарного влияния этих двух показателей, имеющих разные единицы измерения, использована экспертная балльная шкала.

6.3.10.4 Для каждой почвы на основе почвенной карты Российской Федерации определены значения показателей, проведено их ранжирование и полученным группам присвоен определенный балл. Сумма баллов ЕКО и мощности горизонта А использованы в качестве оценки сорбционной функции почв. Полученная оценка сорбционных функций почв на территории Российской Федерации (2–8 баллов) поделена на 6 градаций – от очень низкой до очень высокой (таблица 6.13).

Таблица 6.13 – Показатели сорбционных свойств почв [33]

Параметр	Диапазон варьирования	Баллы
ЕКО, мг-экв/100 г почвы	Менее 15	1
	15–30	2
	30–60	3
	Более 60	4

Карта сорбционных функций почв Российской Федерации приведена на рисунке 6.54.



**Рисунок 6.54 – Карта сорбционной способности почв [33]**

6.3.10.5 Анализ пространственного распределения почв с разной сорбционной функцией позволяет провести территориальную дифференциацию наземных экосистем по их потенциальной способности к накоплению веществ.

Хорошо гумусированные почвы с высокой емкостью катионного обмена и мощным органическим или органо-минеральным горизонтом (7–8 баллов), расположены на юге Европейской части России и Западной Сибири, а также в Средней Сибири. Максимальной сорбционной способностью обладают обыкновенные и южные черноземы, лугово-черноземные почвы. Высокой способностью характеризуются дерново-карбонатные, перегнойно-

карбонатные, торфяные и торфяно-глеевые болотные переходные и низинные почвы.

Как правило, почвы, имеющие высокие сорбционные показатели, формируются в подчиненных позициях рельефа, что увеличивает вероятность снижения скорости самоочищения от загрязняющих веществ (лугово-черноземные и лугово-болотные, торфяные и торфяно-глеевые болотные переходные и низинные и т.д.).

Почвы с высокой емкостью катионного обмена, но маломощным гумусовым профилем, по своим сорбционным свойствам занимают промежуточное положение, что характеризуется интегральным баллом 2–3 таблицы оценки сорбционных свойств.

Минимальной способностью к закреплению загрязняющих веществ (1–2 балла) обладают почвы гумидной зоны с небольшой мощностью гумусового горизонта легкого гранулометрического состава. В эту группу входят подзолы, таежные мерзлотные почвы и тундровые подбуры. Такая же очень низкая сорбционная способность отличает таежные глееземы, палевые, буротаежные, таежные глее-мерзлотные, подзолистые и аналогичные почвы.

Почвы на урбанизированных территориях обладают определенными специфическими свойствами, наиболее типичными из которых являются:

- наличие включений строительно-бытового мусора;
- повышенная уплотненность;
- тренд в сторону повышенной щелочности;
- накопление техногенных веществ;
- наличие патогенных микроорганизмов.

Определение сорбционных свойств почвы возможно двумя способами:

- на основе табличных (таблица 6.14) и картографических данных (рисунок 6.50);
- лабораторные исследования взятых образцов.

6.3.10.6 Вне зависимости от выбранной методики необходимо перевести емкость поглощения в миллиграммы химических элементов, удерживаемых

почвой. Поскольку емкость поглощения выражается в миллиграмм-эквивалентах на 100 г почвы, то необходимо результат пересчитать на весь фильтрующий слой.

Например, если в 100 г почвы в поглощенном состоянии содержится 200 мг Са, 24 мг Mg и 9 мг NH<sub>4</sub>, то емкость поглощения этой почвы будет  $\frac{200}{20} + \frac{24}{12} + \frac{9}{18} = 12,5$  мг-экв/100 г (20 – эквивалентная масса кальция, 12 – магния, 18 – аммония).

Необходимо учитывать, что песчаные и супесчаные почвы, наиболее подходящие для очистки поверхностного стока имеют малое количество коллоидной фракции и невысокую емкость поглощения. Чем больше в почве минеральных и органических коллоидных частиц, тем выше ее поглотительная способность.

У глинистых и суглинистых почв емкость поглощения больше, чем у песчаных и супесчаных. Богатые перегноем черноземы отличаются значительно более высокой емкостью поглощения (40–60 мг-экв/100 г), чем подзолистые почвы и сероземы (10–15 мг-экв/100 г).

Таблица 6.14 – Емкость поглощения у разных почв и содержание гумуса [22]

Почва	Содержание, %			Емкость поглощения катионов (мг-экв на 100 г почвы)	Содержание поглощенных катионов (мг-экв/100 г почвы)		
	гумуса	минеральных частиц диаметром			Са+Mg	Na	Н
		Менее 0,00025мм	0,00025–0,001 мм				
Дерново-подзолистая	2,5	2	–	15	8	–	7
Серая лесная	3	5	4	20	16	–	4
Чернозем:							
- выщелоченный	8	15	5	50	40	–	10
- типичный	10	5	10	65	60	–	5
- обыкновенный	6	5	10	35	31	2	2
- южный	4,5	5	10	30	28	2	–
Каштановая	2,5	3	5	27	25	2	–
Серозем	1	3	5	15	14	1	–

Невысокая емкость поглощения дерново-подзолистых почв обуславливается более низким содержанием перегноя и преобладанием в минеральной коллоидной фракции глинистых минералов типа каолинита, которые имеют малую поглотительную способность (5–15 мг-экв/100 г минерала).

Черноземы не только богаче перегноем, но и в мелкодисперсной минеральной фракции этих почв больше минералов монтмориллонитовой группы, которые отличаются высокой поглотительной способностью (80–100 мг-экв/100 г минерала).

На почвах с малой поглотительной способностью (песчаных и супесчаных) возможны вымывание химических веществ и излишнее повышение концентрации почвенного раствора.

6.3.10.7 В таблице 6.15 приведены значения эффективной ЕКО для некоторых почв с учетом почвенного горизонта и его глубины залегания. Значения ЕКО определены как суммы обменных катионов.

При прочих равных условиях ЕКО возрастает с увеличением рН, содержания гумуса и с увеличением количества илистой фракции и монтмориллонитовых и вермикулитовых минералов в ее составе.

