

330

TALLINNA POLÜTEHNILISE
INSTITUUDI TOIMETISED

ТРУДЫ ТАЛЛИНСКОГО
ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

№ 330

СБОРНИК СТАТЕЙ
ПО
САНИТАРНОЙ ТЕХНИКЕ
VIII

ТАЛЛИН 1972

TALLINNA POLÜTEHNILISE INSTITUUDI TOIMETISED
ТРУДЫ ТАЛЛИНСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

№ 330

1972

Сборник статей по
САНИТАРНОЙ ТЕХНИКЕ

УИИ



1907
KIRJAINEN
1907



УДК 628.356

Х.А.Мельдер, А.Л.Острат

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ АЭРАЦИИ
И ОКИСЛИТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ АЭРОТЕНКА-ОТСТОЙ-
НИКА БИО-25

Наиболее точные данные о гидродинамике и окислительной способности аэрационных сооружений могут быть получены в ходе исследования натуральных установок.

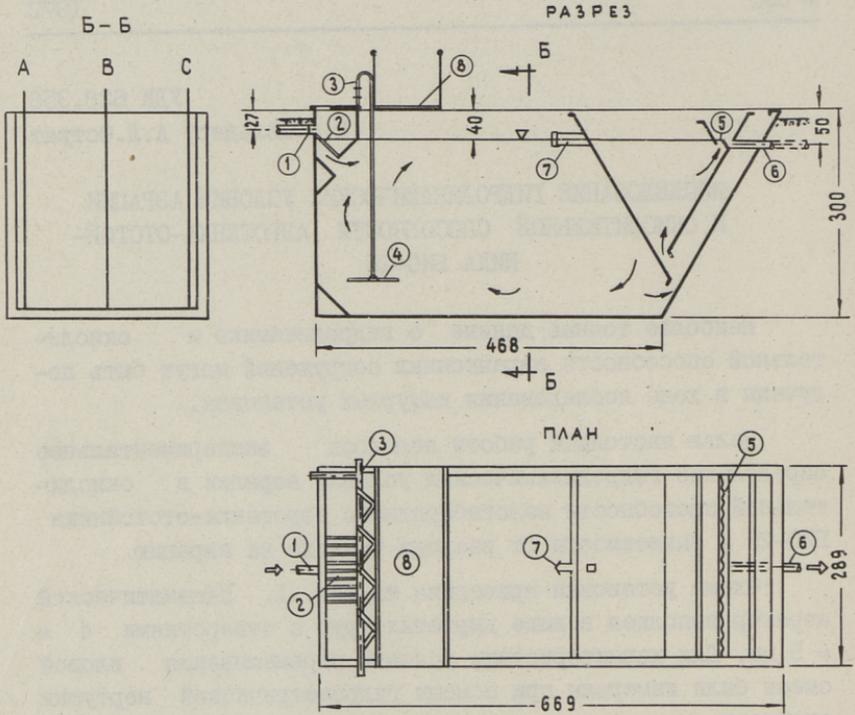
Целью настоящей работы являлось экспериментальное определение гидродинамических условий аэрации и окислительной способности малогабаритного аэротенка-отстойника БИО-25 в зависимости от расхода воздуха на аэрацию.

Схема установки приведена на фиг. 1. Пневматический аэратор выполнен в виде дырчатых труб с отверстиями $d = 5$ мм. Для характеристики условий перемешивания иловой смеси были измерены при помощи гидрометрической вертушки скорости циркуляции в аэрационной камере, в плоскости разреза Б-Б (в трех вертикалях А.В.С), при разных интенсивностях аэрации ($0,9 \dots 3,0$ м³/м³.час). Точки измерения располагались на вертикалях с интервалом 5...15 см. На основе измерений были составлены эпюры скоростей циркуляции (фиг. 2), вычислены циркуляционный расход и удельная транспортирующая способность воздуха (q_v). Анализ этих данных показал, что скорости циркуляции смеси около стенок и в середине аэротенка на одной горизонтали практически одинаковы, удельная транспортирующая способность (q_v) хорошо описывается уравнением

$$q_v = A \cdot \frac{h^{0,65}}{\left(\frac{Q_0}{W_0}\right)^n}, \quad (I)$$

где h - глубина погружения аэратора (м),
 Q_0 - расход воздуха (м³/час),

УСТАНОВКА „БИО-25“

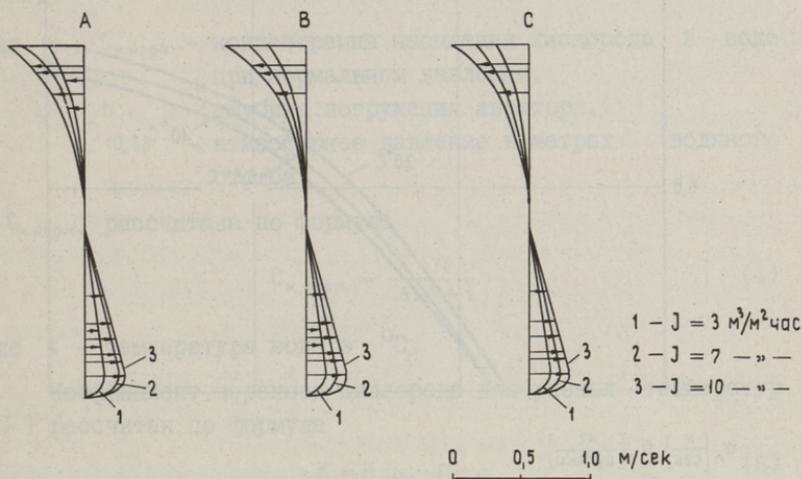


ЭКСПЛИКАЦИЯ:

- | | |
|--------------------------|--------------------------|
| ① подводящий трубопровод | ⑤ перелив |
| ② решетка | ⑥ отводящий трубопровод |
| ③ воздухопровод | ⑦ лоток для отвода корки |
| ④ дырчатая труба | ⑧ мостик |

Фиг. 1.

W_a - объем аэрационной камеры (m^3).



Фиг. 2. Эпюры скоростей циркуляции.

Экспериментально определено, что $A = 1,92$ и $p = 0,45$. Зависимость придонных скоростей от интенсивности аэрации приведена на фиг. 3.

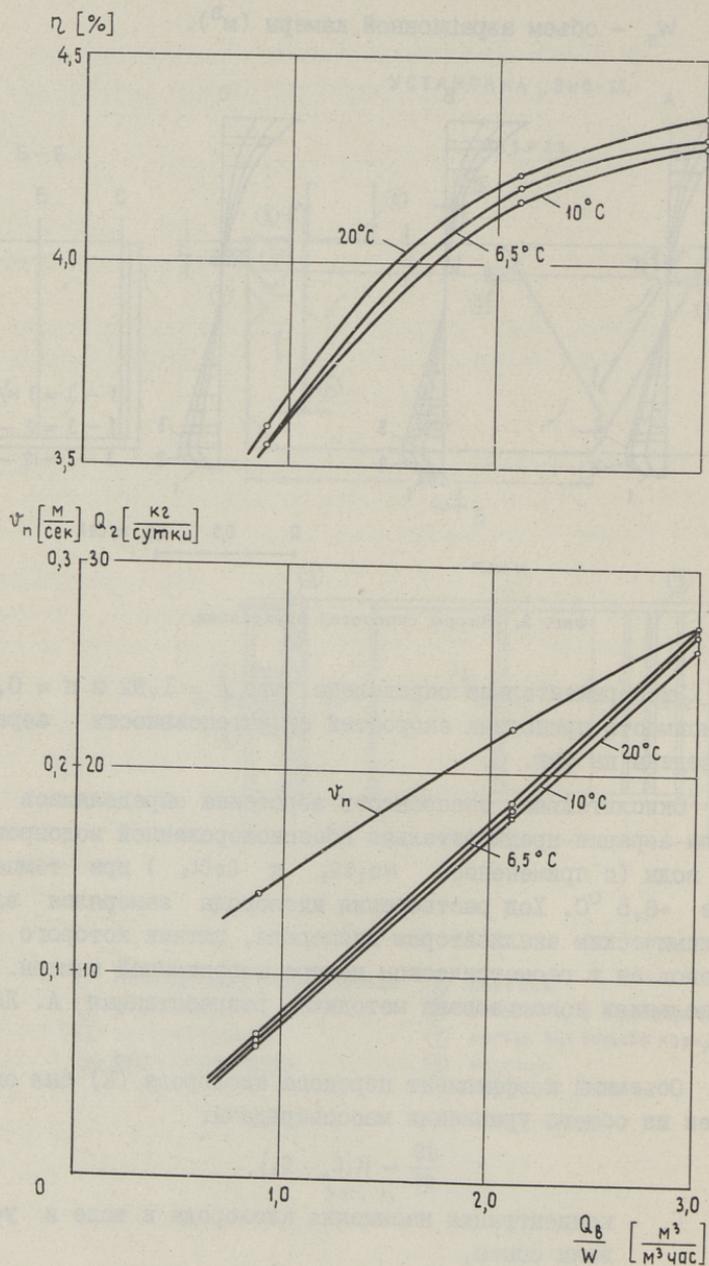
Окислительная способность азотенка определялась методом аэрации предварительно обескислороженной водопроводной воды (с применением Na_2SO_3 и $CoCl_2$) при температуре $+6,5^\circ C$. Ход растворения кислорода замерялся электрохимическим анализатором кислорода, датчик которого был установлен в геометрическом центре аэрационной камеры. При вычислениях использована методика, разработанная А. Ляэне [1].

Объемный коэффициент переноса кислорода (K) был определен из общего уравнения массопередачи:

$$\frac{dO}{dt} = K(C_k - C_t), \quad (2)$$

где C_k - концентрация насыщения кислорода в воде в условиях опыта,

C_t - концентрация кислорода в воде в момент времени t ;



Фиг. 3. Графики зависимости $\nu_n = f\left(\frac{Q_6}{W_d}\right)$; $Q_2 = f\left(\frac{Q_6}{W_d}\right)$; $\eta = f\left(\frac{Q_6}{W_d}\right)$.

$$C_k = C_{k \text{ норм.}} \cdot \frac{10,33 + \frac{h}{2}}{10,33} \quad (3)$$

где $C_{k \text{ норм.}}$ - концентрация насыщения кислорода в воде при нормальном давлении,
 h - глубина погружения аэратора,
 $10,33$ - атмосферное давление в метрах водяного столба.

