



ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСЧЁТА КАНАЛИЗАЦИОННОЙ СЕТИ

К.И.Байманов, К.А.Бахиев, У.Р. Кидирбаев

Каракалпакский государственный университет имени Бердаха

Аннотация

В статье приведены особенности проектирования системы канализации населенных пунктов и метод гидравлического расчета канализационной сети, основанный на теоретической разработке относящейся к движению безнапорных потоков.

Ключевые слова: канализация, канализационная сеть, дренаж, гидравлический расчет.

FEATURES OF DESIGN AND HYDRAULIC CALCULATION OF SEWAGE NETWORK

K.I. Baymanov, K.A. Bakhiev, U.R. Kidirbaev

Karakalpak State University named after Berdakh

Abstract

The article describes the design features of the sewage system of settlements and the method of hydraulic calculation of the sewage network, based on the theoretical development of the non-pressure flow related to the motion.

Keywords: sewerage, sewage network, drainage, hydraulic calculation.

Современные системы водоснабжения и канализация представляют собой сложные инженерные сооружения и устройства, обеспечивающие подачу воды потребителям, а также отвод и очистку сточных вод. Правильное решение инженерных задач по водоснабжению и водоотведению в значительной степени определяет высокий уровень благоустройства населённых пунктов, жилых, общественных и промышленных зданий, а также рациональное использование и воспроизводство природных ресурсов [1, 3].

В городах и других населенных пунктах образуются загрязнения различного характера, связанные с повседневной деятельностью человека и получающиеся в результате технологических процессов на промышленных предприятиях.

Содержащиеся в сточной жидкости органические загрязнения могут гнить и служат хорошей средой для развития микроорганизмов, в том числе патогенных, то

есть таких, которые вызывают инфекционные заболевания. Содержащиеся в сточной жидкости различные химические соединения, нефтепродукты, жиры, масла, смолы, ядовитые вещества способны убить все живое на земле и в водоемах.

Поддержание санитарного благополучия городов и населенных пунктов, а также промышленных предприятий возможно только при своевременном удалении с занимаемой ими территории сточных вод с последующей их очисткой и обеззараживанием. Для приема сточных вод в местах их образования и транспортирование их к очистным сооружениям служат канализационные сети.

Канализационные сети строят преимущественно самотечными. Для этого их прокладывают соответственно рельефу местности, разделяя всю канализуемую территорию населенного пункта на бассейны канализования. Бассейном канализования называют часть территории, ограниченную водоразделами. Участки канали-

зационной сети, собирающие сточные воды одного или нескольких бассейнов канализования, называют коллекторами.

Важнейшим этапом проектирования канализации является составление схемы канализации. Схемой канализации называется план канализуемого объекта с нанесёнными на нем элементами канализации (сетями, насосными станциями, очистными сооружениями и др.). Решение схемы канализации зависит от многих факторов: конфигурации и размера канализуемого объекта, расположения водоемов относительно него, рельефа местности, грунтовых условий экономических и санитарных соображений, системы канализации и др.

Различие в характере и концентрации загрязнений отдельных видов сточных вод вызывают необходимость транспортирования их по самостоятельным трубопроводам. В зависимости от того, как отводятся отдельные виды сточных вод – совместного или отдельно системы канализации подразделяют на общесплавные и раздельные (полные или неполные) [3].

При общесплавной системе канализации все виды сточных вод отводят к очистным сооружениям или в водоем по единой канализационной сети. При раздельной системе канализации отдельные виды сточных вод, содержащих загрязнения различного характера, отводят по самостоятельным канализационным сетям.

Канализация состоит из следующих основных элементов: внутренних канализационных устройств зданий, наружной внутри квартальной канализационной сети, насосных станции и напорных трубопроводов, очистных сооружений и устройств для выпуска очищенных сточных вод в коллектор.

Объектами канализации являются строящиеся, реконструируемые и расширяющиеся города, рабочие и дачные посёлки, санатории, промышленные предприятия и жилые районы.

Проектирование канализации осуществляется в соответствии со КМК 2.04.03-97 «Канализация. Наружные сети и сооружения» [4], где даются нормативные материалы в отношении выбора системы канализации, выбора и определения расчётных расходов сточных вод, выбора диаметров труб и др.

