

катастроф.

1.Абрамов Н.Н. Надежность систем водоснабжения. – 2-е изд. – М.: Стройиздат, 1984. – 216 с.

2.Ильин Ю.А. Надежность водопроводных сооружений и оборудования. – М.: Стройиздат, 1985. – 240 с.

3.Самойленко Н.И., Сенчук Т.С. Функциональная надежность магистральных трубопроводных транспортных систем. – Харьков: НТМТ, ХНАГХ, 2009. – 276 с.

4.Samoilenko M.I. On emergency localisation in water supply networks. Pros. of the Third International Congress on Industrial and Applied Mathematics. – Hamburg, 1995. – P.127-131.

*Получено 10.11.2011*

УДК 628.218

В.Р.ЧУПИН, д-р техн. наук, И.В.МАЙЗЕЛЬ, Р.В.ЧУПИН, кандидаты техн. наук  
*Национальный исследовательский Иркутский государственный технический университет  
(Российская Федерация)*

## **ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМ ПОВЕРХНОСТНОГО ВОДОСТОКА**

Излагается методика комплексной оптимизации системы поверхностного водосбора.

Викладається методика комплексної оптимізації системи поверхневого водозбору.

The article deals with methodology of complex system of the surface water collections optimization.

*Ключевые слова:* ливневая канализация, оптимизация параметров трубопроводов и сооружений.

Ливневая канализация (ЛК) является одной из важнейших составляющих систем жизнеобеспечения городов, населенных пунктов и промышленных предприятий. Назначение ЛК заключается в предотвращении подтопления и затопления селитебных территорий, их загрязнения и загрязнения прилегающих водоемов.

Следует отметить, что в последние годы этим системам не уделялось должного внимания. В итоге, многие коллекторы просто заилены, другие разрушены и пришли в негодность. Например, в городе Иркутске из 61 км коллекторов ЛК 31 км находится в аварийном состоянии (разрушены, либо не удовлетворяют по пропускной способности). Как следствие, происходит разрушение дорожного полотна, вымывание грунта, загрязнение водоемов. Из-за существенного увеличения количества транспортных единиц загрязнения стали более насыщенными тяжелыми металлами и другими опасными элементами. Перечисленные обстоятельства делают задачу реконструкции и развития ЛК актуальной.

С учетом сложившейся ситуации, задача оптимизации параметров

развивающихся систем ЛК можно сформулировать следующим образом. Учитывая площади поверхностного водостока, необходимо определить такие диаметры новых и реконструируемых коллекторов, места установки насосных станций и напорных трубопроводов, объемы регулирующих резервуаров и очистных сооружений, которые бы были минимальны по затратам и соответствовали техническим, гидравлическим, экологическим и другим требованиям. При этом в качестве критерия оптимизации следует принять минимум приведенных расчетных затрат, либо в качестве сопутствующих можно принять минимум объемов земляных работ, минимальное или максимальное время добегания и др.

Согласно СНиП 2.04.03-85 «Канализация. Наружные сети и сооружения» [1] и рекомендаций по расчету систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока [2], расходы дождевых вод в коллекторах дождевой канализации  $q_r$ , л/с, определяются методом предельных интенсивностей. Расчетный расход сточной жидкости вычисляется по формуле

$$q_r = \frac{z_{mid} A^{1,2} F}{t_r^{1,2n-0,1}}, \quad (1)$$

где  $z_{mid}$  – среднее значение коэффициента, характеризующего поверхность бассейна стока;  $F$  – расчетная площадь стока, га;  $t_r$  – расчетная продолжительность дождя, равная продолжительности протекания поверхностных вод по поверхности и трубам до расчетного участка, в мин.

$$A = q_{20} \cdot 20^n \left( 1 + \frac{\lg P}{\lg m_r} \right)^\gamma,$$

где  $q_{20}$  – интенсивность дождя, л/с на 1 га, продолжительностью 20 мин при периоде однократного превышения расчетной интенсивности дождя, равного 1 год;  $n, \gamma$  – показатели степени;  $m_r$  – среднее количество дождей за год.