$C_{k \text{ норм.}}$ рассчитана по формуле

$$C_{k \text{ норм.}} = \frac{475}{33,5 + t} \quad (4)$$

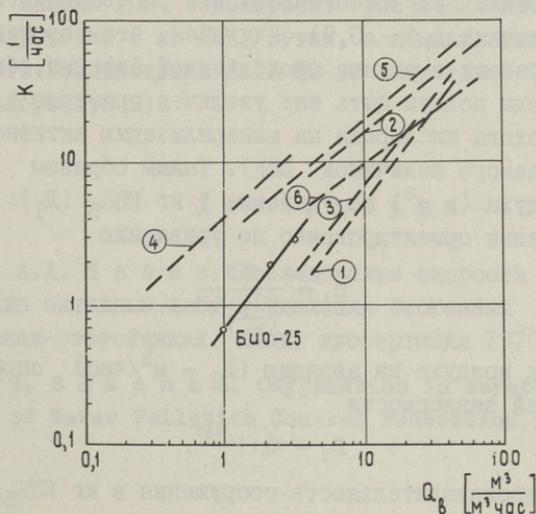
где t - температура воды в $^{\circ}\text{C}$.

Коэффициент переноса кислорода для разных температур (t) рассчитан по формуле

$$K_t = K_{20^{\circ}\text{C}} \cdot n_t \quad (5)$$

где $n_t = 1 + 0,02(t - 20^{\circ})$,

t - температура воды в $^{\circ}\text{C}$.



Фиг. 4. График зависимости $K = f\left(\frac{Q_b}{W_a}\right)$.

Данные опытов Я. Сушки [2]:

- 1, 2, 3, 6 - пневмо-механическая аэрация в лабораторной колонне ($0,1 \text{ м}^3$).
- 4 - то же в полупроизводственном аэротенке ($6,3 \text{ м}^3$).
- 5 - мелкопузырчатая аэрация в лабораторной колонне ($0,1 \text{ м}^3$).

Зависимость коэффициента переноса кислорода от интенсивности аэрации представлена на фиг. 4, причем на тот же график нанесены и опытные данные для разных аэрационных систем, приведенные в литературе [2].

Окислительная способность и количество растворенного кислорода в сутки при полном дефиците рассчитаны по формуле

$$OC = K \cdot C_k. \quad (6)$$

Зависимость количества кислорода, растворенного за сутки от интенсивности аэрации представлена на фиг. 3. Определена также эффективность растворения кислорода (ЭРК) в водопроводной воде по следующей формуле:

$$\eta = \frac{O_{\text{раств.}}}{O_{\text{ббвг.}}} \cdot 100 \%. \quad (7)$$

Зависимость ЭРК представлена также на фиг. 3.

Расход воздуха на удаление органики (по БПК₅) в аэротенке должен определяться с учетом разности растворимости кислорода в водопроводной воде и бытовой сточной воде ($\eta_2 = 0,8$), а также расчетного дефицита растворенного кислорода в аэротенке ($d = 0,9$). Учитывая, что аэротенк рассчитан на работу в режиме продолженной аэрации, общий расход кислорода должен быть еще увеличен примерно в 1,5 раза за счет расхода кислорода на минерализацию активного ила (не учитываемого величиной БПК). Таким образом удельный расход воздуха (в м³) на удаление 1 кг БПК₅ (D₁) может быть определен ориентировочно по уравнению

$$D_1 = \frac{2,0}{\left(\frac{Q_0}{W_a}\right)^{0,16}}. \quad (8)$$

Расход воздуха на аэрацию (D₂ - м³/час) определяется по следующей зависимости

$$D_2 = 10,1 M^{0,85}, \quad (9)$$

где M - производительность сооружения в кг БПК₅/сутки.

Результаты настоящей работы предполагается увязать с данными исследований гидродинамики и массопередачи в разномасштабных геометрически подобных моделях аэрационных сооружений.

В ы в о д ы

1. На основе исследований гидродинамических условий определено, что скорости циркуляции смеси в аэротенке у стенок приблизительно равны скоростям в середине (профили А-В-С), что указывает на равномерность циркуляции.

2. Изменение температуры сточной жидкости в диапазоне 5...+20 °С практически не влияет на количество растворяющегося кислорода.

3. Эффективность растворения введенного воздухом кислорода в установке БИО-25 находится в пределах 3,5...4,5 %.

4. Минимальная экономичная производительность аэротенка БИО-25 по загрязнителям составляет $M = 5,6$ кг БПК₅/сутки, при этом необходимый расчетный расход воздуха $Q_b = 31$ м³/час обеспечивает минимальные скорости циркуляции смеси у дна аэротенка (0,15 м/сек), предотвращающие выпадение активного ила в осадок.

По данным ГПИ "Эстонпроект" расчетная производительность аэротенка 8 кг БПК₅/сутки, а номинальная производительность воздухоподувки IAPII-80-A0 составляет 75,5 м³/час. (при напоре 3,0 м).

Л и т е р а т у р а

1. А.А. Л я э н е. Исследование скорости потребления кислорода активным илом и удаления биогенных элементов в аэротенках-отстойниках. Канд. диссертация 1970.

2. J. S u s c h k a. Oxygenation in aeration tanks. Journal of Water Pollution Control Federation, T 1. No. 1. 1971.

A Study of Hydrodynamic Conditions and
Oxygenation Capability in a Prefabricated
Aeration Tank (BIO-25)

Summary

The purpose of the work was to study the hydrodynamic conditions on aeration and the resulting oxygen transfer.

The circulating amounts of water and different transport capability of air have been found on the basis of the water circulation velocities measured.

On the basis of oxygen transfer velocity the oxygenation capability has been determined.

УДК 628.393

Л.Л. Пааль, К.Р. Хяяль

О ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СУЩНОСТИ КОЭФФИЦИЕНТОВ
 ТУРБУЛЕНТНОЙ ДИФФУЗИИ

В литературе имеется много материалов о сопротивлении течения в открытых руслах. Однако большинство из них относится к руслам с искусственной шероховатостью. Материалов же, описывающих опыты с технической шероховатостью, в литературе сравнительно мало, причем почти во всех случаях не доказывается наличие квадратичной области сопротивления. До сих пор является спорным вопрос об области сопротивления естественных водотоков, несмотря на то, что авторы, ведущие исследования в этом направлении, считают, что естественные водотоки работают в квадратичной области сопротивления.

Существование доквадратичной и квадратичной областей сопротивления зависит, по-видимому, от неравномерного распределения касательных напряжений по периметру русла. В результате исследования касательного напряжения на периметре русла Смутек [1] пришел к выводу, что касательное напряжение распределяется вдоль периметра прямоугольного поперечного сечения приблизительно по логарифмическому закону, причем в углах живого сечения имеется нулевое значение касательного напряжения.

Ниже мы попытаемся охарактеризовать сопротивление открытых русел при помощи коэффициентов турбулентной диффузии. Известное уравнение сохранения скалярной субстанции в турбулентном потоке может быть выражено в виде:

$$\frac{\partial \bar{s}}{\partial t} + \bar{u}_x \frac{\partial \bar{s}}{\partial x} + \bar{u}_y \frac{\partial \bar{s}}{\partial y} + \bar{u}_z \frac{\partial \bar{s}}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} (\overline{s' u'_x}) +$$

$$+ \frac{\partial}{\partial y} (\overline{s' u'_y}) + \frac{\partial}{\partial z} (\overline{s' u'_z}) = 0, \quad (1)$$

где \bar{s} , \bar{u}_x , \bar{u}_y , \bar{u}_z — осредненные по времени значения скалярной субстанции и компонентов скоростей,

s' , u'_x , u'_y , u'_z — пульсационные компоненты соответствующих параметров.

В уравнении (1) эффект конвективного турбулентного движения определяется двойной корреляцией между пульсационными компонентами субстанции и скоростью в турбулентном потоке. Введением в рассмотрение величины "коэффициент диффузии", характеризующей диффузию градиентного типа, получаем по Бусси-неску, что двойная корреляция пульсационных компонентов субстанции и скоростей прямо пропорциональна градиенту вещества и определяется выражением

$$\begin{aligned} \overline{s' u'_x} &= -\kappa_x \frac{\partial \bar{s}}{\partial x}; & \overline{s' u'_y} &= -\kappa_y \frac{\partial \bar{s}}{\partial y}; \\ \overline{s' u'_z} &= -\kappa_z \frac{\partial \bar{s}}{\partial z}, \end{aligned} \quad (2)$$

где κ_x , κ_y , κ_z — коэффициенты турбулентной диффузии скалярной субстанции.

По своей физической сущности величина коэффициента диффузии в данном направлении характеризуется интенсивностью турбулентного потока. Этот процесс можно описать следующим образом. Если вводить какое-либо вещество в определенное место турбулентного течения, то в результате его переноса беспорядочно перемешивающимися струями оно быстро распространяется на весь объем жидкости. Перемещение жидких частиц в турбулентном потоке определяется наличием вихрей, возникновение которых связано с влиянием дна и боковых стенок. Внутри наиболее крупных вихревых образований действуют вторичные более мелкие вихри. Крупные вихри являются наиболее мощными и определяют интенсивность турбулентного потока.

Следовательно, чем больше пульсационные скорости потока, тем крупнее вихри в потоке и тем выше величина коэффициента диффузии. С другой стороны, интенсивность турбулентности потока зависит от сопротивления русла. Поэтому, учитывая указанные причины возникновения турбулентности пото-

ка, следует ожидать прямую связь между коэффициентом турбулентной диффузии и сопротивлением русла.

Следует отметить, что образование крупных вихрей в турбулентном потоке зависит от направления, т.е. в продольном направлении потока эти вихри более интенсивные, чем в поперечном и вертикальном направлениях. Поэтому и величины коэффициента диффузии наблюдаются в продольном направлении большие, чем в других направлениях.

С другой стороны, следует отметить, что продольное перемещение имеет определенные особенности, которые были теоретически проанализированы в работе Г.И. Тэйлора [2]. Если считать, что распределение осредненных по времени скоростей является равномерным, то коэффициент продольной диффузии (в данном случае коэффициент дисперсии) зависит кроме турбулентности потока и от распределения скоростей, т.е. от градиента скорости.

Исходя из уравнения продольной турбулентной диффузии

$$\frac{\partial \bar{s}}{\partial t} + \bar{u}_x \frac{\partial \bar{s}}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial \bar{s}}{\partial x} \right) = 0 \quad (3)$$

и обозначая

$$\begin{aligned} \bar{u}_x &= v_{cp} \pm \Delta u_x, \\ \bar{s} &= s_{cp} \pm \Delta s, \end{aligned} \quad (4)$$

где \bar{u}_x , \bar{s} - скорость и концентрация в данной точке живого сечения потока,

v_{cp} , s_{cp} - средняя скорость потока и средняя концентрация в живом сечении потока,

Δu_x , Δs - отклонение от средних величин скорости и концентрации,

можно интегрировать уравнение (3) по живому сечению потока.