Исходными материалами для разработки проекта канализация города служат проект планирования города и генеральный план промышленных предприятий, учитывающие перспективы их развития. Кроме того для про-

ектирования канализации необходимы следующие материалы:

1. карта местности с характеристикой природных и инженерно-строительных условий;
2. геологические и гидрогеологические данные;
3. метеорологические данные;
4. гидрогеологические данные прилегающих водоемов.

Для определения расчётного расхода сточных вод, установленного на конец расчётного периода, нужны данные о численности населения и подробные сведения о промышленных предприятиях.

Канализационную сеть и сооружения на ней рассчитывают на максимально возможный расход сточных вод – наибольший секундный расход, который называется расчетным.

Расход бытовых сточных вод зависит от числа жителей, пользующихся канализацией, и нормы водоотведения бытовых вод. Расход производственных сточных вод зависит от количества выпускаемой продукции и нормы водоотведения производственных вод. Сточные воды поступают в сеть неравномерно в отдельные дни и в отдельные часы суток. Неравномерность их поступления может характеризоваться ступенчатым или интегральным графиком, аналогичным соответствующему графику водопотребления [1].

Для вычисления расчетных расходов вместо коэффициентов суточной $K_{сут}$ и часовой $K_{ч}$ неравномерности используют общий коэффициент неравномерности:

$$K_{общ} = K_{сут} \cdot K_{ч} = Q_{maxч} / Q_{срч} \quad (1)$$

где, $Q_{maxч}$ – максимальный часовой расход в дни с максимальным водоотведением;

$Q_{срч}$ – средний часовой расход в дни со средним водоотведением.

Расходы сточных вод $Q_{ср,сут}$, $л^2/сут$, и $Q_{maxсек}$, $л/с$ могут быть определены по следующим формам: для бытовых сточных вод от города

$$Q_{ср,сут} = Nq_{ж} / 1000; q_{maxсек} = Nq_{ж} K_{общ} / 86400 \quad (2)$$

для производственных сточных вод.

$$Q_{ср,сут} = \Pi_{сут} q_{пр} / 1000; q_{maxсек} = \Pi_{см} \cdot q_{пр} \cdot K_z / T \cdot 3600 \quad (3)$$

где, N – численность населения ($N = F \cdot p$); $q_{ж}$, $q_{пр}$ – нормы водоотведения бытовых вод от города и производственных вод, л; $\Pi_{сут}$, $\Pi_{см}$ – количество выпускаемой продукции в сутки и смену продолжительностью T , з; $K_{общ}$ – общий коэффициент неравномерности бытовых вод; K_z – коэффициент часовой неравномерности производ-

ственных вод.

При расчете канализационных сетей удобно вычислять расходы, используя понятие модуля стока, л/(с.га), определяемого по формуле

$$q_0 = pq_{ж} / 86400 \quad (4)$$

где, p - плотность населения на 1 га.

Расчетный расход сточных вод

$$q_{max\ cек} = q_0 F K_{общ} \quad (5)$$

где, F – площадь кварталов в жилой зоне канализуемой территории.

Расчетные расходы для отдельных участков канализационной сети определяются как суммы расходов транзитного, бокового (поступающего в расчетный участок из боковой ветви сети), попутного (поступающего в расчетный участок от зданий прилегающего квартала) и сосредоточенного от промышленного предприятия [6].

При проектировании канализационных сетей необходимо учитывать гидравлические характеристики потока, форм поперечных сечений труб, потери напора по длине и местных сопротивлений.

Для гидравлического расчёта канализационных сетей используют формулы установившегося равномерного движения:

1. Уравнение неразрывности (постоянства расхода воды)

$$Q = \mathcal{G}_1 \omega_1 = \mathcal{G}_2 \omega_2 = \mathcal{G}_3 \omega_3 = \dots = \mathcal{G}_n \omega_n = const \quad (6)$$

2. Формула Дарси, справедливая для любого режима жидкости:

$$i = \frac{\lambda}{D_r} \cdot \frac{\mathcal{G}^2}{2_g} = \frac{\lambda}{4R} \cdot \frac{\mathcal{G}^2}{2_g} \quad (7)$$

где, Q – количество протекающей жидкости, м³/с; ω – площадь сечения, м²; \mathcal{G} – средняя скорость течения жидкости, м/с; D – диаметр трубы, м; R – гидравлический радиус, м; i – гидравлический уклон; λ – коэффициент гидравлического трения g – ускорение свободного падения.