Из таблицы 6.15 видно, что в тундровых, подзолистых и серых лесных почвах максимальные значения эффективной ЕКО свойственны поверхностным органогенным горизонтам – подстилкам.

Т а б л и ц а 6.15 – Емкость катионного обмена в различных почвах [23]

Почва, регион	Горизонт (глубина, см)	ЕКО, мг-экв/кг
Тундровая глеевая суглинистая, остров Вайгач	АО (6–12)	46,1
	ABg (12–17)	13,0
	Ghx1 (18–28)	11,2
	Ghx2 (29–39)	10,4
	BCgh (45–55)	12,09
Слабодерново-подзолистая суглинистая, Республика Коми	О (0–4)	35,6
	АЕ (4–6)	10,0

Окончание таблицы 6.15

Почва, регион	Горизонт (глубина, см)	ЕКО, мг-экв/кг
	Е (6–14)	5,5
	ЕВ (14–25)	6,5
	ЕВ' (25–36)	14,6
	В1 (40–50)	23,7
	В2t (65–75)	26,6
	В3 (90–100)	27,0
	ВС (130–140)	27,8
Подзол иллювиально-железистый на песке, Республика Карелия	О1 (0–2)	64,71
	О2 (2–3)	66,31
	Е (3–7)	7,06
	Вf1 (7–15)	6,03
	Вf2 (30–40)	5,60
	ВС (90–100)	4,68
Серая лесная суглинистая, Воронежская область	О (0–2)	154,7
	АО (2–7)	50,9
	А1 (7–14)	39,7
	АЕ (16–24)	25,2
	В1 (45–67)	34,8
Чернозем типичный на лессовидном суглинке, Республика Башкортостан	А р са (0–20)	34,0
	А1 са (32–42)	27,0
	АВ1са (54–64)	22,0
	В2 са (68–78)	18,0
	В3 са (95–105)	19,0
	ВС са (150–160)	18,0
Слитая почва глинистая, Республика Болгария	А1 (0–22)	53,5
	А1' (22–50)	54,4
	АВ (80–104)	52,3
	Ск (100–130)	49,5
Каштановая легкосуглинистая, г. Минусинск, Красноярский край	А1са (0–10)	17,4
	Вса (20–30)	15,7
	В2са (40–50)	11,4
Солонец лугово-степной тяжелосуглинистый, Ростовская область	АЕ са (0–10)	19,5
	В1tca (11–28)	44,23
	В2са (35–45)	38,41
	Сса (90–100)	24,51

В минеральных горизонтах слабо дифференцированной по содержанию ила тундровой глеевой почвы эффективная ЕКО в целом мало изменяется по профилю, несколько снижаясь от горизонта АВg к горизонту Ghx2 параллельно снижению содержания гумуса. В минеральной толще суглинистой подзолистой почвы вслед за ростом содержания илистой

фракции, представленной почти целиком глинистым материалом, происходит постепенное увеличение ЕКО от элювиального горизонта Е к горизонту В2t.

Песчаный иллювиально-железистый подзол во всех минеральных горизонтах характеризуется более низкими значениями ЕКО по сравнению с суглинистыми подзолистыми почвами вследствие значительно более низкого содержания илистой фракции. В суглинистой серой лесной почве минимальные значения ЕКО свойственны горизонту АЕ, в котором меньше органического вещества, чем в вышележащем горизонте А1, и меньше глинистого материала, чем в нижележащем горизонте В1.

В недифференцированных по содержанию ила черноземах и каштановых почвах значения эффективной ЕКО снижаются с глубиной параллельно уменьшению количества гумуса. В резко дифференцированном по илу профиле солонца максимальная величина ЕКО свойственна горизонту В1tca с наибольшим количеством ила и уменьшается в несколько раз в вышележащем горизонте АЕca, обедненном илистой фракцией.

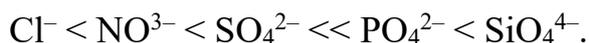
Самые высокие величины эффективной ЕКО во всех горизонтах профиля наблюдаются в слитой почве, что связано с тяжелыми гранулометрическим составом и с преобладанием минералов монтмориллонитовой группы составом илистой фракции.

6.3.10.8 Отдельно оценивается сорбция органическим веществом почв некоторых компонентов нефти – сложной смеси жидких углеводородов, представленных парафинами, нафтенами и ароматическими соединениями, с гетероатомными соединениями, содержащими S, N и O, металлоорганическими соединениями и минеральными солями. При попадании нефти в почву каждая из этих групп веществ взаимодействует с твердой, жидкой и газообразной фазами почвы с участием многообразных реакций и механизмов.

Большое влияние на процесс сорбции оказывает влажность почвы: чем она выше, тем меньше сорбция (см. таблицу 6.16) [23].

В почвенном покрове Земли преобладают почвы, которые способны поглощать анионы в меньшей степени, чем катионы, так как значительная часть сорбционных центров на глинистых минералах и на органическом веществе почв имеет отрицательный заряд, что затрудняет присоединение анионов к одноименно заряженной поверхности.

Совокупное влияние рассмотренных факторов приводит к следующему ряду возрастания прочности связи анионов с твердой фазой почв:



Т а б л и ц а 6.16 – Значения констант сорбции углеводородов образцами торфа и цеолитсодержащей породы [23]

Образец	Сорбат	$V_m$ , мкл/г	$C$	$V_s$ , мкл/г (при $P/P_0 = 0,4$ )
Абсолютно-сухие образцы				
Выщелоченный чернозем	н-октан	7,0	52	11,4
	н-нонан	8,2	47	13,2
	н-декан	7,9	54	12,8
	п-ксилол	11,0	29	17,5
	декалин	6,7	13	10,0
Цеолит-содержащая порода	н-нонан	24	13	35
	н-декан	76	4,4	48
	п-ксилол	62	8	43
Влажность 5 %				
Выщелоченный чернозем	н-нонан	1,4	5	1,8
	п-ксилол	1,7	8	2,4
	декалин	2,8	0,9	1,8
Цеолит-содержащая порода	н-нонан	22	0,8	13,1
<p>Примечание – В настоящей таблице использованы следующие обозначения: <math>V_s</math> – объем вещества, поглощаемый единицей массы сорбента; <math>V_m</math> – объем монослоя сорбата на единицу массы сорбата; <math>C</math> – константа сорбции, характеризующая энергию взаимодействия сорбат–сорбент.</p>				

В зависимости от конкретных условий и почвенных свойств этот ряд может несколько видоизменяться, но основные закономерности проявляются всегда: ионы  $\text{Cl}^-$  и  $\text{NO}_3^-$  наименее прочно удерживаются почвой, формируя внешнесферные комплексы на границе раздела фаз или в диффузном слое. Этот факт необходимо учитывать при использовании противогололедных реагентов [23].