После интегрирования имеем:

$$\frac{\partial \bar{s}}{\partial t} + v_{cp} \frac{\partial \bar{s}}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x} (k_x + k_{xu}) \frac{\partial \bar{s}}{\partial x} = 0. \quad (5)$$

Полученный новый коэффициент $\bar{k}_x = k_x + k_{xu}$ является коэффициентом дисперсии или осредненным по живому сечению потока коэффициентом продольной диффузии. Величина k_{xu} , в свою очередь, учитывает распределение скоростей в поперечном се-

чении потока. При экспериментальном исследовании невозможно выделить отдельные величины k_x и k_{xu} , и в результате обработки экспериментальных данных можно определить только осредненный коэффициент \bar{k}_x .

С гидравлической точки зрения как интенсивность турбулентности, так и градиент распределения скоростей в живом сечении потока зависят от гидравлических показателей русла, в том числе от шероховатости русла. Поэтому для анализа закономерности изменения коэффициента продольной диффузии нет никакой надобности в делении его величины на две части.

Характер диффузии скалярной субстанции в турбулентном потоке определяется граничным условием турбулентности на стенке русла. До сих пор обтекание шероховатости стенки русла исследовалось более подробно в напорных трубопроводах. В части открытых каналов и рек имеются только некоторые работы, касающиеся распределения скорости непосредственно у стенки. Кроме того, как известно, сопротивление открытых русел в доквадратичной области сопротивления зависит от формы поперечного сечения и от типа шероховатости. Следовательно, и коэффициенты турбулентной диффузии должны зависеть от указанных выше факторов.

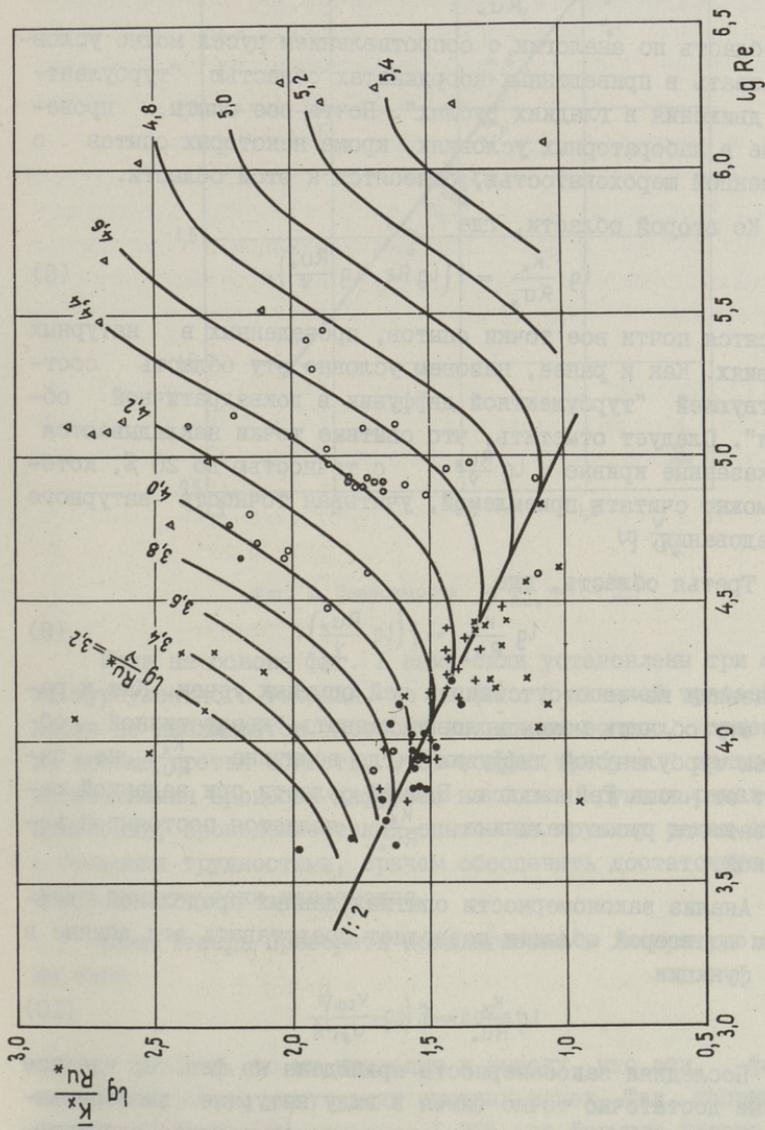
Если считать, что достаточными гидравлическими характеристиками коэффициентов диффузии являются число Рейнольдса Re , динамическая скорость u_* и гидравлический радиус R , то исходя из анализа опытных данных, существует функциональная связь

$$\frac{k_i}{Ru_*} = f\left(Re, \frac{Ru_*}{\nu}\right), \quad (6)$$

где k_i — коэффициент диффузии в направлении i .

Найденные при определении коэффициента продольной диффузии опытные точки Л.Л. Рохусааром [3], Х.Б. Фишером [4] А. Неедли и Я. Пельцем [5] и др., представлены на фиг. I в координатах (6).

Распределение опытных точек на фиг. I позволяет сделать ряд интересных выводов. В общем виде фиг. I напоминает известные в литературе графики Никурадзе и Зегжда, полученные путем экспериментального изучения сопротивления труб и каналов с искусственной равномерной шероховатостью.



Фиг. 1. Зависимость $\frac{K_x}{Ru^*} = f(\lg Re, \frac{Ru^*}{y})$.

На фиг. I можно выделить три области, а именно:
I область, где

$$\frac{K_x}{Ru_*} = 34000 Re^{-0,5}. \quad (7)$$

Эту область по аналогии с сопротивлением русел можно условно назвать в приведенных координатах областью "турбулентного движения в гладких руслах". Почти все опыты, проведенные в лабораторных условиях, кроме некоторых опытов с повышенной шероховатостью, относятся к этой области.

Ко второй области, где

$$\lg \frac{K_x}{Ru_*} = f\left(\lg Re, \lg \frac{Ru_*}{V}\right), \quad (8)$$

относятся почти все точки опытов, проведенных в натуральных условиях. Как и ранее, назовем условно эту область соответствующей "турбулентной диффузии в доквадратичной области". Следует отметить, что опытные точки накладываются на указанные кривые $\lg \frac{Ru_*}{V}$ с точностью до 20 %, которую можно считать приемлемой, учитывая точность натурального исследования.

Третья область, где

$$\lg \frac{K_x}{Ru_*} = f\left(\lg \frac{Ru_*}{V}\right), \quad (9)$$

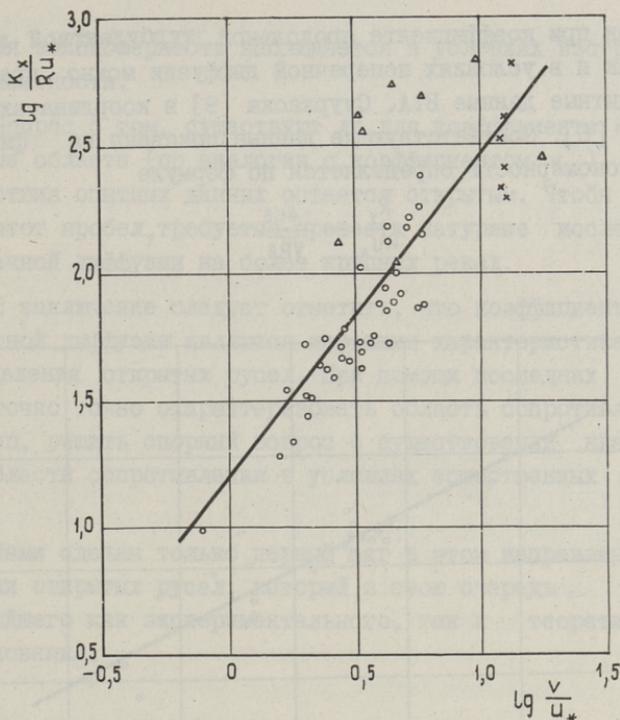
не развита из-за отсутствия в ней опытных точек. Как и ранее, эту область можем условно назвать "квадратичной областью турбулентной диффузии", где величина $\frac{K_x}{Ru_*}$ не зависит от числа Рейнольдса. В этой области при заданной шероховатости русла величина $\frac{K_x}{Ru_*}$ является постоянной величиной.

Анализ закономерности опытных данных продольной диффузии во второй области позволяет представить эти данные в виде функции

$$\lg \frac{K_x}{Ru_*} = f\left(\lg \frac{V_{cp}}{U_*}\right). \quad (10)$$

Последняя закономерность приведена на фиг. 2, где все данные достаточно точно (имея в виду натурные эксперименты) накладываются на прямую линию, которую можно охарактеризовать эмпирической формулой

$$\frac{K_x}{Ru_*} = 16 \left(\frac{V_{cp}}{U_*}\right)^{1,25}. \quad (11)$$



Фиг. 2. Зависимость $\lg \frac{K_x}{Ru_*} = f(\lg \frac{V_{ср}}{u_*})$.

Если на основе фиг. 1 нами были установлены три области турбулентного течения, то на фиг. 2 никакой третьей области не наблюдается. Поэтому возникает вопрос, существует ли вообще третья область. Этот вопрос требует дальнейшего исследования процесса диффузии на более крупных реках. К сожалению, проведение таких опытов на крупных реках связано с большими трудностями, причем обеспечить достаточную точность практически невозможно.

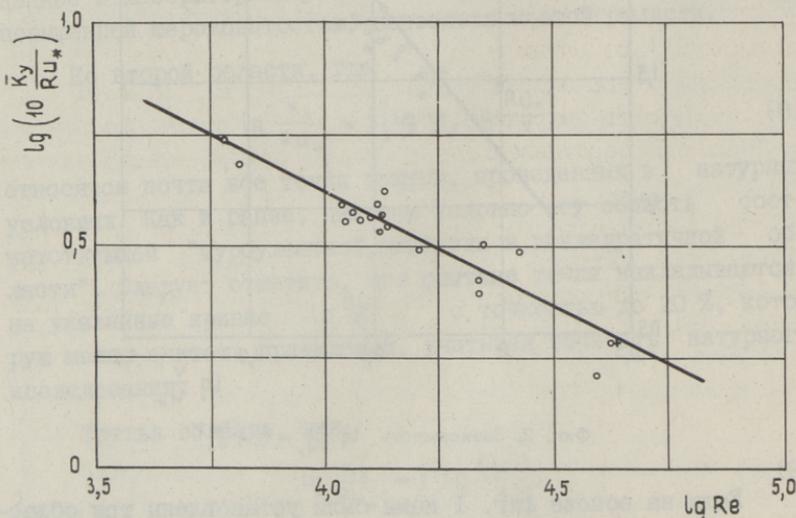
Если теперь проверить предлагаемые в литературе формулы типа

$$\frac{K_x}{Ru_*} = k_1 = \text{const} \quad (12)$$

других авторов, то мы приходим к выводу, что эти формулы охватывают очень узкую зону опытных точек. Так, например, по формуле Тэйлора [2] $\lg k_1 = 1,305$, по формуле Элдера [6] $\lg k_1 = 0,744$, по формуле Траксона [7] $\lg k_1 = 1,075$, по формуле Шервуда и Верца [8] $\lg k_1 = -0,646$, и получаются очень заниженные величины коэффициента продольной диффузии.