Коэффициент гидравлического трения λ по длине рекомендуется определять по формуле Н.Ф.Федорова [6] учитывающей различную степень турбулентности потока:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} \approx -2 \lg \left(\frac{\Delta_E}{13,68R} + \frac{a}{R_e} \right) \quad (8)$$

где, Δ_E - эквивалентная шероховатость, см; a - коэффициент, зависящий от состояния стенок трубопроводов и свойств жидкости; $R_e = 49R / \nu$ – число Рейнольдса (здесь ν – кинематическая вязкость); R - гидравлический радиус, см.

Значения Δ_E , a и коэффициента шероховатости n для труб, каналов и лотков из различных материалов следует принимать по таблице 1.

Таблица 1. Значения эквивалентной шероховатости

Δ_E , коэффициента a_2 и коэффициента шероховатости n для труб, каналов и лотков.

Трубы, каналы и лотки	$\Delta_E, мм$	a	n
Керамические	1,35	90	0,013
Бетонные и железобетонные	2,0	100	0,014
Асбестоцементные	0,6	73	0,012
Чугунные	1,0	83	0,013
Стальные	0,8	79	0,012
Кирпичные	3,15	110	0,015

3. Гидравлический расчет канализационной сети можно выполнять по формуле А.Шези:

$$\mathcal{G} = C \sqrt{Ri} \quad (9)$$

Здесь коэффициент Шези C определяется по формуле Н.Н. Павловского:

$$C = \frac{1}{n} R^{\delta} \quad (10)$$

где, n – коэффициент шероховатости; R – гидравлический радиус; δ – показатель степени, определяемой по формуле

$$y = 2,5 \sqrt{n} - 0,13 - 0,75 \sqrt{n} - 0,1 \quad (11)$$

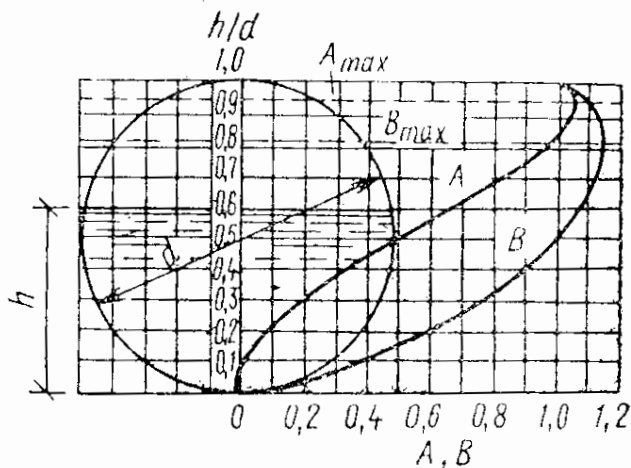
Значения коэффициента шероховатости n можно принимать по таблице №1.

Между коэффициентами λ и C существует такая связь:

$$\lambda = 8g / c^2 \quad (12)$$

Практические расчеты выполняют по таблицам и номограммам, составленным по приведенным формулам.

При строительстве канализационных сетей сечение труб может иметь круглую лотковую, овоидальную, эллиптическую и другую форму. Наиболее часто используют трубы с сечением круглой формы как обладающие лучшей пропускной способностью и более простые и экономические в изготовлении.



4. Движение жидкости в канализационной сети носит безнапорный характер, так как происходит с частичным наполнением сечения труб. Поэтому гидравлический расчёт канализационной сети производят по тем же формулам, что и расчёт каналов. Однако этот расчет затрудняется сложностью определения гидравлических элементов ω , χ и R . Для упрощения расчета канализационной сети обычного используют вспомогательные коэффициенты A и B .

Коэффициент A представляет собой отношение расхода при частичном наполнении трубы к расходу при полном ее наполнении:

$$A = Q_{\text{част}} / Q \quad (13)$$

Коэффициент B представляет собой отношение средней скорости при частичном наполнении трубы к скорости при полном ее наполнении:

$$B = g_{\text{част}} / g \quad (14)$$

Установлено, что, коэффициенты A и B для труб разных форм зависят только от относительного их наполнения водой.

