

УДК 661.631:502.36.65.

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ ВОДООТВЕДЕНИЯ С
ПРОМПЛОЩАДОК ХИМИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

Канд. техн. наук М.Б.Тлебаев

Рассматривается изучение функционирования и эффективности водоотводящих систем при помощи математических моделей, описывающих различные технологические процессы. Приводятся алгоритмы расчета: дождевой водоотводящей сети с промплощадок, коэффициента смещения сточных вод с водой водоема, первичных отстойников, вторичных отстойников.

Сточные воды образуются от атмосферных осадков на промплощадке, полива территории и зеленых насаждений. Если стоки от полива территории и зеленых насаждений, от производства можно прогнозировать, то от атмосферных осадков становится с каждым годом труднее из-за изменения климатических условий в южном регионе Казахстана.

Проблема воздействия ливневого стока с промышленных площадок химических предприятий и городских территорий на функционирование и эффективность водоотводящих (канализационных) систем изучалась, в основном, при помощи математических моделей, описывающих различные технологические процессы. Математические модели технологических процессов, будучи детерминированными, построены на принципе системности, т.е. каждый отдельный процесс, рассматривается как элемент более сложной производственной системы и на более высоком иерархическом уровне - как элемент эколого-экономической системы.

Для анализа системы водоотведения в целом необходимо построить две модели: одну для дождевой водоотводящей сети промплощадок и связанных с ней сооружений, а другую - для предприятия по очистке сточных вод. Информационная структура представлена на рис. Стрелками обозначены потоки информации между моделями. Работа моделей автономна и независима от системы. Капитальные и текущие затраты на различные элементы (блоки) системы

вычисляются поэтому отдельно в каждой модели (помимо экономико-математической модели, анализирующей суммарные затраты).

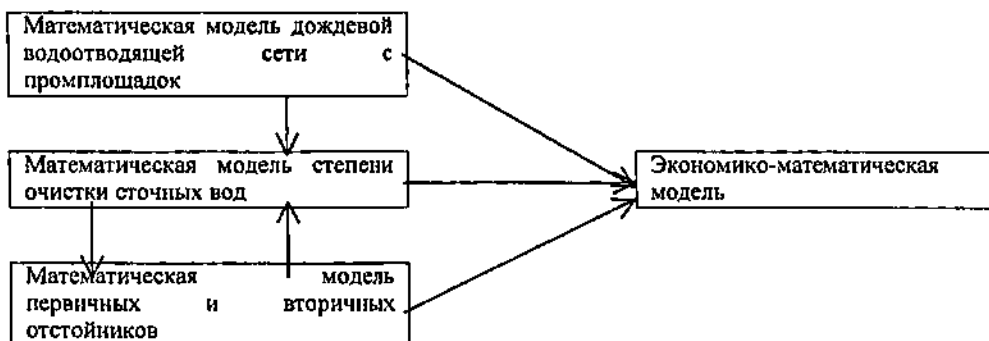


Рис. Информационная структура системы водоотведения

Программное обеспечение системы связано с единством формализованного и неформализованного описания сложных моделируемых процессов и явлений, что позволяет использовать и хранить данные одной программы с целью использования их другими программами, как на нижнем уровне иерархии, так и на верхнем. Такой способ позволяет не только обмениваться входными и выходными данными существующих в системе программ, но и накапливать информацию, с помощью которой можно изучить функционирование этого предприятия на протяжении целого года, варьируя при этом такие элементы системы, как ливневые водосливы, накопительные резервуары для дождевой воды и прочие.

Основной целью модели дождевой водоотводящей сети промплощадок и связанных с ней сооружений, было математическое описание структуры ливневого стока в водоотводящей сети, чтобы знать изменения стока в любой точке сети для каждой минуты выпадения осадков при заданных характеристиках дождя.

