



**охрана
окружающей
природной
среды**

М. А. Никаев

**Совершенствование
проектирования
водоотводящих
сетей**

Стройиздат

М.А. Никаев, канд. техн. наук

Совершенствование проектирования водоотводящих сетей



Москва Стройиздат 1984

ББК 38.761.2.
Н 62
УДК 628.2

Печатается по решению секции литературы по инженерному оборудованию редакционного совета Стройиздата

Рецензент — инж **Н. М. Григоров** (Гипрокоммуводоканал)

Никаев М. А.

Н 62 Совершенствование проектирования водоотводящих сетей.— М : Стройиздат, 1984 —48 с , ил — (Охрана окружающей природной среды)

Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований условий работы действующих сетей систем водоотведения. Обоснованы новые расчетные параметры, обеспечивающие улучшение условий работы этих сетей и снижение трудовых затрат на их эксплуатацию. Дана технико-экономическая оценка сетей, рассчитанных по рекомендуемым параметрам.

Для инженерно-технических и научных работников проектных и научно-исследовательских организаций а также служб эксплуатации

Н 3206000000—484 28—84
047(01)—84

ББК 38.761.2
6С9.3

© Стройиздат, 1984

ПРЕДИСЛОВИЕ

Решениями XXVI съезда КПСС, а также последующих Пленумов ЦК КПСС определено общее направление единой технической политики в строительстве на основе ускорения научно технического прогресса. Большое внимание уделено вводу в действие и освоению новых производственных мощностей путем улучшения проектирования и организации строительного производства, а также снижения стоимости строительства. Вместе с этим поставлены задачи повышения эффективности использования трудовых и материальных ресурсов, существенного сокращения удельного веса ручного труда в производстве, охраны окружающей природной среды. Эти задачи весьма актуальны и для систем водоотведения населенных пунктов, на развитие которых в одиннадцатой пятилетке выделены огромные средства.

Непрерывно возрастающие масштабы строительства систем водоотведения в связи с решением социально-экономических задач и повышением благоустройства населенных пунктов, а также неизбежный рост расходов на охрану окружающей природной среды вызывают необходимость отвлечения на обслуживание этих систем значительных трудовых ресурсов. При существующем уровне обслуживания сооружений систем водоотведения, особенно трубопроводов, трудно рассчитывать на приток необходимой рабочей силы, учитывая общую нехватку трудовых ресурсов в народном хозяйстве. Снижение уровня трудовых затрат на обслуживание водоотводящих сетей имеет и социальное значение, поскольку направлено на решение задачи уменьшения доли неквалифицированного труда в народном хозяйстве.

Основная часть трудовых затрат на обслуживание водоотводящих сетей связана с устранением засоров и профилактическими прочистками трубопроводов от осадка. В связи с этим наряду с механизацией таких работ, необходимо путем соответствующих инженерных решений добиваться уменьшения вероятности образования засоров и улучшения условий самоочищения трубопроводов систем водоотведения.

Вместе с тем существующая методика проектирования сетей не полностью учитывает современные принципы градостроительства и требования по санитарной надежности систем водоотведения.

Проектирование водоотводящих сетей с учетом условий их работы в будущем и приближение расчетных и проектных данных к действительным условиям, обеспечивающим нормальную эксплуатацию сетей, уменьшат эксплуатационные расходы, достигающие по городам СССР нескольких миллионов рублей в год. Только по Москве на эксплуатацию системы водоотведения (5300 км сетей) требуется около 28 млн руб. в год.

Автором поставлена задача на основе анализа эксплуатационных данных и результатов экспериментальных исследований на действующих водоотводящих сетях разработать с учетом современных принципов градостроительства расчетные параметры, совершенствующие проектирование сетей систем водоотведения и обеспечивающие улучшение условий их работы.

В настоящей книге впервые предложено определять самоочищающие скорости в водоотводящих сетях по зависимостям, установленным для плоского потока, т. е. из условия донно-грядного режима транспортирования твердых частиц. Исследования проводились в НИИ коммунального водоснабжения и очистки воды ордена Трудового Красного Знамени Академии коммунального хозяйства РСФСР им. К. Д. Памфилова.

Автор выражает признательность инж. Н. М. Григорову за ценные замечания, сделанные при рецензировании рукописи.

Глава 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ СЕТЕЙ СИСТЕМ ВОДООТВЕДЕНИЯ

1. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И РАСЧЕТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ВОДООТВОДЯЩИХ СЕТЕЙ

Общие положения. Для нормального функционирования водоотводящих сетей при их проектировании следует учитывать ряд факторов, влияющих на эксплуатационные показатели систем водоотведения. Главные из них состав и свойства сточных вод и гидравлические условия работы трубопроводов, способствующие образованию засоров и выпадению осадка в трубах.

Состав городских сточных вод характеризуется более или менее постоянным содержанием загрязнений минерального и органического происхождения в растворенном и нерастворенном состоянии, а также наличием случайных примесей в виде крупных предметов. Растворенные и тонкодисперсные вещества легко транспортируются по трубам даже при небольших скоростях течения сточных вод. Они не оказывают отрицательного влияния на работу трубопроводов. Исключение составляют жировые вещества, которые могут привести к некоторому снижению пропускной способности трубопроводов. Более существенное влияние на работу трубопроводов оказывают нерастворенные грубодисперсные вещества, которые при малых скоростях течения могут выпадать в трубах в виде осадка (в основном песок), что приводит к уменьшению их пропускной способности и засорению. Крупные предметы, соизмеримые с диаметром труб, могут привести не только к образованию засоров, но и к полной закупорке труб. При наличии осадка в трубах вероятность образования засоров и закупорок увеличивается, а их устранение осложняется.