Поскольку почва – не фильтрационная загрузка и заменить ее дорого, целесообразно отслеживать (лабораторным методом) основные характеристики, актуальные для эффективной сорбции: содержание гумуса, рН, ЕКО и состав поглощенных катионов, гранулометрический состав, коэффициент фильтрации и, при необходимости, регулировать эти параметры.

### **6.3.11 Оценка показателей фиторегенерации в биоинженерных сооружениях отвода, предварительной очистки, накопления и хранения сточных вод**

6.3.11.1 Эффективность предварительной очистки поверхностного стока от растворенных НП и ТМ в элементах БИС по сбору и очистке стока зависит от коэффициента фильтрации и сорбционной способности почв, а также от работы фильтрующей загрузки в инфильтрационных емкостях накопления и хранения дождевой воды.

6.3.11.2 Для увеличения способности фильтрующей загрузки извлекать НП и ТМ, находящиеся в растворенной форме, без уменьшения крупности частиц рекомендуется внесение в состав фильтрующей загрузки материалов, обладающих сорбционными и ионообменными свойствами, – торфа и цеолита [26].

При этом в периоды низких температур очистка от растворенных примесей обеспечивается процессами сорбции и ионного обмена на указанных материалах, а в период вегетации растительности (в теплое время года) происходит фито- и биорегенерация фильтрующей загрузки. В этот период происходят поглощение, трансформация, стабилизация и деградация как вновь поступающих, так и накопленных в сорбционном материале веществ под действием растений и почвенных микроорганизмов, развивающихся на фильтрующей загрузке и ризосфере растений. Тем самым осуществляется фиторегенерация торфа и цеолита.

6.3.11.3 В качестве решения по сбору, очистке и хранению очищенного поверхностного стока в целях последующего использования рекомендуется применение инертного КНМ, например, гравия или щебня, располагаемого под фитофильтром. Использование КНМ с водонепроницаемым основанием для хранения очищенных поверхностных сточных вод (ПСВ) дешевле традиционных решений – резервуаров из стали, пластмасс и стеклопластика. Кроме того, данная конструкция не подвержена разрушению при морозном пучении обводненных грунтов и при замерзании воды в межзерновом пространстве.

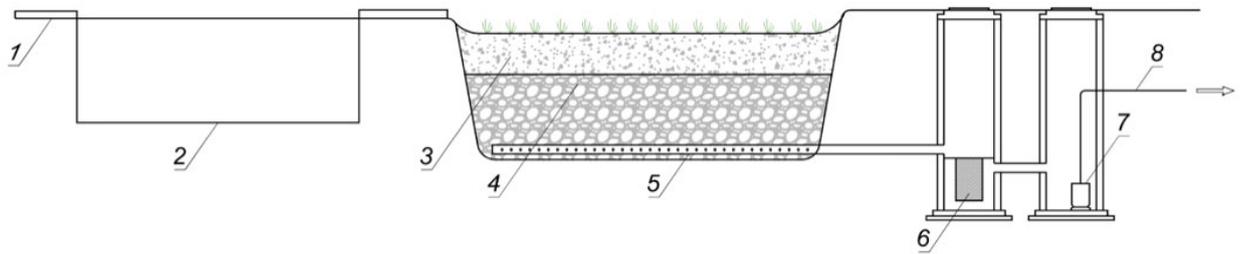
Помимо сорбционных характеристик важным параметром фильтрующей загрузки является ее пропускная способность, определяющая скорость фильтрации при заданном давлении (коэффициент фильтрации).

При благоприятных гидрогеологических условиях очищенный на фитофильтрах поверхностный сток может быть инфильтрован в грунтовые водоносные пласты, что будет способствовать восстановлению естественного гидрологического состояния урбанизированной территории.

6.3.11.4 Типичная схема, включающая этап фитофильтрации и хранения очищенной воды в пустотной крупнозернистой загрузке, представлена на рисунке 6.55.

Этап отстаивания может быть исключен из технологической схемы. При этом необходимо увеличить частоту рыхления и замены верхнего слоя фильтрующей загрузки.

Необходимость наличия сорбционного блока доочистки, выполненного в виде фильтрующего патрона и устанавливаемого в колодец, определяется требованиями потребителя к качеству подаваемой воды.



1 – приемный лоток; 2 – отстойник; 3 – фильтрующая загрузка; 4 – пустотная загрузка; 5 – дренажная система; 6 – безнапорный сорбционный фильтр(опционально); 7 – насос (опционально); 8 – трубопровод подачи воды потребителю

**Рисунок 6.55 – Технологическая схема очистки поверхностного стока с этапом фитофильтрации [26]**

6.3.11.5 Расчет площади фитофильтра  $S_{фф}$  проводят исходя из необходимости накопления объема ливневых вод от расчетного дождя или суточного объема талых вод с канализуемой территории на поверхности фитофильтра слоем не более  $h_{пов}$  и последующего их срабатывания в течение 24 ч:

$$S_{фф} = W_{ос} / h_{пов}, \quad (9)$$

где  $W_{ос}$  – расчетный объем осадков (дождевых или талых вод), подлежащий очистке,  $м^3$ ;

$h_{пов}$  – максимальный слой воды, образующийся на поверхности фитофильтра, принимается равным 0,3 м.