Для определения расчетного расхода сточных вод заданного периода однократного превышения расчетной интенсивности стока принят метод предельных интенсивностей, согласно которому расчетная продолжительность дождя равна продолжительности протока от наиболее удаленной точки бассейна водосбора до расчетного сечения с учетом влияния накопительной способности водоотводящей сети и действительную скорость воды в трубах, заполненных лишь частично систем.

Свойства принятые при построении модели дождевой водоотводящей сети:

- интенсивность атмосферных осадков меняется в зависимости от времени и для каждой минуты выпадения осадков она задается;
- коэффициент стока меняется от времени, т.е. для каждой минуты выпадения осадков задаются разные коэффициенты;

- учитывается накопительная способность каждой из линий водоотводящей сети;
- накопительные емкости могут быть присоединены в любой точке сети;
- ливневые водосливы могут рассматриваться в любой точке сети;
- сумма промышленного и бытового потоков сточных вод (вместе с инфильтрованной водой) рассматривается как постоянный во времени сток. Каждой линии водоотведения приписывают свою собственную величину "производства" сточных вод;
- забор свежей воды (обеспечиваемые, например, насосными станциями) могут задаваться в любой точке сети;
- перенос загрязнений в единицу времени будет вычисляться в любой заданной точке системы как функция времени, прошедшего с начала выпадения осадков. Составляющая загрязнений задается вместе с входной информацией о ливневом стоке. Она выражена определенным значением для каждой минуты после начала дождя. Количество загрязнений, производимых каждым цехом за сутки, также должно быть задано. Вычисляется суммарный объем этой составляющей, сбрасываемый через ливневые водосливы;
- помимо вычисления расхода воды ($\text{дм}^3/\text{с}$) и переноса загрязнений (г/с) из модели можно найти, какие наименьшие стандартные размеры труб для любых рассматриваемых водоотводящих линий обеспечивают отсутствие противотоков для каждого конкретного дождя;
- экономико-математическая модель вычисляет капитальные затраты на всю сеть водоотводящих труб.

Алгоритм расчета дождевой водоотводящей сети с промплощадки

Условный расход дождевых стоков ($\text{м}^3/\text{с}$) определяют по методу предельных интенсивностей

$$q = z_{mid} A^{1,2} / t_r^{1,2n-0,1} \quad (1)$$

где z_{mid} - среднее значение коэффициента, характеризующего поверхность бассейна стока; A , n - параметры, зависящие от географического положения местных условий [1]; t_r - расчетная продолжительность дождя, с.

Параметр A определяют по формуле

$$A = q_{20} \cdot 20^n (1 + \lg P / \lg m_r)^\gamma \quad (2)$$

где q_{20} - интенсивность дождя, $\text{дм}^3/(\text{с} \cdot \text{га})$ (для данной местности принимают продолжительность дождя 20 мин при $P=1$ год); P - период однократного превышения расчетной интенсивности дождя, год; m_r - среднее количество дождей за год; γ - показатель степени, зависящий от географического положения местных условий.

В табл. 1 даны вычисленные значения $(1+\lg P/\lg m_r)^{\gamma}$ для указанных P .

Таблица 1

Значения выражения $(1+\lg P/\lg m_r)^{\gamma}$ для различных P

P	0,33	0,5	1	1,5	2	3
$m_r = 150; \gamma = 1,54$						
$(1+\lg P/\lg m_r)^{\gamma}$	0,68	0,795	0,1	1,127	1,221	1,357

Прод.табл.

0,33	0,5	1	1,5	2	3
$m_r = 120; \gamma = 1,33$					
0,704	0,812	1	1,114	1,197	1,316

Расчетный расход дождевых стоков (m^3/c)

$$q_r = \beta q_0 F \quad (3)$$

где β - коэффициент, учитывающий заполнение свободной емкости сети в момент возникновения напорного режима [1].