Гидравлические условия работы трубопроводов определяются их наполнением и скоростью движения сточной жидкости в них. Эти параметры работы трубопроводов являются переменными во времени, поскольку приток сточных вод в систему водоотведения колеблется в течение суток. Такой неустановившийся неравномерный режим движения жидкости отрицательно влияет на работу трубопроводов и способствует осаждению взвешенных веществ, а также образованию засоров. Вследствие сложности расчета водоотводящих сетей по формулам неустановившегося неравномерного движения, их рассчитывают по формулам равномерного установившегося движения.

При гидравлическом расчете водоотводящих сетей назначают такой режим работы трубопроводов, при котором обеспечивается транспортирование взвешенных веществ при максимальном расходе и заданном наполнении труб. Учитывается также возможность случайного попадания в сеть крупных предметов (банки, кирпичи и т. п.), которые приводят к образованию засоров. Во избежание засоров минимальный диаметр ограничивается с учетом размеров случайно попадающих предметов. Указанные конструктивные и режимные параметры водоотводящих сетей в различные периоды развития систем водоотведения по мере накопления опыта их работы и проведения соответствующих исследований принимались различными. В целом обнаруживается тенденция к увеличению минимальных диаметров труб и их уклонов как в зарубежных странах, так и в СССР.

Назначение диаметров, уклонов и наполнений труб. В США и Англии [41] в середине XIX в. в отдельных системах водоотведения применяли трубы диамет-

ром 100, 125, 150 мм. Вследствие недостаточной пропускной способности труб и принятия небольших уклонов сети оказывались перегруженными и часто засорялись, поэтому в дальнейшем расчетные параметры стали принимать с учетом самоочищения труб.

В последние годы в США предлагается назначать диаметры труб и их уклоны из условия обеспечения необходимых сдвигающих усилий потока на частицы песка в часы минимального притока сточных вод и пропуска максимального их расхода при наполнении трубы любого диаметра не более допустимого ($0,8 D$). Используя принятые в США соотношения между минимальными и максимальными расходами $Q_{\min}/Q_{\max}$, а также шероховатости труб, А. С. Пайнтл [40] разработал номограмму для определения необходимых уклонов и диаметров водоотводящих сетей. Как будет показано далее, предлагаемые А. С. Пайнтлом уклоны существенно больше принимаемых в нашей стране.

По современным нормативам в ЧССР [43] для водоотводящих сетей применяют трубопроводы с минимальным диаметром 300 мм; при каменно-керамических трубах допускается наименьший диаметр 250 мм. Диаметр и уклон водоотводящих сетей рассчитывают на максимальный расход сточных вод.

В ПНР [39] наименьший диаметр труб бытовых водоотводящих сетей в настоящее время составляет 200 мм.

В СССР в 30-х гг. по Генеральной схеме водоотведения Москвы (1935 г.) принимались следующие расчетные параметры [14]: минимальные диаметры уличных сетей — 150...200 мм, внутриквартальных и соединительных веток — 150 мм, дворовых сетей — 125 мм (для Москвы и Ленинграда — 150 мм); минимальные уклоны труб исходя из коэффициента шероховатости $n=0,014$ принимались при диаметре 150 мм — 0,007; 200 мм — 0,005; 250 мм — 0,004; расчетное наполнение для труб всех диаметров принималось равным $0,5 D$.

Впоследствии по нормативам МКС РСФСР минимальные диаметры и уклоны труб принимались такими же, как по Генеральной схеме водоотведения Москвы, а наполнения труб при диаметре 150...300 мм — $0,6 D$; 350...450 мм — $0,7 D$.

В дальнейшем, исходя из опыта эксплуатации водоотводящих сетей, было признано целесообразным увеличить минимальный диаметр труб уличных сетей. Это обосновывалось тем, что число засоров в уличных сетях диаметром 150 мм в два раза больше, чем в трубах диаметром 200 мм. В то же время разница в стоимости укладки труб диаметром 150 и 200 мм незначительна. С учетом этого по НИТУ 141-56 рекомендовалось принимать минимальные диаметры бытовой сети 200 мм (уличной) и 150 мм (внутриквартальной), дождевой и общесплавной сети 250 мм (уличной) и 200 мм (внутриквартальной и присоединений от дождеприемников). В отдельных случаях этими нормами допускалось принимать минимальный диаметр дворовой сети 125 мм при уклоне 0,01 и расчетном наполнении $0,5 D$. Минимальные уклоны и расчетные наполнения труб по этим нормам такие же, как по нормативам МКС РСФСР.

Позднее было признано необходимым не допускать применения труб диаметром 125 мм. По СНиП II-Г.6-62 («Канализация. Наружные сети и сооружения». М., Стройиздат, 1962) минимальный диаметр дворовой сети принимался равным 150 мм, а остальные расчетные параметры принимались такими же, как по НИТУ 141-56. В СНиП II-32-74 («Канализация. Наружные сети и сооружения». М., Стройиздат, 1975) рекомендуется принимать такие же нормативы для расчета сетей, какие были в СНиП II-Г.6-62 с изменением минимального уклона труб диаметром 150 мм на 0,008 вместо 0,007. Необходимо указать, что изменение диаметров труб в определенной степени связано с увеличением норм водоотведения

и коэффициентов неравномерности. Так, в 1933 г среднесуточные нормы водоотведения составляли 150 л/чел · сут, а по СНиП II-32-74 они увеличились до 350 л/чел · сут. В нормативах, применяемых в отечественной практике проектирования, наблюдается также тенденция к увеличению коэффициентов неравномерности для небольших расходов сточных вод. На основании ряда исследований [14, 31] начиная с 1954 г в НитУ и СНиП рекомендовалось принимать значения общего коэффициента неравномерности K_n в зависимости от среднего расхода сточных вод $q_{ср}$ (табл 1).