Как при коэффициенте продольной турбулентной диффузии, так и в условиях поперечной диффузии можно представить опытные данные В.А. Сууркаска [9] в координатах типа функции [6]. Соответствующие данные показаны на фиг. 3, где закономерность определяется по формуле

$$\frac{K_y}{Ru_*} = \frac{41,6}{\sqrt{Re}} \quad (13)$$



Фиг. 3. Зависимость $\lg \left(10 \frac{K_y}{Ru_*} \right) = f(\lg Re)$.

Приведенные на фиг. 3 результаты доказывают, что безразмерная величина $\frac{K_y}{Ru_*}$ не является постоянной величиной, как предполагали Элдер [5], Сейр и Чембелин [10]. По Элдеру $\lg \left(10 \frac{K_y}{Ru_*} \right) = 0,36$, по формуле Сейра и Чембелина $\lg \left(10 \frac{K_y}{Ru_*} \right) = 0,38$, т.е. они охватывают только узкую зону.

Из формул (7) и (13) следует, что коэффициент продольной диффузии в первой области турбулентного течения во много раз больше, чем коэффициент поперечной диффузии. Поэтому предположения некоторых авторов о том, что величина коэффициента диффузии в открытых руслах не зависит от направления, может привести к неправильным результатам. По-

следняя закономерность наблюдается в условиях изотропной турбулентности.

Вопрос о том, существуют ли для коэффициента k_y и остальные области (по аналогии с коэффициентом k_x), из-за отсутствия опытных данных остается открытым. Чтобы восполнить этот пробел, требуется провести натурные исследования поперечной диффузии на более крупных реках.

В заключение следует отметить, что коэффициенты турбулентной диффузии являются хорошими характеристиками сопротивления открытых русел. При помощи последних можно достаточно точно охарактеризовать область сопротивления и, наконец, решить спорный вопрос о существовании квадратичной области сопротивления в условиях естественных водотоков.

Нами сделан только первый шаг в этом направлении гидравлики открытых русел, который, в свою очередь, требует дальнейшего как экспериментального, так и теоретического исследования.

Л и т е р а т у р а

1. R. S m u t e k. Distribution of shear stress in a rectangular channel. Acta Technica, No. 3, 1957.

2. G. I. T a u l o r. The dispersion of matter in turbulent flow through a pipe. Proc. Royal Society of London, 223, 1954.

3. X. A. В е л ь н е р, Л. Л. П а а л ь, Л. Л. Р о х у - с а а р. К вопросу экспериментального исследования коэффициента продольной диффузии на малых реках. Труды ТПИ, серия А, № 248, 1967.

4. H. B. F i s c h e r. Longitudinal dispersion in laboratory and natural streams. California Institute of Technology, June, 1966.

5. A. N e j e d l y, J. P e l z. Studie podélného mísení v otevřených korytech a jeho vlivu na rychlost biotechnické spotřeby, kyslíku ve vodní prostředí. Praha, 1964.

6. I.W. E l d e r. The dispersion of marked fluid in turbulent shear flow. J. of Fluid Mech. 5, 1959.

7. K.B. S c h n e l l e, E.L. T h r a c k s t o n, P.A. K r e n k e l. Mathematical modelling of dispersion in rivers. Proc. XII Congress IAHR, 1967.

8. T.K. S h e r w o o d, B.B. W o e r t s. Ind. Eng. chem. 31, 1939.

9. В.А. С у у р к а с к. О влиянии ширины потока на поперечную диффузию вещества загрязнения в стационарном потоке. Материалы III Всесоюзного симпозиума по вопросам самоочищения водоемов и смешения сточных вод. Таллин, 1969.

10. W.W. S a u r e, A.R. C h a m b e r l a i n. Exploratory laboratory study of lateral turbulent diffusion at the surface of an alluvial channel. U.S. Geological Survey Circular 484, Washington, D.C. 1964.

L. Paal, K. Hääl

About Hydraulic Character of Turbulent
Diffusion Coefficient

Summary

This paper deals with the relationship of turbulent longitudinal and lateral diffusion coefficients to the flow hydraulic parameters. A method for calculation of turbulent diffusion coefficient in dependence on flow hydraulic parameters is presented for several flow regimes. A critical review of other empirical formulae of turbulent diffusion coefficient has been presented.

УДК 628.16.067.1

А.Я.Кыйв, Э.Р.Каар, Э.Я.Ленк

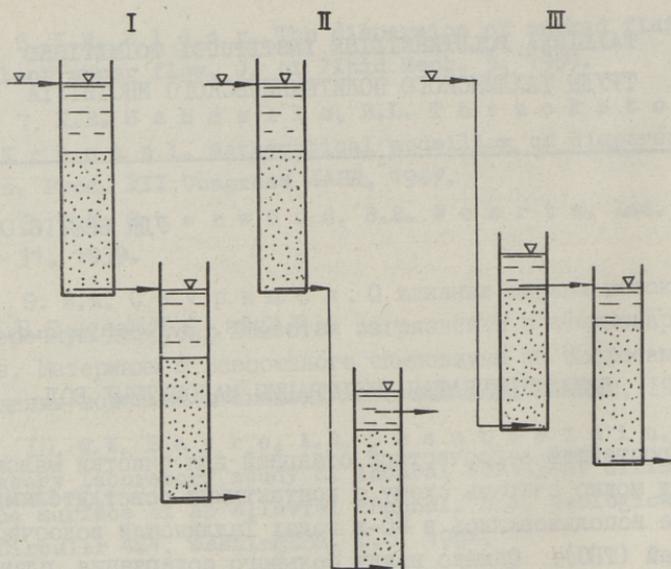
ДВУХСТУПЕНЧАТАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ МАЛОМУТНЫХ ВОД

Простейшей водоочистной станцией для очистки маломутных вод можно считать схему с контактными осветлителями (КО), которые использовались в 50-х годах Таллинской водоочистной станцией (ТВС). Однако ввиду большого содержания планктона в воде оз. Клемисте применение КО стало невозможным (короткие рабочие циклы, большой расход промывной воды и т.д.). КО были перестроены на крупнозернистые фильтры и включены в двухступенчатую схему очистки (осветлители со взвешенным осадком и скорые фильтры).

Введение в действие предварительной ступени очистки микрофильтров, которые удаляют из воды 20...35 % взвешенных веществ и 75...90 % фитопланктона [1], позволит упростить схему очистки.

В ЛИСИ и ТПИ была исследована возможность одноступенчатой очистки маломутных вод на крупнозернистых фильтрах [2, 1]. Выяснилось, что зимой требуется коагулирование воды в основном для удаления цветности. При небольшой мутности исходной воды (это может иметь место уже в пределах ГОСТ) после коагулирования и фильтрования мутность фильтрата может превысить мутность исходной воды. При временных повышениях концентрации взвеси одноступенчатое фильтрование исходящим потоком воды не надежно.

Проблему можно решить двухступенчатым фильтрованием. На фиг. 1 приведены возможные схемы двойного фильтрования воды с применением КО и скорых фильтров (СФ). I схему разработал Н.С. Трегубенко [3, 4]. II схему, предложенную В.М. Папиным и С.Д. Шведун [5], изучал также Ю.В. Пятикоп [6].



Фиг. 1.

Авторами настоящей статьи исследована схема III, общий принцип работы которой (первая ступень - восходящая фильтрация, вторая - нисходящая) применялся уже во Франции [7]

Опыты проводились в 1971 г. по следующей схеме:

ИВ — МФ + Ca_2 — 0,5 часа + Al_2O_3 + ПАА — КО + Al_2O_3 + ПАА — СФ.

Исходную воду (ИВ) оз. Юлемисте при необходимости микрофильтровали, обрабатывали хлором (1,5...4,0 мг/л), полученным при электролизе поваренной соли, и держали в контакте с водой 0,5 часа. Далее воду коагулировали очищенным техническим сернокислым глиноземом и после двухминутного смешивания в трубе добавили полиакриламид — ПАА (до 0,5 мг/л). Далее обработанную воду фильтровали через КО, добавляли вторичный коагулянт (и ПАА) и фильтровали через СФ. Колонны КО и СФ были из оргстекла размерами в плане 150x150 мм, с пьезометрами и проботборными кранами, установленными через каждые 40 см по высоте.

Обычно скорость фильтрации на КО не превышает 6...7 м/час. Но увеличивая крупность зерен загрузки (d) до 1,2...2,0 мм и высоту слоя (x) до 2 и более метров, можно увеличить скорость фильтрации (v) до 9...12 м/час (КО-5,

[8]). Так как максимально допустимая потеря напора в КО

$$H_{np} = x(1 - m_0)(\gamma_3 - \gamma_0) \approx x, \quad (I)$$

где m_0 - пористость чистой загрузки,
 γ_3 и γ_0 - удельный вес загрузки и воды,

то можно, увеличивая слой загрузки, увеличить и продолжительность рабочего цикла КО.

Основные показатели примененных загрузочных материалов приведены в таблице I.