Коэффициент β определяют в зависимости от показателя степени n (см. табл.2):

Таблица 2

Значения коэффициента β

N	$\leq 0,4$	0,5	0,75	$\geq 0,7$
β	0,8	0,6	0,7	0,65

Уточненный расход дождевого стока (m^3/c)

$$q_{cat} = \rho q_r \quad (4)$$

Продолжительность протока дождевых вод по поверхности и трубам

$$t_r = t_{con} + t_{can} + t_p, \quad (5)$$

где t_{con} - продолжительность протекания дождевых вод до уличного лотка или при наличии дождеприемников в пределах квартала до уличного коллектора (время поверхностной концентрации), с; t_{can} - тоже, по уличным лоткам до дождеприемника, с

$$t_{can} = 0,021 \sum (l_{can} / v_{can}), \quad (6)$$

где l_{can} - длина участка лотков; м; v_{can} - расчетная скорость течения на участке, м/с; t_p - продолжительность протекания дождевых вод по трубам до рассчитываемого сечения

$$t_p = \sum (l_i / v_i). \quad (7)$$

Коэффициент интенсивности дождевого стока

$$\rho = [t_{\text{con}} / (t_{\text{con}} + t_p)]^n. \quad (8)$$

Продолжительность протекания дождевых вод до уличного лотка принята $t_{\text{con}} = 5$ мин.

Уточненный диаметр труб дождевой сети (м)

$$d_{\text{cal}} = 1,13 \sqrt{d_{\text{cal}} / v_{\text{cal}}} \quad (9)$$

Для вычисления расчетного гидравлического уклона принята формула [2]

$$I = 0,00124 v^2 / d^{4/3} \quad (10)$$

Отметка лотка трубы в конце участка (м)

$$z_{\kappa}^n = z_{\Pi}^n - il - (d_g - d_1) = z_{\Pi}^n - il - d_g + d_1, \quad (11)$$

где z_{Π}^n - отметка лотка трубы в начале участка, м, определяют по общезвестной методике; d_g - диаметр трубы на участке, м; d_1 - диаметр трубы на предыдущем участке, м.

Глубина заложения труб в начале участка (м)

$$h_{\Pi}^n = z_{\Pi}^r - z_{\Pi}^n, \quad (12)$$

где z_{Π}^r - отметка поверхности земли в начале участка, м.

Глубина заложения труб в конце участка (м)

$$h_{\kappa}^n = z_{\kappa}^r - z_{\kappa}^n, \quad (13)$$

где z_{κ}^r - отметка поверхности земли в конце участка, м.

Алгоритм расчета коэффициента смещения сточных вод с водой водоема

Расчет коэффициента смещения принят по методу Фролова-Родзиллера [3]. Коэффициент смещения

$$a = (1 - e^{-\alpha \sqrt[3]{l}}) / [1 + (Q/q) e^{-\alpha \sqrt[3]{l}}], \quad (14)$$

где l - расстояние по фарватеру реки от места выпуска сточных вод до расчетного створа, м; α - коэффициент, учитывающий гидравлические факторы смещения; Q - расход воды водоема в створе реки у места выпуска сточных вод, м³/с; q - расход сточных вод, выпускаемых в водоем (среднесуточный), м³.

Коэффициент, учитывающий гидравлические факторы смещения,

$$\alpha = \zeta \phi^3 \sqrt{E/q}, \quad (15)$$

где ζ - коэффициент извилистости реки - отношение длины реки по фарватеру от места выпуска сточных вод до расчетного створа l_{ϕ} к длине реки по прямой на этом же участке $l_{\text{пр}}$, т.е. $\zeta = l_{\phi} / l_{\text{пр}}$; ϕ - коэффициент, зависящий от места выпуска: при выпуске у берега $\phi = 1$, при выпуске фарватер $\phi = 1,5$; E - коэффициент турбулентной диффузии

$$E = vH / (2Cm), \quad (16)$$

v - средняя скорость течения реки на участке между выпуском сточных вод и расчетным створом, м/с; H - средняя глубина реки на том же участке, м; C - коэффициент Шези, для равнинных рек $C=40$; m - коэффициент шероховатости Буссинеску