Таким образом, исходя из необходимости срабатывания расчетного объема сточных вод в течение суток, минимальная скорость фильтрации составит

$$v_{min} = \frac{h_{пов}}{24} = \frac{0,3}{24} = 0,0125 \text{ м/ч} (12,5 \text{ мм/ч}). \quad (10)$$

Площадь одного фитофильтра не должна превышать 400  $м^2$ .  
Рекомендуемая конфигурация фильтрующей загрузки (сверху вниз):

100 мм – песок крупный;

300 мм – многокомпонентная загрузка цеолит: торф:песок в соотношении 2:1:7 по объему, 300 мм – песок.

6.3.11.6 Под фильтрующей загрузкой располагаются поддерживающие слои гравия фр. 3–10 мм, фр. 3–20 мм высотой 100 мм каждый. Перфорированные водосборные трубопроводы располагаются в дренажном слое КНМ, например гравия фр. 20–40 мм общей толщиной 400–500 мм.

Высота слоя КНМ  $h_{\text{КНМ}}$  в случае накопления очищенных ПСВ определяется по формуле

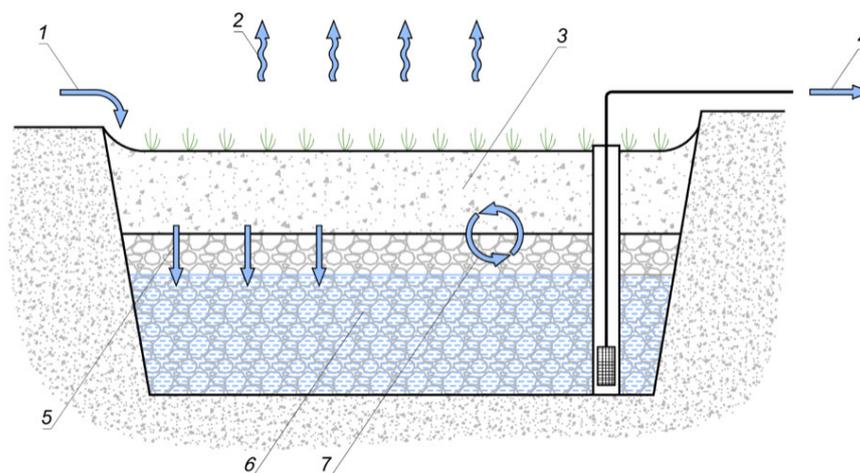
$$h_{\text{КНМ}} = \frac{V_n^{\text{max}} - V_n^{\text{min}}}{S_{\text{фф}} \mu}, \quad (11)$$

где  $\mu$  – водоотдача пустотной загрузки;

$V_n^{\text{max}}$ ,  $V_n^{\text{min}}$  – максимальный и минимальный остаток воды в пустотной загрузке в конце  $n$ -го месяца, определенный по уравнению водного баланса по месяцам.

6.3.11.7 Площадь блока накопления очищенного поверхностного стока с пустотной загрузкой принимают равной площади фильтрующей загрузки. Схема водного баланса фитофильтра представлена на рисунке 6.56.

6.3.11.8 Учитывая вероятностный характер образования атмосферных осадков и объем доступных метеоданных, наиболее рационально рассматривать водный баланс фитофильтра за расчетный период, равный 1 мес.



**Рисунок 6.56 – Водный баланс фитофильтра**

6.3.11.9 В общем виде уравнение водного баланса фитофильтра с непроницаемым основанием за расчетный период времени имеет следующий вид:

$$V_n = W_n + V_{n-1} - Q_n - E_n^{\text{тр}} - E_n^{\text{исп}}, \quad (12)$$

где  $W_n$  – поступление поверхностного стока на фитофильтр за  $n$ -й месяц;

$V_{n-1}$  – остаток воды в пустотной загрузке после предыдущего месяца;

$Q_n$  – водопотребление за  $n$ -й месяц, определяется потребителем;

$E_n^{\text{тр}}, E_n^{\text{исп}}$  – транспирация растениями и испарение с поверхности фильтрующей загрузки за  $n$ -й месяц соответственно.

Поступление поверхностного стока на фитофильтр за  $n$ -й месяц определяется на основании данных о среднемесячных слоях осадков на канализуемой территории с использованием данных ФГБУ «Гидрометцентр России» и с учетом общего коэффициента стока, определенного по [9]. Унос воды из системы, помимо сброса или подачи потребителю, происходит несколькими путями: через испарение с поверхности почвы, транспирацию растениями, испарение влаги, задержанной стеблями и листьями растений [25].

Оценка величины суммарного испарения с поверхности фитофильтра является сложной задачей. Скорость испарения зависит от многих факторов: температуры воздуха, скорости ветра, дефицита влажности воздуха и атмосферного давления. Немалую роль при испарении играют также свойства почвы (рыхлость, цвет, влажность), рельеф и др. По мере снижения влажности почвы скорость испарения уменьшается до определенного предела, величина которого определяется свойствами почвы. Учет всех указанных параметров при определении величины суммарного испарения с поверхности фитофильтра не представляется возможным, поэтому для его вычисления принимается упрощенная методика [10], разработанная для расчета гидрологических характеристик техногенно-нагруженных территорий.

6.3.11.10 Срок эксплуатации фитофильтра до замены многокомпонентной сорбционной загрузки определяют путем расчета времени до начала проскока каждого загрязнения при фильтрации через фильтрующую загрузку слоем  $h_{сф}$ , т. е. достижения сорбционным фронтом низа фильтрующего слоя. Положение сорбционного фронта  $i$ -го загрязнения  $h_{сф_i}$ , отсчитываемое от верха фильтрующей загрузки, в момент времени  $t$  может быть определено по формуле

$$h_{сф_i} = U_i t, \quad (13)$$

где  $U_i$  – скорость движения сорбционного фронта  $i$ -го загрязнения, м/ч;  
 $t$  – продолжительность фильтрации, ч.

Скорость движения сорбционного фронта определяют по формуле

$$U_i = \frac{C_{0_i} v}{E_{p_i} \rho_{фз}}, \quad (14)$$

где  $C_{0_i}$  – начальная концентрация  $i$ -го загрязняющего вещества, г/м<sup>3</sup>;  
 $v$  – скорость прохождения раствора через сорбент, м/ч;  
 $E_{p_i}$  – сорбционная емкость фильтрующей загрузки по  $i$ -му загрязняющему

веществу, г/г (кг/кг);

$\rho_{\text{фз}}$  – насыпная плотность адсорбента, г/м<sup>3</sup>.