Таблица 1. Значения коэффициента неравномерности K_n по различным нормам

Нормы	Значения K_n при $q_{ср}$, л/с									
	5	15	30	50	100	200	300	500	800	>1250
НитУ 141-56	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7	1,6	1,50	1,40	1,35	1,3—1,2
СНиП II-Г 6-62	2,2	1,9	1,8	1,7	1,6	1,4	1,35	1,25	1,20	1,15
СНиП II-32-74	3,0	2,5	2,0	1,8	1,6	1,4	1,35	1,25	1,20	1,15

Минимальные уклоны труб связаны с минимальными расчетными скоростями течения потока, обеспечивающими транспортирование взвешенных веществ без осаждения. Нормативы по расчетным скоростям также изменялись в разные периоды строительства и эксплуатации водоотводящих сетей.

Назначение расчетных скоростей движения сточных вод. До издания временных норм и правил (до 1936 г) при проектировании бытовых водоотводящих сетей населенных мест минимальную скорость для труб малых диаметров принимали (как нормативную) равной 0,9 м/с, средних диаметров — 0,75 м/с и больших — 0,6 м/с. При таких расчетных скоростях в трубах больших диаметров выпадал осадок, поэтому по Генеральной схеме водоотведения Москвы (1935 г) и НитУ 12-49, НитУ 141-56 рекомендовалась минимальная расчетная скорость для труб диаметром до 500 мм 0,7 м/с, диаметром более 500 мм — 0,8 м/с. В дальнейшем в основу назначения минимальной скорости был положен принцип возрастания ее с увеличением диаметра труб.

Учитывая важность вопроса выбора минимальных скоростей для обеспечения нормальных условий работы систем водоотведения целесообразно более подробно проанализировать имеющиеся рекомендации по этому вопросу. Известно множество формул для определения минимальных расчетных скоростей взвесенесущих потоков, предложенных рядом авторов как в СССР, так и за рубежом. Большинство из предложенных зависимостей предназначены для расчета гидротехнических сооружений, русловых процессов и эрозии почв [7—11, 15, 16, 23, 24, 27, 29]. Ряд работ специально посвящен определению расчетных скоростей в водоотводящих сетях.

Впервые (более 70 лет назад) зависимость для определения незаилающей скорости в каналах предложил английский инженер Кенниди в виде

$$v_{кр} = ah^{0.64}, \quad (1)$$

где $v_{кр}$ — критическая незаилающая скорость, м/с, a — опытный коэффициент, h — глубина потока, м.

В дальнейшем зависимость Кенниди была усовершенствована Ласеем и приведена к виду

$$v_{кр} = e \sqrt{R}, \quad (2)$$

где e — опытный коэффициент, R — гидравлический радиус, м.

Формулы Кенниди и Кенниди — Ласея не учитывают такие важные факторы, влияющие на транспортирующую способность потока, как количество взвешенных наносов, содержащихся в потоке, их гидравлическую крупность или размеры, и поэтому впоследствии они были вытеснены другими, более обоснованными зависимостями

В нашей стране обширные исследования по изучению русловых процессов и транспортирующей способности водотоков были проведены М. А. Великановым, И. И. Леви, В. Н. Гончаровым, Л. Г. Гвелесиани, И. В. Егiazаровым, Е. А. Замариным, Ц. Е. Мирцхулаевой, А. А. Угничусом

На основе исследований взаимодействия частиц грунта (М. А. Великанов [7]) или частиц поверхностного слоя дна водотока с лобовой и подъемной силами потока, действующими в области дна (И. И. Леви [22]), а также обширных экспериментов В. Н. Гончарова [11] и Е. А. Замарина [15] получены общеизвестные теоретически-экспериментальные решения по движению несвязных (песчаных и песчано-гравийных) грунтов. В работах [11, 15, 23] имеются формулы, которые дают возможность анализировать процессы выпадения осадка из взвесенесущих потоков и его размыва, а также определять соответствующие скорости потоков, влияние крупности наносов, весового их содержания, а также гидравлических характеристик русла (уклон, гидравлический радиус, средняя глубина потока и др.) на транспортирующую способность потоков

В специальной гидротехнической литературе известны также экспериментальные формулы Г. И. Шамова, Г. И. Мевиса, И. Богорди, А. М. Латышенкова, Б. И. Студеничникова, Доу Го-Женя и др. [20, 21, 27, 33], но они не нашли применения для расчета гидротехнических сооружений

По вопросам движения наносов в АН СССР в 1952 г. была проведена научная дискуссия, которая показала, что имеющиеся теоретические результаты еще не удовлетворяют практическим запросам в отношении научно обоснованных методов расчета в области движения наносов. Кроме того, было показано, что формулы для расчета русловых процессов и взвесенесущих потоков, предназначенные для использования в гидротехнической практике, не могут быть без соответствующего обоснования использованы для определения минимальных расчетных скоростей в трубопроводах систем водоотведения

Определению расчетных минимальных скоростей в системе водоотведения посвящены работы советских и зарубежных авторов

Анализируя формулу Н. А. Масленникова для определения критических скоростей при расчете горизонтальных отстойников, С. В. Яковлев [18] предложил определять самоочищающие скорости в трубопроводах систем водоотведения по формуле

$$v_n = 12,5 u_n R^{0,2}, \quad (3)$$

где u_n — гидравлическая крупность, м/с

При этом на основе исследований А. А. Карпинского и Н. Ф. Федорова рекомендовано принимать средний размер частиц песка, транспортируемого водоотводящими сетями, равным 1 мм и гидравлическую крупность 0,1 м/с