Таким образом, скорость и расход при частичном наполнении труб канализационной сети можно определять по формулам:

$$g_{\text{част}} = BW \sqrt{i} \quad (15)$$

$$Q_{\text{част}} = AK \sqrt{i} \quad (16)$$

где W и K – скоростная и расходная характеристика

для всего сечения трубы (при полном наполнении).

На рис.1 представлена зависимость коэффициентов A и B от относительного наполнения трубы круглого сечения. Из графика видно, что наибольшие значения коэффициентов A и B в трубе круглого сечения соответствуют неполным наполнениям [2].

Теоретическим путем доказано, что в трубе круглого сечения наибольшая скорость соответствует наполнению $h/d = 0,81$, а наибольший расход – наполнению $h/d = 0,95$.

5. Канализационные трубопроводы, отводящие сточные воды под действием сил давления, называются напорными водоводами. В отличие от самотечных, они отводят воду полным сечением. Расчет напорных водоводов сводится к определению диаметра и потерь напора в трубопроводах [7].

Диаметр напорного водовода определяется исходя из постоянства расхода в поперечном сечении трубопровода при известных значениях скорости течения сточных вод:

$$Q = \omega \cdot g = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot g^3, \text{ м}^3/\text{с} \quad (17)$$

отсюда

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{\pi g}}, \text{ мм} \quad (18)$$

где Q – расход сточных вод, $\text{м}^3/\text{с}$; g – скорость течения сточных вод, $\text{м}/\text{с}$.

Величина скорости течения сточных вод зависит от назначения трубопровода и принимается равной по КМК [3]:

во всасывающих трубопроводах в пределах насосной станции – 0,7.....1,5 $\text{м}/\text{с}$;

в напорных трубопроводах в пределах насосной станции 1 – 1,0.....2,5 $\text{м}/\text{с}$

в напорных трубопроводах – более 1,0 $\text{м}/\text{с}$, но не менее самоочищающейся.

Потери напора на трение сточных вод в напорном водоводе складываются из потерь по длине и суммы потерь на преодоление местных сопротивлений:

$$h = h_e + \sum h_m, \text{ м} \quad (19)$$

Местные потери напора определяют с учетом скорости движения сточных вод и коэффициентов местных сопротивлений на расширение, сужение, отвод и т.д., значения которых принимают из расчета 20% от потерь по длине.

Гидравлический расчет канализационных сетей основан на положении, что в сети движения сточных вод является равномерным. В действительности в канализационной сети в связи с наличием местных сопротивлений (в местах поворотов, боковых присоединений, перепадов и др.) на значительных протяжениях наблюдается неравномерное движение воды. При наличии местных сопротивлений на самотечной сети возникают подпоры, что недопустимо, так как при этом уменьшается транспортирующую способность потока сточных вод.

Значения коэффициентов местных сопротивлений для поворотных, узловых, перепадных и других колодцев приведены в нормативной литературе [3].

6. Расчет канализационных сетей систем должен производиться с учетом допустимых минимальных не заиляющих и максимальных скоростей потока сточных вод. Расчетные скорости в канализационной сети должны назначаться из условия транспортирования песка и других примесей неорганического происхождения, содержащихся в сточной жидкости.

Скорость, соответствующая полному взвешиванию потоком загрязнений, называется самоочищающейся (критической). Минимальные расчетные скорости следует назначать не менее самоочищающихся скоростей.

А.М.Курганов [6] путем выражения поперечной пульсации скорости через продольную получил зависимость для незаиляющей скорости:

$$v_{i3} = \omega_0 \lambda^{-2/3} = 0,055 \omega_0 c^{-4/3}, \quad (20)$$

где ω_0 – средняя гидравлическая крупность взвешенных частиц песков.

Значения v_{i3} подсчитанные по формуле (20) приведена в таблице 2 (при $h/d = 0,5$):

D, мм	200	400	600	800	1200	1600	2000
$v_{i3}, \text{м/с}$	0,75	0,57	0,96	1,02	1,12	1,19	1,25

На основании экспериментальных исследований условий выпадения взвеси крупностью в 1 мм из потока сточных вод Н.Ф.Федоровым предложена следующая формула [6]:

$$v_{i3} = A \sqrt[n]{R} \quad (21)$$

Здесь значений коэффициента $A=1,42$ и $n=4,5+R/2$.