6.3.11.11 Продолжительность фильтрации при работе фитофильтра в течение  $N$  лет можно определить по формуле

$$t_N = \frac{W_{\text{год}}}{S_{\text{фф}} \nu} N. \quad (15)$$

Тогда

$$h_{\text{сф}_i}(N_i) = \frac{C_{0_i} \nu}{E_{p_i} \rho_{\text{фз}}} \cdot \frac{W_{\text{год}}}{S_{\text{фф}} \nu} \cdot N_i = \frac{C_{0_i} W_{\text{год}}}{E_{p_i} \rho_{\text{фз}} S_{\text{фф}}} \cdot N_i. \quad (16)$$

6.3.11.12 Концентрацию загрязняющего вещества в поверхностном стоке можно представить в следующем виде

$$C_{0_i} = \frac{m_{\text{год}_i}}{W_{\text{год}}}, \quad (17)$$

где  $m_{\text{год}_i}$  – масса  $i$ -го загрязняющего вещества, поступившего на фитофильтр за год, кг.

Тогда

$$h_{\text{сф}_i}(N_i) = \frac{\frac{m_{\text{год}_i}}{W_{\text{год}}} W_{\text{год}}}{E_{p_i} \rho_{\text{фз}} S_{\text{фф}}} \cdot N_i = \frac{m_{\text{год}_i}}{E_{p_i} \rho_{\text{фз}} S_{\text{фф}}} \cdot N_i. \quad (18)$$

С учетом процесса фиторегенерации годовая масса загрязняющего вещества в фильтрующей загрузке может быть выражена по формуле

$$m_{\text{год}_i} = m_{\text{ПСВ}_i} - m_{\text{ФР}_i}, \quad (19)$$

где  $m_{\text{ПСВ}_i}$  – масса  $i$ -го загрязняющего вещества, поступившая на фитофильтр с ПСВ в течение года, кг;

$m_{\text{ФР}_i}$  – масса  $i$ -го загрязняющего вещества, извлеченная из загрузки за счет процесса фиторегенерации в течение года (вегетационного периода), кг

$$m_{\text{ПСВ}_i} = \sum_n (C_{0_i} - C_{\text{К}_i}(t_n^0)) V_n, \quad (20)$$

где  $C_{0_i}$  – начальная концентрация  $i$ -го загрязняющего вещества, г/м<sup>3</sup>;

$C_{\text{К}_i}(t_n^0)$  – выходная концентрация  $i$ -го загрязняющего вещества при  
среднемесячной температуре  $t_n^0$  в  $n$ -й месяц;

$V_n$  – объем поверхностного стока, образующийся в  $n$ -й месяц, м<sup>3</sup>.

$$m_{\text{ФР}_i} = R_i k \rho_{\text{ФЗ}} V_{\text{ФЗ}_{\text{сорб}}} = R_i k \rho_{\text{ФЗ}} h_{\text{сФ}_i} S_{\text{ФФ}}. \quad (21)$$

где  $R_i$  – скорость фиторегенерации  $i$ -го загрязнения ПСВ, мг/(кг·мес),  
принимается согласно таблице 6.17;

$k$  – период вегетации растений в течение года, мес;

$\rho_{\text{ФЗ}}$  – насыпная плотность многокомпонентной фильтрующей загрузки,  
кг/м<sup>3</sup>;

$V_{\text{ФЗ}_{\text{сорб}}}$  – объем фильтрующей загрузки, участвующей в процессе сорбции, м<sup>3</sup>;

$h_{\text{сФ}_i}$  – положение сорбционного фронта относительно верха фильтрующей  
загрузки, м.

Т а б л и ц а 6.17 – Скорость фиторегенерации НП и ТМ высшими водными растениями

Вид растения	Скорость фиторегенерации $R_i$ , мг/(кг·мес)					
	НП	Cu	Al	Pb	Fe	Zn
Ирис болотный	137,27	8,33	4,39	2,83	7,77	10,93
Тростник обыкновенный	249,3	2,0	2,85	0,58	7,67	2,97
Рогоз широколиственный	192,41	–	–	–	–	1,87

6.3.11.13 При подстановке последних трех выражений в формулу для  
расчета  $h_{\text{сФ}_i}$  получают

$$h_{\text{сф}_i} = \frac{\Delta C_{\text{ПСВ}_i} W_{\text{год}} - R_i k \rho_{\text{фз}} h_{\text{сф}_i} S_{\text{фф}}}{E_{p_i} \rho_{\text{фз}} S_{\text{фф}}} N_i, \quad (22)$$

6.3.11.14 Начало проскока загрязнений через фитофильтр произойдет при достижении сорбционного фронта низа многокомпонентной фильтрующей загрузки, т. е. при  $h_{\text{сф}_i} = h_{\text{фз}}$ , тогда

$$N_i = \frac{E_{p_i} \rho_{\text{фз}} h_{\text{сф}_i} S_{\text{фф}}}{\sum_n (C_{0_i} - C_{\text{к}_i}(t^n)) V_n - R_i k \rho_{\text{фз}} h_{\text{сф}_i} S_{\text{фф}}}. \quad (23)$$

6.3.11.15 Рыхление или замену верхнего слоя фильтрующей загрузки проводят при снижении скорости фильтрации до минимально допустимого значения 12,5 мм/ч, определенного из условия срабатывания слоя ПСВ 300 мм на поверхности фитофильтра в течение 24 ч.

Периодичность рыхления или замены  $N_v$  лет определяется с учетом экспериментально полученной зависимости скорости фильтрации от задержанной массы веществ и восстановления пропускной способности под действием фиторегенерации.