Формула (3) учитывает зависимость расчетной скорости потока от диаметра частиц песка, транспортируемого во взвешенном состоянии, и справедлива для расчета трубопроводов определенной шероховатости

В дальнейшем С. В. Яковлев и В. И. Калицун [36], исходя из полуэмпирической теории турбулентного движения жидкости, предложили для определения

критической скорости потока с учетом шероховатости трубопровода обобщенную формулу

$$v_{кр} = \frac{24,7 u_n \lg(R/\epsilon)}{\sqrt{g}}, \quad (4)$$

где ϵ — приведенная линейная шероховатость (чем больше ϵ , тем меньше $v_{кр}$ и наоборот)

В формуле (4) за критическую принимают скорость, соответствующую началу выпадения песка в осадок, а за самоочищающую — скорость, соответствующую началу взвешивания осадка. При этом критическая и самоочищающая скорости могут определяться по одной и той же формуле. Скорость в незаиленном и заиленном трубопроводах достигает значения $v_{кр}$ при определенных их наполнениях (гидравлическом радиусе). В заиленном трубопроводе вследствие повышенной шероховатости критическая скорость движения сточных вод меньше, чем в незаиленном.

При определении расчетного средневзвешенного диаметра зерен использованы данные фракционного состава песка из песколовок на Кожуховской станции аэрации (Москва). Эта величина составила 0,39 мм. В расчетах она принята с некоторым запасом равной среднему диаметру зерен песка 0,5 мм.

Показано, что при таком расчетном диаметре зерен песка и приведенной линейной шероховатости бетонных труб $\epsilon = 1$ мм для полного или половинного их наполнения из формулы (4) может быть получена приближенная зависимость для определения минимального уклона труб

$$I \neq 1/D, \quad (5)$$

где D — диаметр труб, мм.

Представляется, что повсеместное применение этой формулы без каких-либо ограничений будет не совсем правильным. Следует учесть, что размер частиц песка из песколовок различных очистных станций колеблется в широких пределах и достигает 1 мм и более. Например, на очистной станции г. Пушкино, имеющего общесплавную систему водоотведения [31, 32, 34], средний размер частиц песка равен 1,08 мм. Вместе с тем за истинный средний размер частиц песка, содержащегося в сточной жидкости, вряд ли можно принимать данные фракционного состава осадка из песколовок, поскольку часть песка оседает в трубопроводах. Применение же формулы (4) затруднено еще и тем, что величина ϵ зависит от материала труб, а соответствующей шкалы не дается.

Н. Ф. Федоров [32], основываясь на формуле Е. А. Замарина и используя результаты экспериментов, а также данные выполненных на московских водоотводящих сетях исследований А. В. Грицука, А. А. Карпинского и Н. А. Масленникова, предложил для определения незаиливающей скорости формулу, вошедшую в СНиП II-Г 62-62, которая имеет вид

$$v_n = 1,57 \sqrt[n]{R}, \quad (6)$$

где $n = 3,5 + 0,5R$.

Формула (6) действительна для сточных вод с концентрацией взвешенных веществ до 600 мг/л, незаиливающая скорость относится к расчетному нормативному наполнению.

Н. Ф. Федоров в формуле (6) за «незаиливающую» (самоочищающую) скорость принимает такую, при которой все частицы движутся в потоке во взвешенном состоянии, а за «транспортирующую» — такую, когда одни частицы передвигаются в потоке во взвешенном состоянии, а другие, более тяжелые, передвигаются по дну трубопровода.

Входящий в формулу коэффициент принят из условия транспортирования песка со средней крупностью частиц 1 мм

При проведении экспериментов за незаияющую принята скорость, при уменьшении которой на 0,05 м/с началось выпадение осадка. Полученная Н. Ф. Федоровым формула учитывает зависимость минимальной расчетной скорости только от диаметра и степени наполнения труб шероховатость стенок трубопровода и размеры переносимых частиц в формулу не входят.

В дальнейшем А. М. Маркунас [32] принял, что величина 157, входящая в формулу (6), может быть представлена в виде произведения безразмерного коэффициента k и гидравлической крупности u_n , т. е. $157 = k u_n$.

Таким образом, формула (6) преобразуется в формулу А. М. Маркунаса

$$v_n = k u_n \sqrt[3]{R} \quad (7)$$

Минимальные расчетные скорости, вычисленные для разных диаметров труб по формулам (3), (4) и (6), приведены на рис. 1. Из рисунка видно, что для сетей диаметром до 400—500 мм расчетные скорости, вычисленные по разным формулам, имеют близкие значения, а для сетей диаметром более 500 мм они существенно различаются.

В зарубежной практике проектирования бытовых водоотводящих сетей, как и в СССР, существуют рекомендации по назначению минимальных скоростей потока при расчетных наполнениях труб.

В ПНР [39] рекомендуется при максимальных расходах и наполнениях труб менее 0,5 D обеспечивать скорость течения сточных вод не менее 0,8 м/с (для труб диаметром 200—250 мм).

В ЧССР [42] расчетную скорость течения сточных вод в трубах назначают из условия обеспечения «силы влечения», достаточной для смыва песка, равной, согласно исследованиям, 4 Па.

На практике сети раздельных систем водоотведения рассчитывают на полное наполнение труб ($H/D=1$) при скорости $v=1$ м/с, а расчетный расход принимают со 100% ным резервом пропускной способности, т. е. фактически при максимальном расчетном расходе принимают наполнение труб 0,5 D .