Т а б л и ц а I

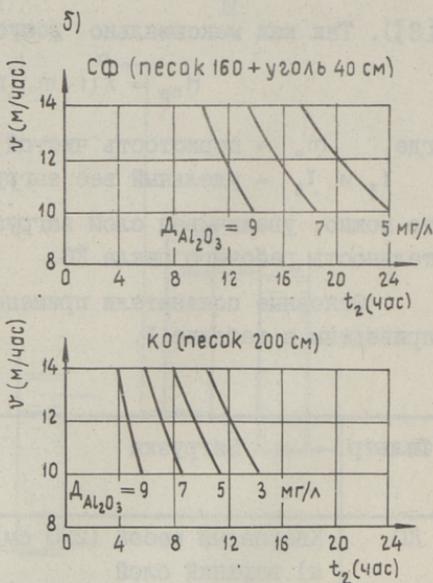
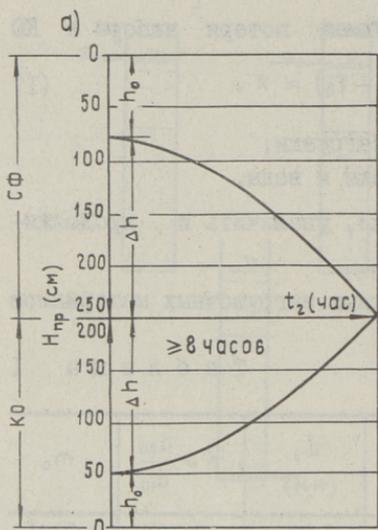
Фильтр	Загрузка	d_3 (мм)	$K = \frac{d_{80}}{d_{10}}$	m_0
КО	Кварцевый песок (220 см)	I,23	I,78	0,42
	а) верхний слой	I,03	I,65	0,40
	б) средний слой	I,29	I,48	0,42
	в) нижний слой	I,49	I,44	0,42
СФ	Гранулированный уголь			
	АГ-3 (40 см)	I,60	I,54	0,70
	Кварцевый песок (I60 см)	I,23	I,78	0,42

При такой схеме и таких загрузках вода течет в направлении уменьшения диаметра пор, что соответствует идеальному фильтрованию. Применяя КО в I ступени, удалось удалить из воды большую часть взвеси (известно, что грязеемкость КО > СФ) При **выбранной** крупности зерен загрузки КО ее взвешивание происходит при скорости > 20 м/час. По оптической плотности проб воды (по коэффициенту ослабления света при $\lambda = 420 \mu m$) была выяснена кинетика фильтрации. При совместной работе КО и СФ критерием оптимизации является равная продолжительность рабочего цикла (≥ 8 часов) обеих ступеней (фиг. 2а, H_{np} соответственно 200 и 250 см).

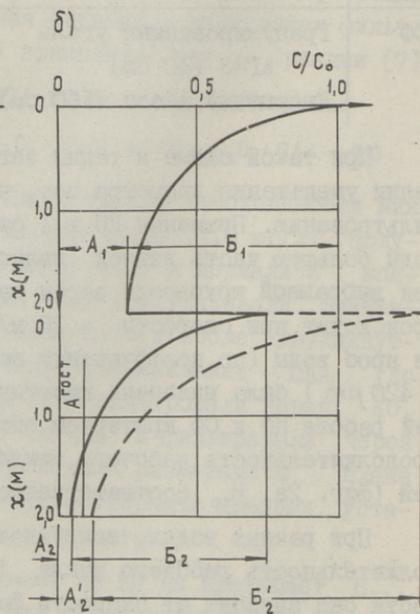
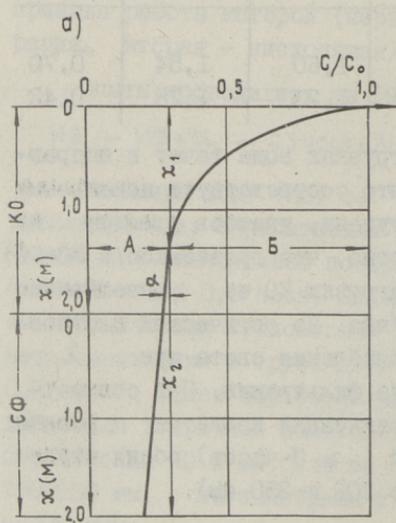
При разных водах, загрузках и методах фильтрования продолжительность рабочего цикла t_2 разная, при их постоянности она зависит от скорости фильтрации и дозы коагулянта

$$t_2 = f(v; A_k) \quad (2)$$

и описывается гиперболой (фиг. 2 б). Отношение оптимальных



Фиг. 2.



Фиг. 3.

доз коагулянта для КО и СФ составляет примерно 1:2. На графике изменения концентрации суспензии по глубине фильтра $C/C_0 = f(x)$ (фиг. 3, C_0 и C соответственно концентрации взвеси в исходной, коагулированной воде и в фильтрате) можно различить две части: А - часть взвеси, которая проходит через фильтрующий слой и Б - часть взвеси, которая задерживается в загрузке. Общая необходимая доза коагулянта определяется из требования $A \leq A^{\text{Гост}}$, где

$$A = f(v; A_k; x; t). \quad (3)$$

Определенной зависимости $A = f(t)$ при постоянстве остальных параметров получить не удалось. При КО и крупнозернистых СФ изменение параметра А во времени происходит медленнее, чем при обычных скорых фильтрах. Применение ПАА до 0,5 мг/л увеличит продолжительность фильтроцикла на 30...50 % и улучшает качество фильтрата (параметр А уменьшается).

При введении коагулянта только перед КО (фиг. 3а) можно различить и две части по высоте. На высоте x_1 , по мнению авторов, задерживаются частицы, которые участвовали при коагуляции воды. Уменьшение концентрации суспензии на высоте x_1 и на участке Б происходит по геометрической прогрессии

$$C = C_0 e^{-kx}. \quad (4)$$

По опытным данным, когда x выражено в сантиметрах, $k = 0,017 \dots 0,023$.

Дальнейшее уменьшение концентрации суспензии на высоте происходит линейно

$$-\frac{dc}{dx} = \tan \alpha. \quad (5)$$

Здесь происходит удаление взвеси, которая не участвовала при коагуляции воды. Этот процесс можно сравнить с фильтрованием поверхностных вод через песчаный грунт, результатом которого являются чистые подземные воды.

При введении коагулянта в двух местах - перед КО и СФ - процесс очистки характеризуется графиком на фиг. 3 б. Доза коагулянта перед I ступенью должна быть такова, чтобы II ступень была не перегружена. По СНиП II-Г. 3-62 для обычных фильтров $A_1 = 8 \dots 12$ мг/л. Учитывая, что применяются крупнозернистые многослойные фильтры, можно допускать нагрузку

до 20 мг/л. При этом очень важно найти правильное соотношение доз коагулянта, чтобы $A_2 \leq A^{гост}$ в течение цикла. Правильный подбор дозы коагулянта при двухступенчатой фильтрации удовлетворяет и требованию $t_1 \geq t_2$ (где t_1 - время защитного действия фильтра, t_2 - время достижения предельной потери напора). Этим гарантируется качественный фильтрат в течение всего цикла. Следует избегать перекоагулирования воды перед II ступенью, то есть следить, чтобы $A_2 + B_2 < A_1 + B_1$, иначе при одинаковой эффективности (%) задерживания взвеси A_2 может остаться $> A^{гост}$ (на фиг. 3 б это обозначено пунктирной линией), что приведет к ненужной перегрузке II ступени.

Такую схему очистки воды можно успешно применить, реконструируя осветлители так, чтобы в их верхней части были построены КО и в нижней СФ. Существующими фильтрами с меньшей высотой загрузки можно фильтровать воду с меньшими скоростями, примерно 6 м/час вместо 12 м/час КО и крупнозернистых СФ. Таким образом можно увеличить производительность всей водоочистной станции. В зимнее время, при малом содержании взвеси, иногда достаточно применения только контактных осветителей.

Л и т е р а т у р а

1. А.Я. Кыйв, Э.Р. Каар, О.Х. Кяспер. Исследование одноступенчатой очистки воды оз. Юлемисте. Труды Таллинского политехнического института, серия А, № 298, 1970, 89-95.

2. Е.В. Линкин, Н.А. Никольская, А.В. Краваев. Результаты исследования работы производственного крупнозернистого песчаного фильтра на невской воде при одноступенчатой схеме очистки. Сан. техн. Доклады к XXVI научной конференции ЛИСИ. Л., 1968.

3. Н.С. Трегубенко. Осветление воды на установках двойного фильтрования. Автореферат диссертации, представленной на соискание ученой степени к.т.н. Харьков, 1964.

4. Н.С. Трегубенко. Расчет установок двойного фильтрования воды. "Водоснабж., канализ., гидротехн. соорж. Межвед. респ. научно-техн. сб.", 1967, вып. 4, 94-103.

5. В.М. Папин, С.Д. Шведун. Новая конструкция фильтров для очистки воды значительной мутности. "Водоснабж., канализ., гидротехн. сооруж. Межвед. респ. научно-техн. сб.", 1967. вып. 4, 104-108.

6. Ю.В. Пятикоп. Очистка воды путем фильтрации через слои зернистой загрузки с промежуточным вводом коагулянта. Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. техн. наук. Харьков, 1970.

7. J.R. Guillard. L'évolution dans le traitement des eaux par l'ozone au cours des quinze dernières années. "Techn. et sci. municip.", 1968, 63, N° 10, 11-44.

8. Ю.И. Колодный. Опыт работы контактных осветлителей с безгравийной загрузкой. Горьковское книжное издательство, 1963.

A. Kõiv, E. Kaar, E. Lenk

Two-step Filtration of Waters with Low Turbidity

Summary

On the basis of experimental results a water purification scheme instead of a classical (clarifiers + filters) one is recommended. After preliminary microfiltration water is passed through the up-flow filters and then through the two-layer coarse-grained filters. Coagulant and coagulant aids have been added to the water before every step of filtration. In the article the optimisation criteria for the co-operation of filters are presented.

УДК 628.394

А.М. Айтсам, Л.Р. Линнупылд

О РЕШЕНИИ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ЗАДАЧИ
ДИСКРЕТНЫМ ДИНАМИЧЕСКИМ ПРОГРАММИРОВАНИЕМ

Решение водохозяйственных задач связано с оптимизацией использования лимитированных ресурсов и существующих технических средств. Особенность задач состоит в том, что характеристики технических устройств (например, канализационных очистных сооружений и т.п.) можно без существенной ошибки считать заданными и известными. Необходимо определить оптимальные методы и стратегию их применения. Такие задачи относятся к числу распределительных задач исследования операций.

В общем случае задачи такого типа могут быть сформулированы так: найти абсолютный экстремум целевой функции

$$K = \Phi(\underline{x}_i, t, \underline{u}_k), \quad (I)$$

где \underline{x}_i - i -мерный вектор переменных состояния системы в фазовом пространстве,

t - время,

\underline{u}_k - k -мерный вектор управления системой в фазовом пространстве,

Φ - скалярная функция

при ограничениях $\underline{x}_i \in |\underline{x}_i|$ и $\underline{u}_k \in |\underline{u}_k|$,

где $|\underline{x}_i|$, $|\underline{u}_k|$ - допустимое множество соответственно векторов переменных состояния и k векторов управлений в этом же фазовом пространстве.

Связи между переменными состояния, управлениями и независимой переменной t должны быть определенными и представлены в виде формул или таблиц.

В зависимости от постановки целевой функции оптимизационная задача может быть решена на минимизацию критерия (например, роста народного достояния). При постановке задачи необходимо следить, чтобы целевая функция не противоречила народнохозяйственному критерию экономической эффективности, предложенному Т.С. Хачатуровым [1], который представляет собой соотношение физического объекта национального дохода при заданной его структуре и затрат общественного труда на его производство. Этот критерий сейчас принят большинством ученых и нашел отражение в государственных методических нормативных документах [2] и др. Однако, еще более устойчивым критерием является национальное богатство в самом широком понимании этого термина. К сожалению, в настоящее время его применению препятствует недостаточная изученность экономики непродовольственных отраслей народного хозяйства и социальных процессов [3].