6.3.11.16 Зависимость скорости фильтрации от массы поступивших на фитофильтр ВВ определяют по формуле

$$v(m_{\text{удВВ}}) = v_0 - \alpha m_{\text{удВВ}}, \quad (24)$$

где  $v(m_{\text{удВВ}})$  – скорость фильтрации;

$v_0$  – начальная скорость фильтрации через фитофильтр, 300 мм/ч;

$m_{\text{удВВ}}$  – удельная масса ВВ, поступивших на фитофильтр, г/м<sup>2</sup>;

$\alpha$  – экспериментально полученный коэффициент,  $\alpha = 0,022$ .

6.3.11.17 Массу ВВ, поступивших на фитофильтр за  $N$  лет, определяют по формуле

$$m_{\text{удВВ}} = \frac{\Delta C_{\text{ВВ}} W_{\text{год}}}{S_{\text{фф}}} N_v, \quad (25)$$

где  $\Delta C_{\text{ВВ}}$  – разница начальной и конечной концентрации ВВ в ПСВ после фильтрации, мг/л.

6.3.11.18 Годовой эффект фиторегенерации  $\Delta v_{\text{фр}}$ , мм/ч, определяют по формуле

$$\Delta v_{\text{фр}} = R_v v_0. \quad (26)$$

6.3.11.19 При подстановке формул (25) и (26) в формулу для определения  $v (m_{\text{удВВ}})$  скорость фильтрации через  $N_v$  лет составит

$$v_N = v_0 - \frac{\Delta C_{\text{ВВ}} W_{\text{год}}}{S_{\text{фф}}} N_v + R_v v_0 N_v. \quad (27)$$

6.3.11.20 Преобразовав последнюю формулу и приравняв  $v_n = v_{\text{min}}$ , получают выражение

$$N_v = \frac{v_0 - v_{\text{min}}}{\frac{\alpha \Delta C_{\text{ВВ}} W_{\text{год}}}{S_{\text{фф}}} - R_v v_0}. \quad (28)$$

6.3.11.21 Через определенное расчетом количество лет до достижения минимально допустимой скорости фильтрации проводят замену верхнего слоя песка толщиной 100 мм.

6.3.11.22 Таким образом, расчет фитофильтра, усиленного многокомпонентной сорбционной загрузкой, проводят по трем основным формулам [26].

Площадь фитофильтрации оценивают по формуле (9).

Срок эксплуатации фитофильтра до замены многокомпонентной сорбционной загрузки определяют по формуле

$$N_i = \frac{E_{p_i} \cdot \rho_{\text{фз}} \cdot h_{\text{сф}} \cdot S_{\text{фф}}}{\sum_n (C_{0_i} - C_{\text{к}_i}) \cdot V_{\Gamma} - R_i \cdot k_{\text{в}} \cdot \rho_{\text{фз}} \cdot h_{\text{сф}} \cdot S_{\text{фф}}} \quad (29)$$

где  $E_{p_i}$  – полная сорбционная и ионообменная емкость фильтрующей загрузки по  $i$ -му загрязняющему веществу;

$\rho_{\text{фз}}$  – насыпная плотность многокомпонентной загрузки;

$h_{\text{сф}}$  – мощность слоя многокомпонентной загрузки;

$S_{\text{фф}}$  – площадь фитофильтра, м<sup>2</sup>;

$C_{0_i}$  – начальная концентрация  $i$ -го загрязняющего вещества в ПСВ;

$C_{\text{к}_i}$  – конечная концентрация  $i$ -го загрязняющего вещества в ПСВ;

$V_{\Gamma}$  – годовой объём ПСВ, принимаемый фиточистителем;

$R_i$  – скорость фиточистоты  $i$ -го загрязняющего вещества растениями;

$k_{\text{в}}$  – период вегетации растений в течение года.

Сорбционная и ионообменная ёмкость многокомпонентной фильтрующей загрузки в динамических условиях составляет по: НП – 11,42 мг/г; Cu – 0,093 мг/г; Al – 0,132 мг/г; Pb – 0,201 мг/г; Fe – 0,293 мг/г; Zn – 0,171 мг/г.

Скорость фиточистоты фильтрующей загрузки от ТМ и НП разными растениями составляет:

- ирис болотный: Cu – 8,33 мг/(кг·мес), Al – 4,39 мг/(кг·мес), Pb – 2,83 мг/(кг·мес), Fe – 7,77 мг/(кг·мес), Zn – 10,93 мг/(кг·мес), НП - 137,27 мг/(кг·мес);

- тростник обыкновенный: Cu – 2,00 мг/(кг·мес), Al – 2,85 мг/(кг·мес), Pb – 0,58 мг/(кг·мес), Fe – 7,67 мг/(кг·мес), Zn – 2,97 мг/(кг·мес), НП - 249,3 мг/(кг·мес).

Периодичность замены верхнего песчаного слоя фильтрующей загрузки определяют по формуле (28).

6.3.11.23 Помимо замены верхнего (песчаного) слоя фильтрующей загрузки эксплуатация фиточистителя включает:

- прополку для удаления сорных растений и поддержания плотности посадки высших водных растений на постоянном уровне 8–10 раст./м<sup>2</sup> – два раза в год;

- рыхление фильтрующей загрузки ручным инструментом – один раз в год;

- скашивание и утилизация надземной фитомассы – один раз в год.

Рекомендуемый график работ по эксплуатации фиточистителя приведен в таблице 6.18.

Таблица 6.18 – Рекомендуемый график эксплуатации фиточисточного сооружения по месяцам в течение года [26]

№	Месяц	Перечень работ
5	Май	Высадка растений. Первая прополка
6	Июнь	Контроль пропускной способности фиточисточника
7	Июль	Вторая прополка
8	Август	Визуальный осмотр
9	Сентябрь	Контроль пропускной способности фиточисточника
10	Октябрь	Скашивание фитомассы. Рыхление/замена верхнего слоя фильтрующей

Эффективность очистки на фиточисточном сооружении составляет: от ВВ – 98 %, НП – 97 %, Сu – 98 %, Аl – 83 %, Рb – 76 %, Fe – 92 %, Zn – 80 %.