$$m = 24 / 9,81 \approx 2,5 \quad (17)$$

При указанных значениях m и C $2mC=200$, тогда

$$E = vH / 200$$

Кратность разбавления

$$n = (Q + q) / q \quad (18)$$

Предельно допустимое содержание взвешенных веществ в воде водоема при смешивании со сточной жидкостью определяют по формуле

$$C_{ex} = C_{lim}(aQ/q + 1) + C_p \quad (19)$$

где C_{lim} - допустимое по санитарным нормам увеличение концентрации взвешенных веществ реки после спуска в водоем сточных вод, мг/дм³ ($C_{lim}=0,25$); C_p - содержание взвешенных веществ в воде водоема (реки), мг/дм³ ($C_p=15$); Q - расход воды в водоеме, м³/с; q - среднесуточный расход сточных вод, м³/с.

Степень очистки

$$P = \frac{C_{en} - C_{ex}}{C_{en}} 100\% \quad (20)$$

где C_{en} - содержание взвешенных веществ в стоках, поступающих на очистные сооружения, мг/л.

Алгоритм расчета первичных отстойников

Гидравлическая крупность задерживаемых частиц (мм/с)

$$U_0 = \frac{1000 H_{set} K_{set}}{t_{set} (K_{set} H_{set} / h_1)^n}, \quad (21)$$

где H_{set} - глубина проточной части отстойника, м; K_{set} - коэффициент использования объема проточной части отстойника; t_{set} - продолжительность отстаивания, соответствующая заданному эффекту очистки и полученная в лабораторном цилиндре в слое h_1 , с; n - коэффициент, зависящий от агломерации взвеси в процессе осаждения.

Производительность отстойника горизонтального типа (м³/ч)

$$q_{set} = 3,6 K_{set} L_{set} B_{set} (U_0 - v_{ib}), \quad (22)$$

где L_{set} - длина секции, отделения, м; B_{set} - ширина секции отделения, м; v_{ib} - турбулентная составляющая, мм/с, зависящая от скорости потока в отстойнике v_{or} .

Производительность отстойника радиального типа (м³/ч)

$$q_{set} = 2,8 K_{set} (D_{set}^2 - d_{en}^2) (U_0 - v_{ib}), \quad (23)$$

где D_{set} - диаметр отстойника, м; d_{en} - диаметр входного устройства, м.

Число отстойников любого типа

$$N = q_w / q_{set}, \quad (24)$$

где q_w - расход сточных вод, $\text{м}^3/\text{ч}$.

Количество осадка ($\text{м}^3/\text{ч}$)

$$Q_{mud} = q_w C_{en} \varepsilon t / [(100 - P_{mud}) \gamma_{mud} \cdot 10^6] \quad (25)$$

где C_{en} - концентрация взвешенных веществ в сточной жидкости перед отстойником, мг/л ; ε - эффективность отстаивания сточной жидкости, %; t - продолжительность хранения осадка, ч; P_{mud} - влажность осадка, %; γ_{mud} - плотность осадка, г/см^3 .

Алгоритм расчета вторичных отстойников

Нагрузка на поверхность вторичных горизонтальных отстойников после биофильтров [$\text{м}^3/\text{ч}$]

$$q_{ssb} = 3,6 K_{set} U_0 \quad (26)$$

После азротенков

$$q_{ssa} = 4,5 K_{ss} H_{set}^{0,8} / (0,1 I_i a_i)^{0,5-0,01 a_i}, \quad (27)$$

где K_{ss} - коэффициент использования объема зоны отстаивания, (для радиальных отстойников - 0,4, вертикальных - 0,35, вертикальных с периферийным впуском - 0,5, горизонтальных - 0,45); I_i - иловый индекс, $\text{см}^3/\text{г}$; a_i - доза активного ила в азротенке, не более 15 мг/дм^3 ; a_r - доза ила в осветленной воде, не менее 10 мг/дм^3 [1].