Довольно типичной для разработки планов водохозяйственных мероприятий является следующая задача. Имеется ограниченное количество денежных и материальных ресурсов. Требуется распределить средства на водохозяйственные мероприятия так, чтобы достичь минимума приведенных затрат в разрезе планируемого периода.

$$\min K = \min \sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^u C_{ij}, \quad (4)$$

где C_{ij} - приведенные затраты на j -ннее водохозяйственное мероприятие в i -нном году ($i = 1, 2, \dots, t$, $j = 1, 2, \dots, u$),

t - длина планируемого периода в годах,

u - количество водохозяйственных мероприятий при ограничениях

$$\sum_{j=1}^u b_{ij} \leq |B_i| \quad (i = 1, 2, \dots, t) \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^u m_{ij} \leq |M_i| \quad (i = 1, 2, \dots, t; m = M = 1, 2, \dots, v) \quad (6)$$

где b_{ij} - количество капитальных вложений на j -ннее водохозяйственное мероприятие в i -нном году,

$|B_i|$ - выделенная на i -нный год сумма капитальных вложений на водохозяйственное строительство,

m_{ij} - количество одного вида требуемых для j -ного водохозяйственного мероприятия в i -ном году ресурсов,

$|M_i|$ - выделенная на i -нный год сумма одного вида ресурсов на водохозяйственное строительство,

v - количество лимитированных ресурсов.

Применяемые водохозяйственные мероприятия должны обеспечить в условиях постоянного роста промышленности и населения всех водопотребителей и водопользователей водой в необходимом количестве и отвечающей действующим нормам качества

$$\underline{Q}_j \geq |\underline{Q}_j|, \quad (7)$$

$$\underline{S}_{jk} \leq |\underline{S}_{jk}|, \quad (8)$$

где \underline{Q}_j - вектор, количественно характеризующий водопотребление или водопользование в створах,

$|\underline{Q}_j|$ - вектор минимальных допустимых расходов воды в створах,

\underline{S}_{jk} - вектор концентрации ингредиентов загрязнения в створах,

$|\underline{S}_{jk}|$ - вектор допустимых концентраций ингредиентов загрязнений в створах.

Решению подлежат следующие взаимосвязанные задачи:

1) определить необходимые степени улучшения качества воды естественных водоемов во всех створах,

2) оптимизировать приведенные затраты в разрезе планируемого периода.

В таком виде задача может быть представлена на уровне государства, водохозяйственного района, бассейна реки и т.д. Необходимо отметить, что в действительности натурные процессы, оказывающие влияние на \underline{X}_i и \underline{U}_k в (I) стохастические и более правильно было бы написать (1, 2, 3, 7, 8) в вероятностном выражении и применять для решения стохастическую модель. В настоящей работе рассматривается решение задачи (4) в пределах одной реки.

Учитывая характер имеющейся исходной информации, описывающей как состояние системы (данные о качестве воды, рас-

ходах и других параметрах, характеризующих реку), так и управления (очистка сточных вод и другие меры для повышения качества воды реки), целесообразно применение математического программирования при решении цифровых методов. Небольшое количество векторов управления (вектор необходимых степеней очистки и вектор методов повышения качества воды в реке) позволяет применять динамическое программирование и таким путем значительно сократить объем вычислительных работ.

Рассмотрим речной бассейн с i расчетными створами, который описан вектором состояния качества воды в каждом створе по БПК, лимитирующего в условиях Эстонской ССР ин-гредиент загрязнения [4],

$$S_i = s_1, s_2, \dots, s_i, \quad (9)$$

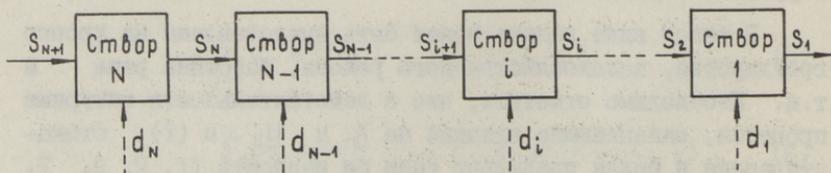
где s_i - БПК воды реки в i -ном створе мг/л,

и вектором управления в виде влияния на качество воды реки очисткой выпускаемых сточных вод или дополнительным разбавлением, написанного в виде

$$D_i = d_1, d_2, \dots, d_i, \quad (10)$$

где d_i - степень улучшения качества воды в i -ном створе.

Целевая функция (4) задана в виде суммы по всем ступеням отдельных функций, каждая из которых зависит от состояния на входе своей расчетной ступени и используемого на этой ступени управления. Многоступенчатый управляемый процесс может быть представлен на примере одной реки с последовательностью створов, как изображено на фиг. 1. Пре-



Фиг. 1.

образование БПК ввиду применения управления и приведенные затраты, отвечающие этому преобразованию, определяются соответственно функциями

$$T_i = f(s_i, d_i) \quad (II)$$

и

$$P_i = g(s_i, d_i), \quad (I2)$$

численные значения которых определены [5], а также по паспортам типовых очистных сооружений, разрешенных к применению в Эстонской ССР, и показателям аналогичных проектных решений.

Принимая i -нный створ за начальный и определяя функцию $C_{i-1}(s)$, т.е. значение целевой функции для последних $i-1$ ступеней при использовании на этих ступенях оптимальной политики, если качество воды на входе в $(i-1)$ -нный створ принимает значение z , из принципа оптимальности, формулируемого Беллманом [6], получим, что функция $C_i(s)$ и управление d_i на i -нный створ удовлетворяют функциональному уравнению

$$C_i(s) = \min_{d_i} \{ C_{i-1}[T_i(s, d_i) + P_i(s, d_i)] \}. \quad (I3)$$

Задача решается в два этапа. На первом этапе для каждого створа составляется таблица, связывающая значения степени очистки с соответствующими значениями целевой функции при каждом возможном значении качества воды. На втором этапе с помощью полученных таблиц строятся новые таблицы, из которых определяется оптимальная политика для всего процесса в целом.

При построении этих таблиц начинают от вышерасположенного створа и последовательно переходят от одного створа к другому вниз по течению. На притоках решается задача отдельно таким же образом и в расчетной схеме приток приравнивается спуску сточных вод. На каждом шаге створ, для которого составляется таблица, определяется как начальный. Совокупность всех предыдущих i -нному ступени ступеней расчета считается $(i-1)$ -ступенчатым процессом, для которого минимальные значения целевой функции, рассчитанные по формуле (I3), уже перечислены в таблице, составленной для $(i-1)$ -нного створа. При помощи уравнения (I3) и таблицы для $(i-1)$ -нного створа можно найти оптимальное управление для улучшения качества воды в i -нном створе для всех возможных значений качества воды в этом створе. Определенные таким образом степени очистки и соответствующие им значения целе-

вой функции $C_i(s)$ записываются в таблицу, которая затем используется при аналогичном предыдущему шаге при построении таблицы для последующего створа. При построении таблицы для самого нижнего створа функция $C_o(s)$ принимается равной нулю.

Минимум приведенных затрат находят методом линейной оптимизации, приняв за основу в первом приближении, что между определенными точками функции (II) и (I2) описываются прямыми.

Л и т е р а т у р а

1. Т.С. Х а ч а т у р о в. Экономическая эффективность капитальных вложений. " Экономика", М., 1964.

2. Типовая методика определения экономической эффективности капитальных вложений и новой техники в народном хозяйстве СССР. Госпланиздат, М., 1960.

3. Б.С. В а й н ш т е й н. О теории эффективности общественного производства. В сб.: "Методы и практика определения эффективности капитальных вложений и новой техники". Вып. I9. "Наука", М., 1971.

4. Х.А. В е л ь н е р, А.М. А й т с а м, Л.Л. П а а л ь. О методике инженерного расчета допустимой нагрузки водоемов. В сб.: "Научные доклады по вопросам самоочищения водоемов и смешения сточных вод", Таллин, 1965.

5. Справочник проектировщика. Канализация населенных мест и промышленных предприятий. М., 1963.

6. Р. Б е л л м а н. Динамическое программирование. ИЛ, М., 1960.

Application of Discrete Dynamic Programming
in Solving a Regional Water Resources Planning Problem

Summary

The discrete dynamic programming has been used to solve an elementary optimisation problem of regional water resources planning. Optimisation of water quality in a hypothetical river basin at minimum cost is described. The model is applicable in the conditions of the Estonian SSR.

УДК 628.394

Л.Р. Линнупылд

АЛГОРИТМ ДЛЯ РАСЧЕТА КАЧЕСТВА ВОДЫ РЕКИ
НА ЭЦВМ

Расчеты содержания вещества в воде вдоль водотока могут быть проведены в общем случае по формуле [I]

$$L = \frac{q_1 + Q}{q_1 + Q + \alpha x} (L_b - L_p) e^{-\frac{K_1' x}{v}} + L_p, \quad (I)$$

- где
- q_1 - расход сточных вод,
 - Q - расчетный минимальный расход реки,
 - α - линейный показатель прироста расхода воды вдоль реки,
 - L_b - концентрация вещества загрязнения в канализационном выпуске,
 - L_p - фон речной воды,
 - v - расчетная скорость течения,
 - K_1' - коэффициент скорости превращения вещества загрязнения. При консервативных веществах $K_1' = 0$
 - x - расстояния между створами.

Формула (I) учитывает превращение вещества вдоль реки в зависимости от разбавления и самоочистения в виде биохимического окисления.

При проведении расчета река делится i расчетными створами на расчетные участки. Расчетными принимаются створы, относящиеся к одной из следующих подгрупп:

- A - створы впадения в реку притока или канализационного выпуска,
- B - створы, где условно происходит изменение самоочищающей способности реки ввиду сильного изменения природных условий.