Анализируя приведенные выше рекомендации по расчету сетей, можно сделать вывод, что в основу определения минимальных скоростей в большинстве из них положены условия транспортирования твердых частиц в периоды наибольшего водоотведения (расчетного наполнения), когда частицы находятся во взвешенном состоянии. Однако расход сточных вод изменяется по часам суток, особенно существенно в сетях с малыми диаметрами, вследствие чего расчетные условия отличаются от фактических. В результате при расходах сточных вод менее максимальных, а следовательно, и при скоростях менее минимальных расчетных, в водоотводящих сетях может происходить осаждение взвеси, вызывая необходимость в частых промывках трубопроводов. Следует заметить, что водоотводящие сети, рассчитанные по имеющимся рекомендациям относительно минимальных скоростей,

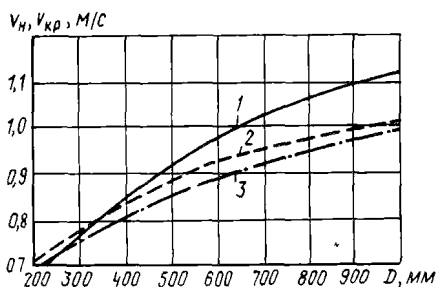


Рис. 1 Зависимость минимальных расчетных скоростей движения сточной жидкости v_n , $v_{кр}$ от диаметра труб D
1 — по формуле Н. Ф. Федорова (6) 2 — по формуле С. В. Яковлева (4) 3 — по формуле Н. А. Масленникова (3)

в принципе работоспособны, однако требуют систематических профилактических прочисток от осадка. Здесь уместно отметить, что, как указывают С. В. Яковлев и В. И. Калицун, выбор минимальных расчетных скоростей и соответственно уклонов труб следует рассматривать как экономическую задачу и в будущем с развитием технического прогресса их целесообразно увеличивать.

2 ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ СОВРЕМЕННЫХ ВОДООТВОДЯЩИХ СЕТЕЙ

Принимаемые при проектировании расчетные параметры и нормативы имеют решающее значение как для технико-экономических, так и особенно эксплуатационных показателей водоотводящих сетей. В связи с этим целесообразно проанализировать эксплуатационные показатели современных водоотводящих сетей для оценки принимаемых проектных решений и определения основных направлений их совершенствования. При этом наибольший интерес представляет надежность или безотказность работы водоотводящих сетей, характеризующая частотой образования засоров и количеством осадка в трубопроводах, вызывающим необходимость в их профилактической прочистке, а также уровень трудовых затрат на основные операции по обслуживанию сетей.

В специальной литературе эти вопросы освещены недостаточно и не в одинаковой степени.

Далее рассмотрены с использованием опубликованных материалов и результатов анкетного обследования систем водоотведения некоторых городов частота образования засоров и частота необходимых профилактических прочисток трубопроводов разных диаметров, а также распределение трудовых затрат по основным операциям при эксплуатации.

Частота образования засоров. Известно, что засоры и закупорки труб систем водоотведения, являющиеся по существу отказами в работе, наблюдаются в основном в водоотводящих сетях диаметром до 500 мм. Засоры происходят по ряду причин, главными из которых являются неудовлетворительные гидравлические условия работы сетей и случайные попадания крупных предметов из-за неправильного пользования санитарно-техническими приборами населением и предприятиями, а нередко и из-за неудовлетворительной эксплуатации сети.

Число засоров колеблется по сезонам года и увеличивается в весенне-осенние периоды вследствие поступления в сеть загрязнений с городских территорий. Наибольшее число засоров в Москве приходится на апрель и октябрь [12].

По многолетним данным эксплуатации, число засоров на внутриквартальных (дворовых) водоотводящих сетях в 2—3 раза больше, чем на уличных и сокращается с увеличением диаметров труб как на тех, так и на других. Зависимость числа засоров уличных сетей, приведенных к 1 км сети, в год от диаметра трубы приведена на рис. 2.

Эта зависимость получена по многолетним данным эксплуатации московских водоотводящих сетей [35]. Из графика видно, что в трубопроводах диаметром 150 и 200 мм число засоров резко отличается. Эту разницу нельзя объяснить только тем, что сети диаметром 150 мм, как правило, являются безрасчетными. Также резко (в 2 раза) снижается число засоров при изменении диаметра труб с 200 до 250 мм. Такое снижение числа засоров с увеличением диаметра труб подтверждается эксплуатационными данными треста Мосочиствод и города Череповца, приведенными в работе [28]. Очевидно, что главная причина большого числа засоров в сетях с малым сечением заключается в попадании в них крупных пред-

метов, соизмеримых с диаметром труб 150—200 мм, а также недостаточной минимальной расчетной скоростью течения для транспортировки и размыва осадка

Количество осадка, а также частота образования засоров в трубопроводах в основном зависят от диаметра, уклона и наполнений труб

Экспериментальные исследования транспортирующей способности сточной жидкости в выпусках из зданий, проводившиеся в ЦНИИЭП инженерного оборудования, показывают, что причиной образования большого числа засоров в выпусках является так же неудовлетворительный режим их работы, так как расчетная скорость и наполнение трубопровода не достигаются даже в часы максимального водоотведения из-за наличия аккумулялирующей способности в системе. Авторы работы предлагают определять диаметр выпуска исходя из расчетного секундного расхода, скорости течения и наполнения трубопровода, причем скорость должна приниматься не менее 0,7 м/с, а наполнение не меньше 0,3 D . Такой метод расчета приводит к уменьшению диаметра выпуска и противоречит условию назначения минимального диаметра труб на основе данных эксплуатации сетей с учетом образования засоров в них.