6.3.11.24 При расчетах необходимо учитывать, что оптимальной скоростью фильтрации поверхностного стока фиточисточником является 0,3 м/ч при уровне жидкости над загрузкой 300 мм. Накопленный слой жидкости над поверхностью фиточисточника должен быть сработан не более чем за 24 ч. Таким образом, минимальная скорость фильтрации составляет 12,5 мм/ч. Наибольшее соответствие гранулометрического состава фильтрующей загрузки существующим рекомендациям наблюдается при объемном соотношении компонентов: торфа – 10 % – 20 %, цеолита – 20 % – 40 %, песка – 50 % – 70 %. Экспериментально определенный коэффициент фильтрации загрузки с таким составом находится в диапазоне от 230 до 380 мм/ч при объемной доле цеолита от 20 % до 40 % соответственно.

6.3.11.25 С учетом высокой сорбционной способности многокомпонентной загрузки вклад растений и микроорганизмов в процесс очистки во время фильтрации оказался незначительным, что связано с высокой скоростью прохождения физико-химических процессов сорбции и ионного обмена на фильтрующей загрузке по сравнению с биохимическими процессами, проходящими с участием растений и ризосферных

микроорганизмов. Однако скорости фиторегенерации фильтрующей загрузки под воздействием высших растений следует учитывать.

Как показано выше эффективность извлечения (загрязняющих веществ) поллютантов из фильтрующей загрузки и скорость восстановления пропускной способности загрузки растениями уменьшается в ряду: ирис болотный – тростник обыкновенный – рогоз широколистный. В качестве растений для фитофильтров могут быть рекомендованы ирис болотный и тростник обыкновенный.

При задержании массы ВВ, эквивалентной удельному годовому количеству, не произошло падение пропускной способности ниже предельного значения 12,5 мм/ч. Таким образом, периодичность рыхления или замены верхнего слоя фильтрующей загрузки для восстановления пропускной способности составит не менее одного года.

Рекомендуются ежегодные скашивание и утилизация фитомассы растений в конце каждого вегетационного периода с учетом возможного накопления ТМ. Биомасса надземной части растений после фиторегенерации имеет 4-й класс опасности по ГОСТ 12.1.007 по степени негативного воздействия на окружающую среду и может быть утилизирована на полигонах ТКО без дополнительной обработки.

## Библиография

[1] Федеральный закон от 3 июня 2006 г. № 74-ФЗ «Водный кодекс Российской Федерации»

[2] Федеральный закон от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды»

[3] Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 13 декабря 2016 г. № 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения» (зарегистрирован в Министерстве юстиции Российской Федерации 13 января 2017 г., регистрационный № 45203)

[4] Приказ Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 17 октября 2014 г. № 639/пр «Об утверждении Методических указаний по расчету объема принятых (отведенных) поверхностных сточных вод» (Зарегистрирован в Министерстве юстиции Российской Федерации 24 февраля 2015 г. регистрационный № 36194)

[5] ГН 2.1.5.1315–03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования

[6] Методические рекомендации по применению свода правил «Улицы и дороги населенных пунктов» – М.: ФАУ ФЦС Минстроя России, 2017. – 789 с.

[7] Методические рекомендации по сбору инженерно-геологической информации и использованию табличных геотехнических данных при проектировании земляного полотна автомобильных дорог. М.: Союздорпроект, 1981. – 53 с.

[8] ОДМ 218.8.005-2014. Методические рекомендации по содержанию очистных сооружений на автомобильных дорогах

[9] Рекомендации по расчету систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока с селитебных территорий, площадок предприятий и определению условий выпуска его в водные объекты / Федеральное агентство Российской Федерации по строительству и жилищно-коммунальному хозяйству (РОССТРОЙ). ФГУП «НИИ ВОДГЕО». М.: Изд-во ВСТ, 2006. – 62 с.

[10] СТП ВНИИГ 210.01.НТ\*–2010 Методика расчета гидрологических характеристик техногенно-нагруженных территорий

[11] Аполлов Б.А., Калинин Г.П., Комаров В.Д. Курс гидрологических прогнозов: учебник. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 419 с.

[12] Герасимова М.И., Строганова М.Н., Можарова Н.В., Прокофьева Т.В. Антропогенные почвы: генезис, география, рекультивация: учебное пособие. Смоленск: Ойкумена, 2003. – 268 с.

[13] Евгеньев И.Е. Строительство автомобильных дорог через болота. М.: Транспорт, 1968. – 220 с.

[14] Каталог 1. Элементы и узлы открытых пространств / АО «Дом РФ», КБ Стрелка. – М.: КБ Стрелка, 2019

[15] Мелехин А.Г., Щукин И.С. Анализ существующих биоинженерных сооружений очистки поверхностного стока и возможности их применения в условиях Западного Урала // Вестник ПНИПУ. – Строительство и архитектура. – 2013. – № 2. – С. 40–50

[16] Мелехин А.Г., Щукин И.С. Применение биоинженерных сооружений для очистки ливневых и талых вод с урбанизированных территорий // Вестник ПНИПУ. – Строительство и архитектура. – 2012. – № 1. – С. 122–131

[17] Основания, фундаменты и подземные сооружения / Е.А. Сорочан, Ю.Г. Трофименков – М.: Книга по Требованию, 2013. – 480 с.

[18] Отчет НИР «Развитие научной методологии риск-менеджмента комплексной безопасности объектов и технологий автотранспортного комплекса» (государственное задание) по проекту 7.1588.2011 в рамках 162

аналитической ведомственной целевой программы. Заказчик – Министерство науки и высшего образования Российской Федерации. Научный руководитель – д-р техн. наук, проф. Трофименко Ю.В. – М.: МАДИ, 2013. – 175 с.

[19] Патент RU 2558213 Российской Федерации, МПК E03F1/00, E01H15/00, C02F1/56, Способ очистки загрязненного поверхностного стока с дорожного полотна автомобильных дорог / Трофименко Ю.В., Литманович А.А., Григорьева Т.Ю., Миненков Н.И. Патентообладатель – МАДИ

[20] Почвоведение: учебник для университетов. В 2-х ч. / под ред. В.А. Ковды, Б.Г. Розанова. Ч. 1. Почва и почвообразование / Г.Д. Белицина, В.Д. Васильевская, Л.А. Гришина и др. – М.: Высшая школа, 1988. – 405 с.