Расчетную продолжительность протекания дождевых вод по поверхности и трубам  $t_r$ , мин, следует вычислять по формуле

$$t_r = t_{con} + t_{can} + t_p,$$

где  $t_{con}$  – продолжительность протекания дождевых вод до уличного лотка, а при наличии дождеприемников в пределах квартала, до уличного коллектора (время поверхностной концентрации), мин, определяется по расчету или принимается в населенных пунктах при отсутствии внутриквартальных закрытых дождевых сетей равной 5-10 мин. При их наличии принимается равной 3-5 мин;  $t_{can}$  – то же, по уличным лоткам до дождеприемников (при отсутствии их в пределах квартала), определяет-

ся по формуле

$$t_{can} = 0,021 \sum \frac{l_{can}}{v_{can}},$$

где  $l_{can}$  – длина участков лотков, м;  $v_{can}$  – расчетная скорость течения на участке, м/с;  $t_p$  – то же, по трубам до рассчитываемого сечения, определяется по формуле

$$t_p = 0,017 \sum \frac{l_p}{v_p},$$

где  $l_p$  – длина расчетных участков коллектора, м;  $v_p$  – расчетная скорость течения на участке, м/с.

Расчетный расход по участкам ЛК для гидравлического расчета (определение диаметров, уклонов и т.д) следует определять с учетом коэффициента  $\beta$ , учитывающего заполнение свободной емкости сети в момент возникновения напорного режима:

$$q_{cal} = \beta \cdot q_r.$$

Гидравлический расчет начинается с самого длинного коллектора и с самого удаленного участка, расположенного на самых низких отметках в направлении к узлу сброса или к очистным сооружениям. При этом расход на участках вычисляется на основе нарастающих площадей (собственных и общих) и времени движения стоков по лоткам и трубам. Время движения стока по лоткам и трубам определяется следующим образом. Сначала задаются некоторыми скоростями, затем определяется диаметр трубопровода и находится «истинное» значение скорости, на основе которого корректируется расход в сечении. Далее снова определяется диаметр, уклон и скорость. Такие вычисления повторяются (по схеме простых итераций) до тех пор, пока точность вычислительного процесса будет в пределах 10%. При определении диаметров учитываются незаиливающие и неразрушающие скорости. Расход и, соответственно, диаметр на последующих участках принимается равным или большим, чем на предыдущих. Уклон, соответственно, должен быть больше значения  $\alpha/d$  ( $\alpha = 1 \div 1,3$ ). Соединение труб – «шелыга в шелыгу». Заглубление дна лотка для диаметров до 500мм должно быть не меньше глубины промерзания минус 0,3; для диаметров от 500мм и выше – не менее глубины промерзания минус 0,5. Для больших диаметров и в особых случаях верх трубы должен иметь заглубление не менее 0,7м. Максимальная глубина залегания лотков коллекторов – не более 6м. Для местности с большими уклонами устраиваются перепады и трубчатые быстротоки с водобойными колодцами-гасителями скорости. Скорость

на быстроходах из металлических труб должна быть не более 10 м/с, для неметаллических – 7 м/с. В случае превышения этой скорости, участок разбивается на подучастки, т.е. устраивается каскад быстроходов или перепадов.

Расчет канализационных сетей производится при условии равномерного движения воды в них и, следовательно, по двум основным формулам:

$$q = \omega \cdot v; \quad v = c \cdot \sqrt{R \cdot i}, \quad (2)$$

где  $q$  – расход воды в м<sup>3</sup>/с;  $\omega$  – площадь живого сечения, м<sup>2</sup>;  $c$  – коэффициент Шези;  $R$  – гидравлический радиус, м;  $i$  – уклон трубопровода.

Если учесть, что для дождевой сети расчет производится из условия работы полным сечением, формулу (2) нетрудно привести к виду:

$$d = \frac{1,55 \cdot q^{0,375} \cdot n^{0,375}}{i^{0,1875}}, \quad (3)$$

где  $d$  – диаметр коллектора, м;  $n$  – коэффициент шероховатости.

Скорость стоков ограничена снизу и сверху

$$V_{\min} \leq V \leq V_{\max}, \quad (4)$$

где  $V = \frac{1,27 \cdot q}{d^2}$ .

Для полного сечения определяется  $V_{\min} = 11,02 \cdot W_0 \cdot d^{0,2}$ , где  $W_0$  – гидравлическая крупность частиц ( $W_0 = 0,0944$  м/с, что соответствует частицам песка размером 1,04 мм).