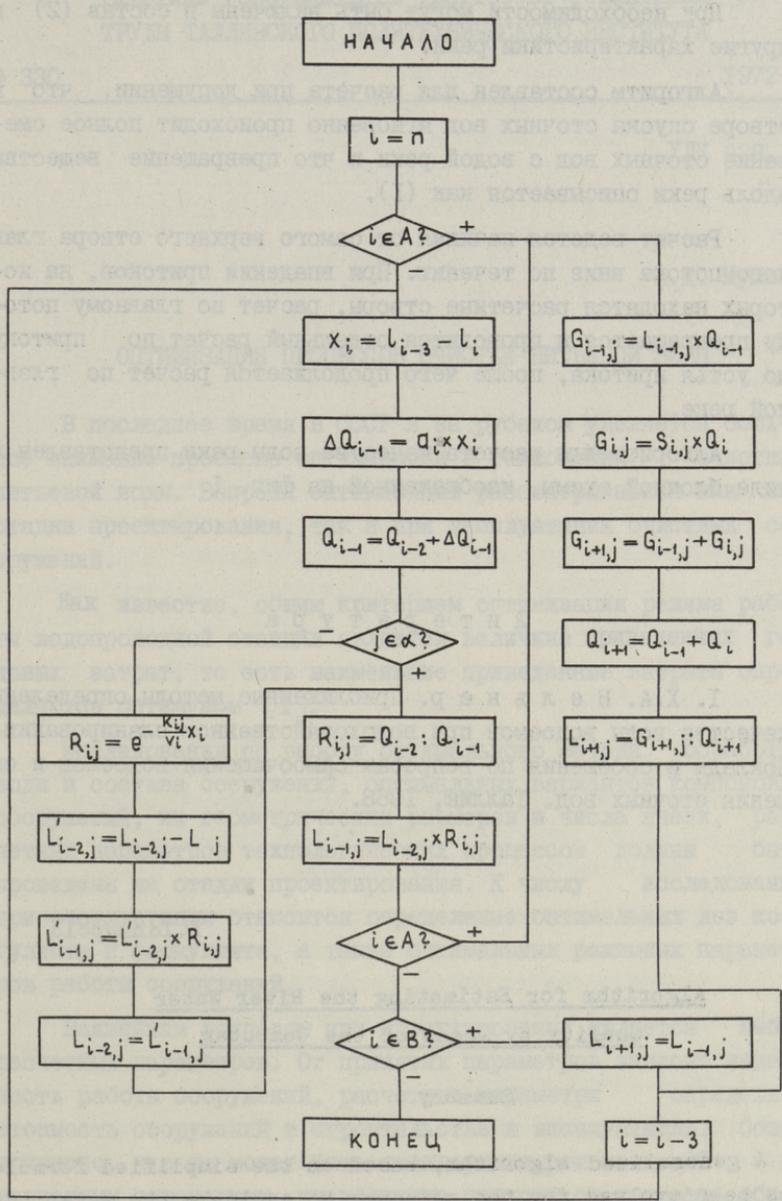
При большом количестве i расчет трудоемкий, особенно тогда, когда сточные воды впускаются неравномерно. Значительно можно сократить время на расчет, применяя современную вычислительную технику.

Пусть река будет описана следующим вектором характеристик состояния:

$$\underline{X}_i = (\underline{L}_i, \underline{Q}_i, \underline{Q}_i, \underline{A}_i, \underline{S}_{ij}, \underline{L}_{ij}, \underline{V}_i, \underline{K}_{ij}) \quad (2)$$

$$\left. \begin{aligned} \underline{L}_i &= l_1, l_2, \dots, l_i \\ \underline{Q}_i &= Q_1, Q_2, \dots, Q_i \\ \underline{Q}_i &= q_1, q_2, \dots, q_n \\ \underline{A}_i &= a_1, a_2, \dots, a_n \\ \underline{S}_{ij} &= s_{1j}, s_{2j}, \dots, s_{ij}, \text{ где } j=1, 2, \dots, m \\ \underline{L}_{ij} &= L_{1j}, L_{2j}, \dots, L_{ij} \\ \underline{V}_i &= v_1, v_2, \dots, v_i \\ \underline{K}_{ij} &= k_{1j}, k_{2j}, \dots, k_{ij} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

- где \underline{L}_i - расстояния до створов от устья реки,
 \underline{Q}_i - расчетные минимальные расходы реки на створах постоянных постов,
 \underline{Q}_i - расходы сточных вод, спускаемых в реку,
 \underline{A}_i - линейные показатели прироста расхода вдоль реки,
 \underline{S}_{ij} - концентрации ингредиентов загрязнения в спускаемых сточных водах,
 \underline{L}_{ij} - концентрации ингредиентов загрязнения в речной воде,
 \underline{V}_i - средние скорости потока на участках,
 \underline{K}_{ij} - осредненные по длине участка скорости превращения ингредиентов загрязнения,
 i - количество расчетных створов ($i = 1, 2, \dots, n$),
 j - количество рассматриваемых ингредиентов загрязнения ($j = 1, 2, \dots, m$)



Фиг. 1. Блок-схема расчета качества воды вдоль водотока.

При необходимости могут быть включены в состав (2) и другие характеристики реки.

Алгоритм составлен для расчета при допущении, что в створе спуска сточных вод мгновенно происходит полное смешение сточных вод с водой реки и что превращение вещества вдоль реки описывается как (1).

Расчет ведется начиная от самого верхнего створа главного потока вниз по течению. При впадении притоков, на которых находятся расчетные створы, расчет по главному потоку прекращается и проводится отдельный расчет по притоку до устья притока, после чего продолжается расчет по главной реке.

Алгоритм для расчета качества воды реки представлен в виде блочной схемы, изображенной на фиг. 1.

Л и т е р а т у р а

Г. Х.А. В е л ь н е р. Приближенные методы определения качества воды водоемов при водохозяйственном планировании. Доклады и сообщения по вопросам самоочищения водоемов и смешения сточных вод. Таллин, 1968.

L.Linnupõld

Algorithm for Estimating the River Water Quality by Means of the Computer

Summary

A generalized algorithm, based on the simplified formula has been evolved for the computer to estimate the water quality along the streamflow. Values for each component have been calculated separately. The self-purification processes in the river have been taken into consideration.

УДК 628.1

А.А. Мумме

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ОЧИСТКИ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ

В последнее время в СССР и за рубежом уделяется большое внимание проблеме оптимизации в технологии очистки питьевой воды. Вопросы оптимизации рассматриваются как на стадии проектирования, так и при эксплуатации очистных сооружений.

Как известно, общим критерием оптимизации режима работы водопроводной станции является величина приведенных годовых затрат, то есть наименьшие приведенные затраты определяются оптимумом [1].

Исследования по выбору оптимального метода обработки воды и состава сооружений, оптимальных вариантов компоновки сооружений, их геометрических размеров и числа ячеек, расчетных параметров технологических процессов должны быть проведены на стадии проектирования. К числу исследований при эксплуатации относится определение оптимальных доз коагулянта и флокулянта, а также оптимальных режимных параметров работы сооружений.

Важнейшим вопросом при проектировании является выбор расчетных параметров. От принятых параметров зависит надежность работы сооружений, расчетные параметры определяют стоимость сооружений в строительстве и эксплуатации. Общеизвестно, что не может быть стандартных рекомендаций по расчетным параметрам, их величина зависит от качества обрабатываемой воды и принятого метода обработки. Во многих случаях в нашей практике и особенно за рубежом перед проектированием крупных водопроводных станций проводятся обстоятельные исследования на моделях сооружений с целью обосно-

вания оптимальных решений по технологии обработки данной воды и величины основных расчетных параметров. У нас разработаны специальные методики технологического моделирования основных процессов очистки воды: отстаивания и осветления в слое взвешенного осадка (2), фильтрования [3], [4]— которые позволяют опытным путем определить для каждого конкретного случая расчетные параметры сооружений.

Значительную роль в уменьшении годовых приведенных затрат по комплексу водоочистной станции, работающей по двухступенчатой схеме, играет правильное распределение нагрузки между отстойниками (осветлителями со взвешенным осадком) и фильтрами (I), [5]. Одинаковый эффект очистки может быть достигнут при большей или меньшей продолжительности отстаивания и соответственно при большей или меньшей скорости фильтрования, но приведенные затраты по комплексу сооружений для каждого варианта будут меняться. Нужно отметить, что правильное распределение грязевой нагрузки имеет значение как для проектирования, так и для эксплуатации.

Первая попытка в области применения ЭЦВМ для нахождения оптимальных параметров работы очистных сооружений была успешной [6]. Для станции, работающей по схеме: горизонтальные отстойники — скорые фильтры, дана методика выявления оптимальной работы на основании алгоритма расчета для ЭЦВМ типа "НАИРИ". Исходные данные были получены при технологическом моделировании.

Исследования по оптимизации процессов очистки воды, которые ведутся в настоящее время на Таллинском водопроводе, являются естественным продолжением работ [I] и [6]. Ниже излагается принципиальная схема этих исследований, имеющих цель выработать обоснованную методику оптимизации при данной схеме обработки воды.

Водоочистная станция г.Таллина работает по схеме: осветлители со взвешенным осадком — скорые фильтры, водостачником города является озеро Юлемисте. Для получения достаточного количества достоверных исходных данных была смонтирована технологическая модель станции. Основными зарегистрированными параметрами для осветлителей являются: скорость восходящего потока воды, доза коагулянта, доза

флокулянта, мутность и цветность осветленной воды. Основой для расчета процесса фильтрования служит известная методика моделирования технологического процесса фильтрования [3].

Технологическая модель осветлителя со взвешенным осадком позволяет изучить влияние скорости восходящего потока воды на эффект осветления в разные периоды года. Для характерных сезонов получим кривые функции $C_0 = f(v \uparrow)$ при различных значениях $C_{\text{исх}}$, с добавлением флокулянта и без него. Эффективная доза коагулянта определяется по существующей методике.

От принятой скорости восходящего потока воды в осветлителях зависит концентрация взвеси в воде, поступающей на фильтры. На свойства воды влияют также добавление флокулянта и место его ввода (перед или после осветлителей).

Для каждого сезона года, для каждого конкретного случая параметры фильтрования b , a/b и A будут меняться. Следовательно, меняется и скорость фильтрования, соответствующая оптимальной работе фильтров (критерием для выбора расчетной скорости фильтрования служит равенство $t_1 = t_2$).

На основании базисных экономических зависимостей, которые построены графически для станции с определенной производительностью (например, 100.000 м³/сутки) и выражают зависимость строительной стоимости блока осветлителей от $v \uparrow$ и строительной стоимости фильтров от скорости фильтрования, определяется строительная стоимость станции в целом.

Таким образом, каждому выбранному значению скорости восходящего потока воды в осветлителях соответствуют определенная суммарная строительная стоимость осветлителей и фильтров, определенные эксплуатационные расходы. Однако оптимальными значениями скоростей восходящего потока воды, скорости фильтрования (при данном типе и толщине загрузки) будут такие, при которых приведенные затраты получаются наименьшими.

Большая трудоемкость вычислительных работ при расчете оптимальных режимов для характерных периодов года требует применения современных методов вычислительной техники. Алгоритм расчета по своей структуре аналогичен приведенному

в работе [6] алгоритму, причем исходным параметром является скорость восходящего потока воды в осветлителе со взвешенным осадком.