Песок, содержащийся в сточной жидкости, транспортируется потоком в основном у дна труб, вызывая здесь истирание и разрушение их поверхности. Разрушение поверхности труб тем больше, чем больше скорость потока. По этой причине скорость движения, сточной жидкости в трубах следует ограничивать. В металлических трубопроводах не рекомендует допускать скорость более 8 м/с, а в неметаллических трубопроводах более 4 м/с.

7. Глубина заложения трубопроводов канализационной сети должна приниматься на основании их опыта работы в данном районе. От глубины заложения трубопроводов существенно зависит стоимость и сроки строительства канализационной сети. В связи с этим ее назначают по возможности минимальной. Так, как температура сточных вод не опускается ниже 7°C даже в самое холодное время года, канализационные трубопроводы можно прокладывать на глубине, меньшей глубины промерзания грунта. Наименьшую глубину заложения от поверхности земли до лотка труб можно определять по формуле:

$$h = h_g + e \quad (22)$$

где, h_g – глубина промерзания грунта; e – величина, равная 0,3 м для труб диаметром до 500 мм и 0,5 м для труб большого диаметра.

8. Глубину заложения трубопроводов определяют расчетом одновременно с построением профиля канализационной сети. Начальную глубину заложения трубопроводов уличной сети находят с учетом присоединения внутриквартальной сети и в внутренних канализационных устройств зданий по следующей формуле:

$$H = h + i(L+l) - (z_1 + z_2) + \Delta d \quad (23)$$

где, h – наименьшая глубина заложения трубопроводов от поверхности земли до его лотка; i – уклон трубопроводов внутриквартальной сети; $L+l$ – длина внутриквартальной канализационной сети; z_1 и z_2 – отметки поверхности земли соответственно у наиболее удаленного колодца внутриквартальной сети и у места присоединения этой сети к уличной; Δd – разница в диаметрах трубопроводов уличной и внутриквартальной сети.

В результате гидравлического расчета канализационной сети по расходом с учетом рельефа местности определяют диаметры и уклоны трубопроводов и составля-

ют продольный профиль канализационной сети. На этом профиле указывают диаметры и уклоны труб, длина расчетных участков, глубины заложения труб, отметки поверхности земли и лотков труб.

При проектировании канализационной сети необходимо определять диаметры и уклоны трубопроводов из условия, чтобы скорость потока с расчетным расходом была в них больше самоочищающейся и меньше наибольшей допустимой, а наполнение не превышало допустимых значений.

Исследованиями, выполненными в последние годы, установлено, что движение жидкости в канализационных сетях может происходить не только при режиме, соответствующем квадратичной области сопротивления, но и при режиме, соответствующем переходной области, в которой коэффициент C зависит от гидравлического радиуса, шероховатости и числа Рейнольдса. Вследствие этого для гидравлического расчета канализационной сети применяют обобщенные формулы сопротивлений.

Список литературы

1. Абрамов Н.Н. Водоснабжение. Учебник для вузов. 3-е изд. –М.:, стройиздат, 1982 -440с.
2. Альтшуль А.Д. Гидравлические сопротивления. –М.: Недра, 1982.-222 с.
3. Канализация / С.В.Яковлев, Я.А.Карелин, А.И.Жуков, С.К.Колобанов. Под ред. С.В.Яковлева. –М.: Стройиздат, 1985- 632 с.
4. КМК 2.04.03 -97. Канализация. Наружные сети и сооружения. –Ташкент.Госкомархстрой РУз, 1997 -148 с.
5. Лукиных Н.А., Лукиных А.А. Таблицы для гидравлического расчета канализационных сетей и дюкеров. –М.: Стройиздат, 1974 -153 с.
6. Федоров Н.Ф., Курганов А.М., Алексеев М.И. Канализационные сети. Примеры расчета. –М.:, Стройиздат, 1985 -224 с.
7. Чугаев Р.Р. Гидравлика. Учебник для вузов. 4-е изд. –Л.: Энергоиздат. Ленинградское отделение, 1982 -672 с.