[21] Роуэлл Д.Л. Почвоведение: методы и использование / пер. с англ. Е.К. Кубиковой; под ред. и с предисл. Б.Н. Золотаревой. М.: Колос, 1998. – 486 с.

[22] Смирнов П.М., Муравин Э.А. Агрехимия. М.: Колос, 1977. 238 с. (Учебники и учеб. пособия для высш. с.-х. учеб. заведений)

[23] Соколова Т.А., Трофимов С.Я. Сорбционные свойства почв. Адсорбция. Катионный обмен: учебное пособие по некоторым главам химии почв. Тула: Гриф и К, 2009. – 172 с.

[24] Щеголькова Н.М., Диас В., Криксунов Е.А., Рыбка К.Ю. Фитосистемы для очистки сточных вод: современное решение экологических проблем // Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. – 2015. – № 2. – С. 46–55

[25] Щукин И.С. Водный баланс фитофильтров для очистки, хранения и использования дождевых и талых вод с урбанизированных территорий // Вестник ПНИПУ. – Строительство и архитектура. – 2015. – № 2. – С.192–204

[26] Щукин И.С. Очистка поверхностных сточных вод с применением фитофильтров: дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.04 / Пермский нац. исслед. политехн. ун-т. Пермь, 2019. – 177 с.

URL: [http://mgsu.ru/science/Dissoveti/Zashita\\_dissert/schukin-igor-sergeevich/](http://mgsu.ru/science/Dissoveti/Zashita_dissert/schukin-igor-sergeevich/) (дата обращения 30.06.2019)

[27] Шукин И.С., Авдеева М.А., Галкина А.А., Луферчик Я.С. Выбор растений для фитофильтров очистки поверхностных сточных вод // Вестник ПНИПУ. – Строительство и архитектура. – 2014. – № 1. – С. 200–209

[28] Болотный ирис.

<https://usadba.com.ru/product/iris-zheltyj-vodnyj>

[29] Болотный ирис.

<https://yandex.by/collections/card/5950b729be1d77fb4f56119c/?torec=1>

[30] Ива белая / Справочник растений.

<http://www.landscape.ru/plant/salix/alba>

[31] Ива козья // UDEC. Декоративный сад: издание для садоводов.

<http://www.udec.ru/derevo/iva-koziya.php>

[32] Тростник обыкновенный

<https://yandex.ru/search/?clid=2186621&text=phragmites%20communis&lr=213&redircnt=1562348423.1>

[33] Электронная версия Национального атласа почв Российской Федерации.

<https://soilatlas.ru/sorbcionnye-funkcii-pochv>

[34] ACO StormBrixx.

<http://www.stormbrixx.ru>

[35] Choi, Yea Lim, "Public Stormwater Management with Green Streets." Master's Thesis, University of Tennessee, 2016.

[http://trace.tennessee.edu/utk\\_gradthes/4028](http://trace.tennessee.edu/utk_gradthes/4028)

[36] Complete Streets Design Guide. CITY OF LOS ANGELES. USA

[37] COREgravel Design & Install Guide.

[https://www.coregravel.ca/site/assets/files/1016/core\\_gravel\\_design\\_install\\_guide.pdf](https://www.coregravel.ca/site/assets/files/1016/core_gravel_design_install_guide.pdf)

[38] Grass & Ground Reinforcement Solutions. TERRAM

[https://www.tdj.dk/files/GrsarmeringTDJ\\_Jan\\_2013.pdf](https://www.tdj.dk/files/GrsarmeringTDJ_Jan_2013.pdf)

[39] GRASS, GROUND & GRAVEL REINFORCEMENT/

<https://www.grassreinforcement.com.au/pdf/Grass-Reinforcement-2017.pdf>

[40] Green City, Clean Waters Green Infrastructure Maintenance Manual. By The Philadelphia Water Department Date June 1, 2014

[41] Green Infrastructure Planning Design Guidelines. Prepared for Monroe County with funds provided by the Finger Lakes – Lake Ontario Watershed Protection Alliance with support of the Executive Committee of the Stormwater Coalition of Monroe County. September 2016

[42] Green Infrastructure Stormwater Management Practices for Small Commercial Development. CITY OF ATLANTA STORMWATER GUIDELINES. Prepared for CITY OF ATLANTA, GEORGIA DEPARTMENT OF WATERSHED MANAGEMENT. APRIL 2014

[43] Green Stormwater Infrastructure Planning & Design Manual Version 1.0 September 2016. Philadelphia, USA

[44] Green Streets. Conceptual guide to effective Green Streets design solutions. EPA-833-F-09-002 | August 2009

[45] Jeffrey Harlan. The Siren's Call of Urban Stormwater.

<http://greatecology.com/author/sarah/page/25>

[46] NZWERF (2004). On-Site Stormwater Management Guideline. New Zealand Water Environment Research Foundation. Wellington, New Zealand

[47] Pervious pavement winter performance. State-of-the-Art and recommendations for Finnish winter conditions. Research report VTT-R-08223-13. Finland. 2014. 29 p.

[48] Stormwater Retrofit Guidance Manual. Philadelphia Water

[49] Toronto Complete Streets Guidelines. Canada

[50] Water Sensitive Urban Design A Guide For WSUD Stormwater Management in Wellington

[51] Yang, Bo; Zhang, Yue; and Blackmore, Pamela, "Charles City Permeable Streetscape Phase I Landscape Performance Benefits Assessment" (2012). Landscape Architecture and Environmental Planning Faculty Publications. Paper 139.

[https://digitalcommons.usu.edu/laep\\_facpub/139](https://digitalcommons.usu.edu/laep_facpub/139)

---

Ключевые слова: водоотведение, улично-дорожная сеть, дренаж, дождевой сад, канализация, градостроительство

---

Руководитель организации-разработчика  
ЗАО «ПРОМТРАНСНИИПРОЕКТ»

Исполнительный  
директор

А.Ю. Эглескалн

Руководитель  
разработки

Зам. директора по науке

Л.А. Андреева

Исполнитель

Начальник отдела  
Комплексных исследований,  
стандартизации  
и логистического  
сопровождения проектов

И.П. Потапов