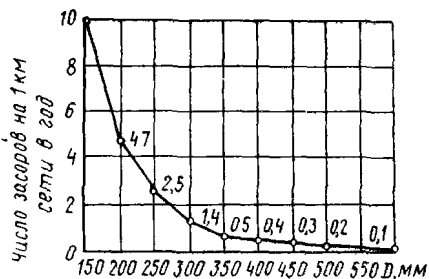


Рис. 2 Зависимость числа засоров уличной водоотводящей сети от диаметра трубы D

По данным Главмосжилуправления, в выпусках из зданий Москвы число засоров в месяц составляет около 2000

На образование засоров, как показывают экспериментальные исследования, проведенные в США [38] на трубопроводах диаметром 200 мм, существенное влияние оказывает качество стыковых соединений труб. Указывается, что при хорошо выполненных стыковых соединениях можно уменьшить образование отложений в трубах, не увеличивая их уклон.

В водоотводящих сетях на образование засоров влияют осевшие в трубах вещества.

В осадках, извлекаемых из водоотводящих сетей, содержатся песок, гравий, камни, битый кирпич и различные случайные предметы.

Осадки, выпавшие в трубопроводах и лотках колодцев, создают дополнительное сопротивление движению сточной жидкости и уменьшают скорость потока, что способствует дальнейшему увеличению количества оседающих на дно примесей и повышает вероятность образования засоров.

По условиям эксплуатации крупные предметы не должны попадать в водоотводящую сеть и поэтому осадком следует считать смесь различных нерастворенных веществ размером до 5 мм. Количество нерастворенных веществ для бытовых сточных вод колеблется в зависимости от норм водопотребления (табл. 2).

Количество взвешенных веществ, пересчитанное на одного человека, достигает в СССР 60—80 г/сут, в США — 105 г/сут (при норме водопотребления на одного человека 300 л/сут), в Англии — 122 г/сут, в ГДР — 90 г/сут.

По данным работы [37], в осадках, выпавших в водоотводящих сетях, содержится около 95% минеральных веществ крупностью в среднем 1 мм, в том числе до 75% веществ крупностью менее 0,5 мм. Больше всего в осадке содержится песка, по данным различных исследований, количество его составляет от 70 до 90%.

На основе анализа имеющихся данных по составу осадков московских бытовых водоотводящих сетей Н. А. Масленников считает, что средний размер оседающих

**Таблица 2. Количество осадков в сточных бытовых водах
в зависимости от нормы водопотребления**

Степень благоустройства районов жилой застройки	Водопотребление на одного жителя (среднесуточное за год) л/сут	Концентрация по осадкам при среднесуточном водопотреблении мг/л
Застройка зданиями, оборудованными водопроводом и канализацией, без ванн	125—160	385—300
То же, с ваннами и местными водонагревателями	160—230	300—210
То же, с централизованным горячим водоснабжением	230—350	210—140

Примечание Удельный вес осадков принят равным 1,6, объем на одного жителя — 0,03 л/сут

из сточной жидкости частиц практически постоянен и равен 1,5 мм, причем на очистные сооружения Москвы попадает незначительная часть осадка, содержащего частицы несколько меньших размеров, так как наиболее крупные фракции в основном осаждаются в трубопроводах и каналах

По данным Г. Г. Шигорина [34], средневзвешенный размер фракций осадка из водоотводящих сетей г. Пушкино равен 3,6 мм, а осадок из дворовых сетей Ленинграда характеризуется средним размером в пределах от 1,76 до 2,24 мм, из уличных сетей от 1,4 до 1,95 мм

Этими исследованиями установлено, что на состав выпавшего в трубах осадка влияют уклоны труб, система водоотведения (раздельная или общесплавная) и наличие на сетях дождеприемников с осадочной частью

По данным Б. О. Ботука, А. А. Карпинского, М. М. Дворецкого [6, 18], средний размер частиц осадка из бытовых водоотводящих сетей составляет 0,9—1,0 мм

Исследованиями Н. Ф. Федорова, выполненными позднее, установлено, что фракционный состав осадка из различных сетей систем водоотведения Ленинграда по усредненным данным многочисленных проб характеризуется графиком на рис. 3. Отмечается отсутствие резкого различия состава осадков из трубопроводов разных систем водоотведения

Крупность фракций и состав осевшего в трубопроводах осадка оказывают влияние на скорость потока, пропускная способность заиленных трубопроводов уменьшается

Из эксплуатационных данных разных городов (см. далее табл. 11) видно, что в водоотводящих сетях слой осадка может достигать 20% диаметра труб (глубины канала), поэтому в соответствии с «Правилами технической эксплуатации водопроводов и канализаций» необходимо осуществлять профилактическую прочистку трубопроводов

Частота профилактических прочисток сетей. По данным эксплуатации, в профилактической прочистке в основном нуждаются трубопроводы диаметром до 500 мм

Удаление осадка при прочистке труб способствует улучшению гидравлических условий работы сетей и ликвидации причин ухудшения состава воздуха в сетях. Последнее имеет немаловажное значение, так как при гниении осадков образуются газы, которые могут разрушать трубы

Частота профилактических прочисток водоотводящих сетей в каждом конкретном случае определяется исходя из опыта эксплуатации. В зависимости от состояния трубопроводов их подвергают профилактической прочистке от 1 до 4 раз в год. По данным служб эксплуатации, отдельные (старые) участки сети, а также тру-

бопроводы, расположенные в центральной части города, прочищают 7—8 раз в год

Во многих городах до последнего времени профилактическую прочистку проводят с использованием простейших приспособлений, требующих больших затрат ручного труда. В связи с этим и из-за нехватки рабочей силы в ряде городов (Москва, Минск и др.) профилактическую прочистку производят редко.