Общая площадь отстойников (м^2)

$$F_{ssa} = q_w / q_{ssa} \quad (28)$$

Число отстойников должно быть не менее трех, тогда площадь одного отстойника

$$F'_{ssa} = F_{ssa} / N \quad (29)$$

Диаметр радиальных отстойников (м)

$$D_{set} = 1,13 \sqrt{F'_{ssa}} \quad (30)$$

Длина горизонтальных отстойников (м)

$$L_{ss} = F_{ssa} / B_{ss} \quad (31)$$

Количество задерживаемого осадка ($\text{м}^3/\text{сут}$) вторичными отстойниками после биофильтра

$$Q_{mud} = 28N / [(100 - P_{mud}) \gamma_{mud} \cdot 10^4], \quad (32)$$

где N - приведенное число жителей, чел; P_{mud} - влажность осадка, для биопленки $P_{mud} = 96\%$; γ_{mud} - плотность осадка, г/см^3 .

Количество задерживаемого осадка (м^3) вторичными отстойниками после азротенка

$$Q_{mud} = \frac{q_w [C_{en}(1 - \varepsilon) - C_{ex}] 1,05 t}{(100 - P_{mud}) \gamma_{mud} \cdot 104}, \quad (33)$$

где C_{ex} - концентрация взвеси в очищенных стоках, мг/л, t - продолжительность хранения осадка, ч(сут); ε - эффективность отстаивания сточной жидкости, доли.

Основная цель программного обеспечения заключается в характеристике потоков сточных и дождевых вод через различные части водоотводящей сети и их мониторинг, для чего и была разработана модель сточных и дождевых вод в водоотводящей сети.

Поставленная цель в данной работе решается в среде программирования Delphi Client/Server версии 3.0. Данная среда программирования наиболее удовлетворяет требованиям программ, работающим в режиме реального времени и максимально подходит для создания систем мониторинга. Delphi имеет все возможности, необходимые для создания систем мониторинга - это развитые средства графического интерфейса, мощная поддержка баз данных, наличие специализированных компонентов, существенно облегчающих разработку программ, работающих в режиме реального времени (таймер, потоки и пр.) и возможность разработки собственных компонент.

Система нормально функционирует на машине класса Pentium-133 с объемом ОЗУ 16 Мбайт. Программа работает в режиме реального времени и удовлетворяет всем требованиям к такого рода программам. Она является многопоточковым приложением. Работа с программой осуществляется в интерактивном режиме с помощью системы экранных меню. При разработке программы кроме использования стандартных компонент Delphi были разработаны и применены собственные визуальные и не визуальные компоненты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СНиП 2.04.03-85. Канализация. Наружные сети и сооружения. М., 1986. -С. 18
2. Федоров Н.Ф., Курганов А.М., Алексеев М.И. Канализационные сети. Примеры расчета. М., 1985. -С.263-274.
3. Трегубенко Н.С. Водоснабжение и водоотведение. Примеры расчетов. М.,1989. -С.142-152.

Таразский государственный университет им. М.Х.Дулати

ХИМИЯ ӨНДІРІСІ ӨНЕРКӘСІП АЛАҢДАРЫНАН СУДЫ БҰРУ ЖҮЙЕСІНІҢ МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛІ

Техн.ғыл.канд.

М.Б.Тлебаев

Өртүрлі технологиялық процестерді сипаттауға керекті математикалық модельдің көмегімен суды бұру жүйесінің тиімділігі және оның жұмыс істеу мүмкіншілігі қарастырылған.

Өнеркәсіп алаңдарынан жаңбыр суын бұратын тармақтар, ағынды судың су қоймаларындағы сумен араласу коэффициенті, бірінші су тұндырғыш, екінші су тұндырғыш есептеу алгоритмдері келтірілген.