

Обзор существующих методов расчета объема поверхностных сточных вод

Качан А.П.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель Колобаев А.Н., д.т.н., профессор

Статья систематизирует методы расчета объема поверхностных сточных вод. Рассмотрены гидрологические подходы, статистико-вероятностные модели и современное имитационное моделирование. Выявлено, что точность расчетов зависит от масштаба проекта, качества данных и интеграции технологий. Практические рекомендации включают комбинацию методов для оптимизации мощности очистных сооружений и учета экстремальных осадков.

Рост урбанизации и изменение климата являются основными факторами увеличения объема поверхностных сточных вод. Некорректный расчет объема поверхностных сточных вод имеет как экологические (загрязнение водоемов), так и экономические (завышение проектной мощности или перегруз очистных сооружений) последствия.

Для расчета объема поверхностных сточных вод применяются различные методики, учитывающие климатические, гидрологические и технические факторы. Основные из них:

1. Гидрологические методы расчета объема поверхностных сточных вод.

Гидрологические методы являются основой для определения объема поверхностных сточных вод, особенно в условиях отсутствия детальных данных о дренажных системах. Эти подходы опираются на анализ характеристик водосборных территорий, осадков и свойств почвы. Ниже рассмотрены три метода: метод предельной интенсивности, рациональный метод и метод *SCS (Soil Conservation Service)*.

1.1 Метод предельной интенсивности [1, с. 18–21] дождя учитывает период повторяемости дождей и их продолжительность. Используются данные метеорологических наблюдений и расчетный расход определяется по формуле:

$$q_r = k \cdot \frac{Z_{mid} \cdot A^{1,2} \cdot F}{t_r^{1,2n-0,1}}$$

где k – коэффициент, учитывающий снижение расхода при расчетной продолжительности протекания дождевых вод менее 10 мин; Z_{mid} – среднее значение коэффициента, характеризующего поверхность бассейна стока; A – параметр, определяемые по данным ближайших метеорологических станций или расчетным методом; F – расчетная площадь стока, га; t_r – расчетная продолжительность дождя, равная продолжительности протекания поверхностных вод по поверхности и трубам до расчетного участка, мин; n – параметр, определяемые по данным ближайших метеорологических станций.

Метод предельной интенсивности используется на территории Республики Беларусь и Российской Федерации [2, с. 21–25].

1.2 Рациональный метод [3, с.15] используется для оценки пикового расхода дождевых вод. Данный метод является одним из старейших и наиболее простых способов расчета пикового расхода поверхностных стоков. Данный метод предполагает, что пиковый расход стока прямо пропорционален коэффициенту стока, интенсивности осадков и площади водосбора.

К преимуществам метода можно отнести простоту расчетов и минимальные требования к данным. Однако данный метод не учитывает временное распределение осадков и инфильтрацию в почву и неточен для сложных ландшафтов с разнородными поверхностями.

1.3. Метод *SCS (Soil Conservation Service)* [4], разработан Министерством сельского хозяйства США, учитывает тип почвы, ее влажность и характер землепользования

Данный метод позволяет учитывать степень инфильтрации и неоднородности почвы, а также может применяться не только для урбанизированных территориях, но и для сельской местности. В тоже время он менее точен для экстремальных осадков и требует детальных данных о почве и землепользовании.

2. Вероятностные и статистические методы

Расчет объема поверхностных сточных вод требует учета множества случайных факторов: интенсивности осадков, неравномерности их распределения во времени и пространстве, а также изменчивости характеристик водосборных территорий. Статистические и вероятностные методы позволяют формализовать эту неопределенность, обеспечивая прогнозирование стоков с заданной надежностью. Эти подходы особенно актуальны в условиях роста экстремальных погодных явлений, вызванных климатическими изменениями, и необходимости оптимизации работы очистных сооружений.

2.1. Анализ исторических данных осадков

Основой для прогнозирования стоков служат исторические данные о количестве и интенсивности осадков. Статистическая обработка таких данных включает:

- 1) выбор репрезентативного временного ряда. Данные за 20 – 30 лет позволяют учесть естественную климатическую изменчивость.
- 2) применение статистических распределений. Для моделирования экстремальных событий используются:
 - распределение Гумбеля;
 - гамма-распределение;
 - расчет повторяемости событий.

2.2. Вероятностное моделирование методом Монте-Карло

Метод Монте-Карло применяется для оценки неопределенностей в расчетах, связанных с изменчивостью входных параметров (например, коэффициента стока, проницаемости почвы). Алгоритм включает:

- 1) генерация случайных значений параметров на основе их статистических распределений;
- 2) многократный расчет объема стоков для каждого набора значений;
- 3) построение вероятностных кривых, например, функции плотности распределения объема стоков.

Статистические и вероятностные методы обеспечивают гибкость в прогнозировании поверхностных стоков, особенно в условиях неопределенности. Однако успешное применение этих подходов требует качественных данных и междисциплинарного сотрудничества гидрологов, статистиков и климатологов.

3. Моделирование объема поверхностных сточных вод.

Моделирование является ключевым инструментом для прогнозирования и анализа поверхностных стоков, особенно в условиях сложных урбанизированных систем. Оно позволяет учесть динамические факторы, такие как изменение интенсивности осадков, рельефа местности и характеристик дренажной инфраструктуры. Современные методы моделирования сочетают гидрологические принципы, геоинформационные технологии (ГИС) и искусственный интеллект, обеспечивая высокую точность расчетов. Используются специальные программные комплексы для моделирования, например, *SWMM* (динамическое моделирование ливневых стоков), *MIKE URBAN*. Однако успех зависит от качества данных, междисциплинарного подхода и адаптации методов к локальным условиям.

Расчет объема поверхностных сточных вод остается критически важной задачей в условиях роста урбанизации, климатических изменений и ужесточения экологических требований. Проведенный анализ методов

позволил более подробно рассмотреть следующие из них, с целью разработки решений по их применению.

1. Гидрологические методы (метод предельных интенсивностей, рациональный метод, *SCS*) обеспечивают базовые расчеты, но их точность ограничена для сложных территорий. Они эффективны для малых проектов и предварительной оценки.

2. Статистические и вероятностные подходы (анализ исторических данных, метод Монте-Карло) позволяют формализовать неопределенность и адаптироваться к экстремальным событиям, однако требуют репрезентативных данных.

3. Моделирование (*SWMM*, *MIKE URBAN*, *AI*-инструменты) демонстрирует наивысшую точность за счет учета динамических процессов, но сопряжено с затратами на данные и вычислительные ресурсы.

В заключение, выбор метода расчета объема сточных вод должен основываться на балансе между точностью, доступностью данных и ресурсами. Современные технологии открывают новые возможности, но их успешное внедрение требует междисциплинарного подхода, объединяющего усилия гидрологов, экологов, климатологов и *IT*-специалистов. Только так можно обеспечить эффективную защиту водных ресурсов и инфраструктуры в условиях глобальных вызовов XXI века.

Литература

1. СН 4.01.02-2019 Канализация. Наружные сети и сооружения – Минск: Минстройархитектуры, 2020. – 89 с.

2. СП 32.13330.2018. Канализация. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.03-85 – М.: Стандартинформ, 2019. – 78 с.

3. Use of the Rational and Modified Rational Methods for TxDOT // [Электронный ресурс] - Режим доступа: https://library.ctr.utexas.edu/hostedpdfs/techmrt_0-6070-1.pdf (дата обращения 10.05.2025).

4. Konstantinos X. Soulis Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN) Method: Current Applications, Remaining Challenges, and Future Perspectives // [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://doi.org/10.3390/w13020192> (дата обращения 11.05.2025).