В последние годы для профилактической прочистки сетей, а также для устранения засоров используют гидродинамический способ с применением зарубежных (ВОМА, КУКА), а также отечественных (КО-502) машин. Эти машины используют для прочистки труб небольших диаметров, что существенно облегчает эксплуатацию сетей. Однако небольшое количество зарубежных машин и планируемое производство отечественных машин (КО-502) не могут обеспечить в ближайшие 15—20 лет потребности служб эксплуатации систем водоотведения городов и поселков нашей страны, поэтому можно считать, что еще долгое время при обслуживании водоотводящих сетей будет преобладать ручной труд.

Распределение трудовых затрат на эксплуатацию сетей. Основными операциями при обслуживании сетей, как было отмечено выше, являются устранение засоров, профилактическая прочистка, ремонт и наблюдение за состоянием сети и сооружений. Распределение трудовых затрат исходя из заработной платы эксплуатационного персонала по данным Москвы (десяти районов), Киева, Куйбышева и Ленинграда, дано в табл. 3.

Данные табл. 3 показывают, что основная часть трудовых затрат на эксплуатацию водоотводящих сетей падает на устранение засоров — 40%, профилактические прочистки составляют 38%, наблюдение и текущий ремонт — 22%. Такое распределение трудовых затрат показывает, что существенное снижение стоимости эксплуатации водоотводящих сетей и сокращение численности обслуживающего персонала может быть достигнуто главным образом путем уменьшения частоты засоров и профилактических прочисток.

Таблица 3. Распределение трудовых затрат на эксплуатацию сетей водоотведения, %

Города	Устранение засоров	Профилактические прочистки	Ремонтные работы	Наблюдение за сетью
Москва	36	37	15	12
Киев	41	32	16	11
Куйбышев	39	37	14	10
Ленинград	43	47	4	6
Среднее	40	38	12	10

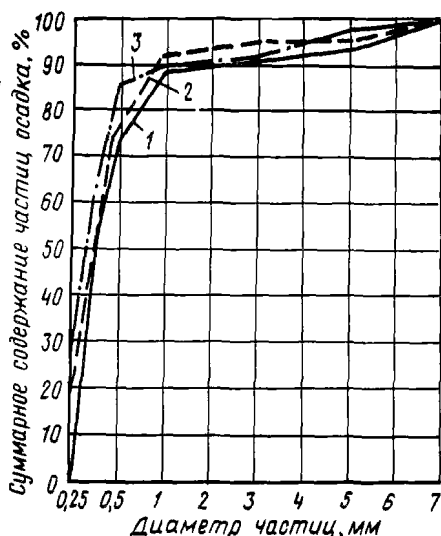


Рис. 3. Фракционный состав осадков из бытовой (1), дождевой (2) и общесплавной (3) водоотводящей сети

Учитывая предстоящие масштабы строительства сетей систем водоотведения, а также общий дефицит рабочей силы в народном хозяйстве, можно ожидать, что в ближайшие годы нехватка рабочих по эксплуатации водоотводящих сетей будет ощущаться все острее и острее. Таким образом становится очевидным, что уже в настоящее время имеется необходимость в улучшении эксплуатационных показателей водоотводящих сетей и снижении трудовых затрат на их обслуживание. Это может быть достигнуто путем соответствующих инженерных решений сетей систем водоотведения, направленных на улучшение гидравлических условий их работы, что очень важно для труб небольших диаметров, а также путем повышения уровня механизации в эксплуатации. Нужно учесть, что улучшение условий труда и сокращение трудовых затрат на обслуживание сетей систем водоотведения одновременно решают социальную задачу — снижение доли неквалифицированного труда в народном хозяйстве.

3 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Из литературных данных по условиям работы водоотводящих сетей вытекает, что их эксплуатационные показатели не в полной мере соответствуют расчетным и обуславливают высокий уровень трудовых затрат при обслуживании. Основные затраты труда на обслуживание сетей падают на устранение засоров, образующихся в трубопроводах небольших диаметров (150—300 мм), и на профилактические прочистки от выпадающего в них осадка.

Сложность привлечения трудовых ресурсов для обеспечения нормальной работы систем водоотведения, неблагоприятные санитарные и тяжелые условия труда выявляют необходимость более полного учета при проектировании эксплуатационных показателей водоотводящих сетей.

Автором поставлена задача — исследовать влияние на показатели работы водоотводящих сетей методов их расчета и принимаемых инженерных решений для обоснования и разработки предложений по совершенствованию проектирования, обеспечивающих улучшение условий работы сетей. Для этого необходимо было:

- 1) на основе данных эксплуатации выявить влияние диаметров, уклонов и напоя трубок на частоту образования засоров,
- 2) оценить соответствие режимов работы действующих сетей систем водоотведения расчетным по транспортированию тяжелых примесей сточных вод и определить условия, улучшающие самоочищение трубопроводов,
- 3) обосновать новые расчетные параметры сетей водоотведения, обеспечивающие улучшение их эксплуатационных показателей и снижение трудовых затрат на обслуживание,
- 4) выявить влияние новых расчетных параметров на технико-экономические показатели водоотводящих сетей.

С использованием полученных зависимостей и на основе технико-экономических расчетов намечалось обосновать минимальный диаметр внутриквартальных (дворовых) сетей систем водоотведения, увеличение уклонов и напоя трубок, а также уточнить расчетные параметры для проектирования с учетом соответствующих изменений трудовых затрат на эксплуатацию.