При выборе оптимального варианта развития оценить значения капиталовложений можно только за весь период развития, поскольку так или иначе будет наблюдаться эффект их омертвления или нерациональное вложение по этапам развития и реконструкции. Следовательно, приведенные затраты можно представить в виде суммы двух слагаемых:

$$Z = \sum_{t=1}^T k_t \cdot E_k + \sum_{t=2}^T u_t \cdot E_n,$$

где  $T$  – период развития системы, год;  $t$  – этап развития, год;  $k_t$  – капиталовложения на этапе развития, млн.руб.;  $E_k$  – коэффициент приведения разновременности капиталовложений;  $u_t$  – издержки, которые появляются после ввода объекта в эксплуатацию (например, с этапа 2);  $E_n$  – коэффициент разновременности издержек.

В общем виде приведенные расчетные затраты можно представить как функцию векторов расхода транспортируемой сточной воды, диаметров и уклонов трубопроводов, напоров насосных станций и перепад-

ных сооружений, величины заглубления лотка и верха трубопроводов:

$$Z = F(q, d, i, H, P). \quad (5)$$

В связи с этим задачу оптимизации развития системы дождевой канализации можно в общем виде сформулировать как минимизацию функции в (4) при выполнении следующих ограничений:

$$\underline{D}_i^{don} \leq d_i \in D_i \leq \overline{D}_i^{don}, \quad (6)$$

$$\underline{i}_i^{don} \leq i_i \leq \overline{i}_i^{don}, \quad (7)$$

$$\underline{P}_j \leq P_j \leq \overline{P}_j, \quad (8)$$

$$d_{i+1} \geq d_i. \quad (9)$$

Ограничения (6) обозначают, с одной стороны, то, что диаметры имеют дискретные значения, с другой – их величина будет зависеть от минимально и максимально допустимых скоростей (4). Условия (7), (8) – это ограничения по величине уклона и заглублению лотка коллекторов. Выражение (9) отражает то, что последующий по потоку диаметр коллектора должен быть не меньше предыдущего.

Среди оптимизируемых величин в (5) можно выделить две группы: первая из них – вектор расходов транспортируемого стока  $q$  – определяет структурные особенности системы (связи между узлами, их число, места расположения регулирующих емкостей, очистных сооружений и др.); вторая (векторы,  $d, i, H, P$ ) характеризуют отдельные элементы системы (диаметры коллекторов, параметры насосных станций и перепадных сооружений). Естественно, одновременная оптимизация по этим группам переменных приведет к чрезмерному усложнению задачи и трудностям в формализации ее решения. Общую проблему оптимизации системы ЛК можно разбить на несколько подзадач меньшей размерности с возможностью поочередной фиксации тех или иных переменных, относительно которых ставится и решается соответствующая задача с многократной (при необходимости) увязкой решений этих задач в едином итеративном процессе. Такой подход во многом соответствует сложившейся технологии проектирования этих систем, когда в первую очередь осуществляется обоснование схемы (структуры и трассы), а затем производится обоснование параметров новых и реконструируемых сооружений.

Оптимизацию параметров реконструируемых систем ЛК предлагается осуществлять по схеме динамического программирования. Начиная от «висячих» узлов схемы, организуется наращивание условно-оптимальных решений в направлении к корню дерева. В корне дерева выбирается наилучший вариант из числа условно-оптимальных решений и

восстанавливаются оптимальная траектория управления по уклонам и напорам и соответствующие ей оптимальные параметры СВО.

Для оптимизации структуры и трассы коллекторов ЛК предложена методика поконтурной минимизации, которая сводится к ограниченному и целенаправленному перебору вариантов деревьев избыточной схемы (графа). При этом каждый вариант оценивается по приведенным затратам.

Данная методика и программный комплекс успешно прошли апробацию при обосновании схемы развития системы ЛК г.Иркутска (рисунок).



Схема централизованной системы отведения поверхностных вод г.Иркутска

- 1.СНиП 2.04.03-85. Канализация. Наружные сети и сооружения.
- 2.Рекомендации по расчету систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока с селитебных территорий, площадок предприятий и определению условий выпуска его в водные объекты. – М.: ФГУП "НИИВОДГЕО", 2006.

*Получено 07.11.2011*