Ограниченность литературных данных и небольшое число работ по исследованию условий работы действующих сетей систем водоотведения и по их сравнению с расчетными выдвигали также задачу проведения специальных натурных исследований и более глубокого анализа эксплуатационных данных.

Глава 2. ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ РАБОТЫ ДЕЙСТВУЮЩИХ СЕТЕЙ СИСТЕМ ВОДООТВЕДЕНИЯ

1 МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

В соответствии с задачами работы, указанными в гл. 1, было проведено исследование условий работы действующих водоотводящих сетей Москвы. При этом основное внимание уделено зависимости частоты образования засоров и выпадения осадка в трубах от различных факторов (диаметр, уклон и наполнения труб).

Исследование этих вопросов на лабораторных установках не позволило бы получить достаточно надежные и достоверные данные, так как теоретические основы моделирования таких процессов, происходящих в водоотводящих сетях, как, например, образование засоров, еще не разработаны. Организация натурных исследований на большом числе действующих участков трубопроводов систем водоотведения также связана с большими сложностями и трудностями. По этим причинам изучение режимов работы действующих водоотводящих сетей в основном произведено методом статистической оценки эксплуатационных данных треста Мосочиствод. При этом в зависимости от исследуемого вопроса проанализированы выборочные измерения в одни и те же часы суток, соответствующие максимальному притоку сточных вод. Так, при анализе влияния диаметров труб на частоту образования засоров были использованы полные данные десяти районов городских канализационных сетей и каналов (ГКСиК) Москвы за 1972—1977 гг.

Учитывая, что гидравлические условия работы внутриквартальных и уличных сетей могут быть существенно различными, данные по частоте образования в них засоров проанализированы отдельно. Наличие данных за столь длительный период позволяет установить динамику изменения частоты образования засоров по годам с учетом принимаемых инженерных решений сетей при их реконструкции.

Зависимость частоты образования засоров в трубах от их уклонов изучена по данным случайной выборки из архивных материалов (в объеме 25% общего их количества) шести районов ГКСиК. Кроме того, выборочно проведены замеры наполнений труб отдельных участков сетей. Влияние гидравлических условий работы трубопроводов (уклонов и наполнений труб) на частоту образования засоров оценено по данным таких участков водоотводящих сетей, на которых наиболее часто наблюдались засоры (по записям в журналах районов ГКСиК).

Величины наполнений труб таких участков сетей были определены по данным эксплуатационников выборочными измерениями в одни и те же часы суток, соответствующие максимальному притоку сточных вод [28].

Для изучения влияния условий работы действующих трубопроводов на транспортирование взвешенных веществ и самоочищение водоотводящих сетей отбирались пробы осадка из труб и анализировался фракционный его состав по общепринятой методике. Были получены данные по составу осадка из 30 участков водоотводящих сетей. При этом на восьми из указанных участков сетей были проведены круглосуточные измерения наполнений труб с помощью поплавковых самописцев для сравнения фактических режимов работы с расчетными.

2 АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ЧАСТОТУ ОБРАЗОВАНИЯ ЗАСОРОВ

Диаметры труб. Взаимосвязь между диаметром труб и частотой образования засоров, как указывалось выше, объясняется случайным попаданием в водоотво-

Таблица 4. Эксплуатационные данные водоотводящих сетей Москвы

Год	Диаметр труб D, мм	Уличные сети			Внутриквартальные (дворовые) сети		
		длина сети км	общее число засоров	число засоров на 1 км сети	длина сети км	общее число засоров	число засоров на 1 км сети
1972	125	—	—	—	395,9	17443	10,16
	150	360,0	1170	3,25	826,0		
	200	302,0	413	1,37	372,0		
	250	200,0	155	0,77	76,8		
	300	234,0	84	0,36	46,1		
Всего		1096,0	1822	1,67	1716,8	17443	10,16
1973	125	—	—	—	393,0	16767	9,89
	150	346,0	1174	3,39	746,0		
	200	303,0	425	1,40	419,1		
	250	202,0	145	0,71	80,2		
	300	235,5	52	0,22	57,0		
Всего		1086,5	1796	1,65	1695,3	16767	9,89
1974	125	—	—	—	383,0	15122	8,30
	150	344,5	1026	2,97	820,3		
	200	303,0	422	1,40	464,1		
	250	198,0	137	0,69	88,3		
	300	237,0	78	0,33	66,4		
Всего		1082,5	1663	1,54	1822,1	15122	8,30
1975	125	—	—	—	375,3	13388	6,82
	150	320,0	940	2,93	882,6		
	200	309,0	357	1,15	520,2		
	250	197,0	122	0,62	103,7		
	300	238,5	74	0,31	81,6		
Всего		1064,5	1493	1,40	1963,0	13388	6,82
1976	125	—	—	—	370,3	13477	6,68
	150	310,0	944	3,04	878,0		
	200	311,0	366	1,32	565,3		
	250	198,0	113	0,57	111,0		
	300	242,0	69	0,28	91,2		
Всего		1061,0	1492	1,40	2015,8	13477	6,68
1977	125	—	—	—	356,7	12002	5,78
	150	298,6	828	2,77	892,2		
	200	294,1	299	1,01	607,8		
	250	199,3	92	0,46	120,6		
	300	244,8	70	0,28	98,9		
Всего		1036,8	1289	1,24	2076,3	12002	5,78

дающую сеть крупных предметов. Зависимость частоты образования засоров от диаметра трубы приведена на рис. 2

За период, прошедший после получения этой зависимости, изменились принципы и нормативы проектирования водоотводящих сетей, что не могло не повлиять