Обозначения:

- $C_{исх}$ — концентрация взвеси в исходной воде,
- C_0 — концентрация взвеси в воде, поступающей на фильтры,
- v_f — скорость восходящего потока воды в осветлителях со взвешенным осадком,
- b — параметр фильтрования, характеризующий интенсивность прилипания частиц взвеси к зернам загрузки,
- σ/b — выражает скорость проникновения осадка в глубь загрузки фильтра,
- A — предельная насыщенность парового пространства отложениями,
- t_1 — продолжительность защитного действия фильтра,
- t_2 — время достижения предельно допустимой потери напора.

Л и т е р а т у р а

1. Д.М. Минц, Г.А. Орлов. Использование флокулянтов для оптимизации режима работы водоочистных станций. "Водоснабжение и санитарная техника", 1969, № 7.
2. А.А. Кастальский, Д.М. Минц. "Подготовка воды для питьевого и промышленного водоснабжения", М., 1962.
3. Д.М. Минц. Теоретические основы технологии очистки воды. М., 1964.
4. D.M. M i n t s. Modern theory of filtration. Barcelona, 1966.
5. W.R. C o n l e y. Integration of the clarification process. J. A.W.W.A., vol. 57, No.10.
6. Д.М. Минц, Н.А. Устюгова. Применение ЭЦМ при проектировании оптимального режима работы очистных водопроводных сооружений. "Водоснабжение и санитарная техника", 1970, № 9.

Optimisation of the Drink Water Purification
Process

Summary

The first part of the paper deals with the general idea of the drink water treatment problem. The optimisation of plant at the project and exploitation stage are discussed separately.

An optimisation scheme of sludge blanket clarification-sand filters is discussed in the second part of the paper.

УДК 628.2
 532-543

К.Р.Хяяль, Л.А.Тепакс, М.-Л.В.Хяяль

О ПАРАМЕТРАХ ШЕРОХОВАТОСТИ ТРУБ

Из теории расчета трубопроводов известно, что до настоящего времени шероховатость трубы была и осталась наиболее спорным параметром расчетных зависимостей гидравлического сопротивления. Данный параметр введен в расчет для характеристики состояния поверхности трубы без каких-либо дополнительных целей. Отсюда следует, что параметр шероховатости не должен зависеть ни от режима движения, ни от уклона и глубины наполнения. Результаты обработки опытных данных в свете распространенных существующих расчетных формул указывают на непостоянство полученного параметра шероховатости [1]. Физически последнее обстоятельство не объяснимо и фактически указывает на непригодность принятой расчетной формулы.

Решающее значение при определении коэффициентов шероховатости по опытным данным имеет правильный выбор расчетной формулы, описывающей закономерности сопротивления.

Обработка своих опытных данных, а также данных других авторов (около 3000 опытных точек) позволила представить новые рекомендации [2] для практических гидравлических расчетов, учитывающие недостатки существующих распространенных формул в следующем виде:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \lg \left[\left(\frac{\Delta_3}{13,68 R} + \frac{\alpha_2}{Re} \right) K \right], \quad (1)$$

где

$$K = 1 + 0,24 Fr^{2,4} + \frac{22,3 Fr^{0,6}}{1 - H/D} \cdot \frac{1}{1,3 + 46,7 |Fr - 0,45|^3} \quad (2)$$

Введенный поправочный член позволяет оценить шероховатость трубы параметрами Δ_3 и σ_2 независимо от того, определены они в условиях напорного или безнапорного режимов движения.

Анализ полученных данных приводит к следующим выводам:

1. Значения параметров шероховатости изменяются в некоторых пределах, поэтому не могут быть однозначно определены только названием материала труб. Последнее подтверждается тем, что при подборе рекомендуемых величин параметров шероховатости необходимо учесть условия укладки труб и предполагаемый срок их службы. Так, например, даже опыты, проведенные в одинаковых лабораторных условиях для напорного режима, дают несколько расходящиеся результаты. По опытам Ф.А. Шевелева [3] для асбестоцементных труб получено $\Delta_3 = 0,0286 \div 0,0391$ мм и $\sigma_2 = 11 \div 17$. Опыты, проведенные в натуральных условиях, дают еще большее расхождение [1].

2. Сравнение данных по формуле (1), полученных при напорном и безнапорном режимах, не выявляет каких-либо систематических отклонений, обусловленных режимом движения.

3. Если же сравнить данные о параметрах шероховатости, полученные при обработке опытов по безнапорному движению с поправочным членом (2) в формуле (1) и без него, то эти данные резко отличаются друг от друга. Во всех случаях эквивалентная шероховатость Δ_3 , полученная без поправочного члена, превышает в несколько раз ту же величину, полученную по полной формуле (1).

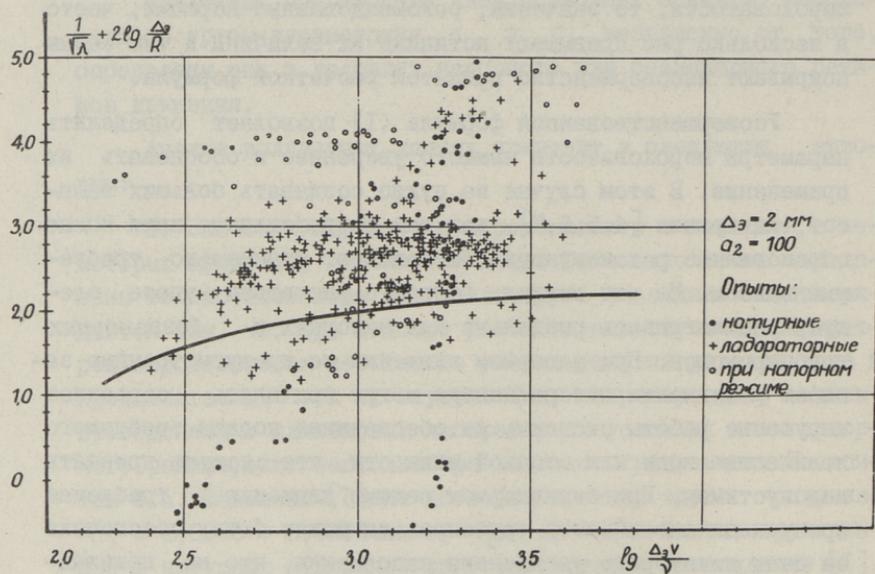
4. При аналогичной обработке тех же опытных данных по формуле СНиП обнаружено большое различие в параметрах шероховатости для напорного и безнапорного режимов. Обычно значения Δ_3 для безнапорного режима в несколько (до 20 раз и более) раз превышают соответствующие значения для напорного режима.

Так как шероховатость трубопроводов в натуральных и лабораторных условиях различна, а также происходит изменение шероховатости в процессе эксплуатации, то в рекомендациях по гидравлическому расчету обычно предусматривается некоторый запас. Поскольку обработка опытов по формуле СНиП характеризуется увеличением диапазонов изменения параметров

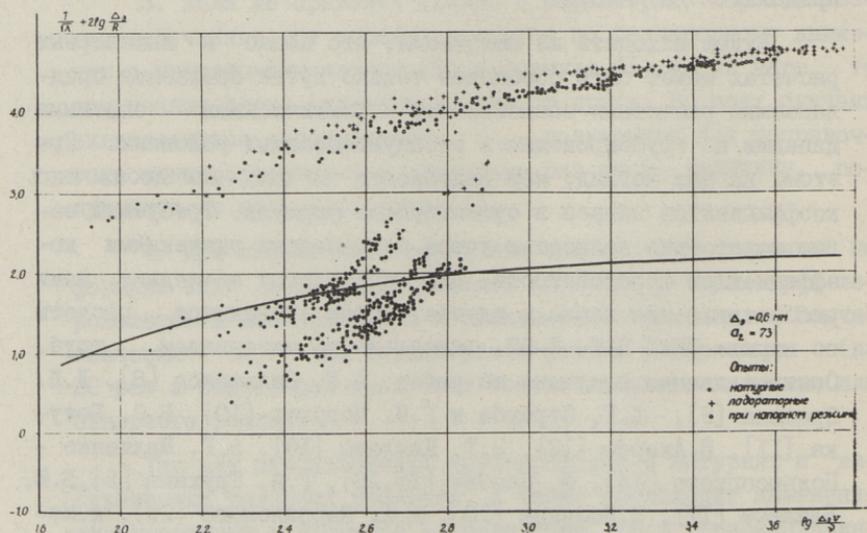
шероховатости, то значения, рекомендованные нормами, часто в несколько раз превышают истинные их величины и тем самым покрывают несовершенство принятой расчетной формулы.

Усовершенствованная формула (I) позволяет определить параметры шероховатости намного увереннее и обосновать их применение. В этом случае не нужно создавать больших запасов, как ранее [4,5,6,7], так как разработанные нами новые обоснованные рекомендации обеспечивают минимально требуемые запасы. На наш взгляд, вопрос о расчетном запасе следует рассматривать отдельно для напорных и безнапорных трубопроводов. При напорном движении не предусмотренные запасом увеличения потерь напора могут причинить серьезное нарушение работы системы, не обеспечивая подачи требуемого количества воды или сточной жидкости, что следует признать недопустимым. При безнапорном режиме движения требуемая пропускная способность трубопровода может быть обеспечена за счет некоторого увеличения наполнения, что не причиняет серьезных нарушений в работе канализационных сетей. Мы относимся к этому вопросу с осторожностью, считая, что трубопроводы, предусмотренные для безнапорного режима, должны всегда работать как самотечные, сохраняя наполнение в пределах $h/D \leq 0,9$.

Будем исходить из положения, что запас в инженерных расчетах может быть обоснован только путем сравнения предлагаемых расчетных зависимостей с фактическими опытными данными по трубопроводам в эксплуатационных условиях. При этом, на наш взгляд, нет надобности во введении добавочных коэффициентов запаса в существующие формулы. Требуемый запас может быть полностью учтен надлежащими значениями коэффициентов шероховатости. Для определения последних нами рассматривается запас в случае, когда проводятся расчеты по нормам СНиП П-7. 6-62, отдельно по материалам труб. Опытные данные получены из работ: Э.Р. Вилькокка [8], Д.Л. Ярнелла [9], Л.Г. Страуба и Г.М. Морриса [10], Б.О. Ботука [11], П.Акерса [12], Э.Т. Киллама [13], А.Г. Малиенко - Подвысоцкого [14], Ф. Скобея [15,16], Г.А. Трухина [5], Б.И. Блажиса [17], К.Козенса [18], А.А. Карпинского [19], А.Миловича - А.Грицука [20], Г. Тизона [21], В.Н. Козина [1], Н.Ф. Федорова [22], Ф.А. Шевелева [3,6], Ф. Карбе [7], А.И. Кораблева [4], К.Ф. Джонсона [23], М.М.Сапожникова [24],



Фиг. 1. Обработка опытов на бетонных трубопроводах по зависимости (3) с соответствующими параметрами шероховатости по СНиП.



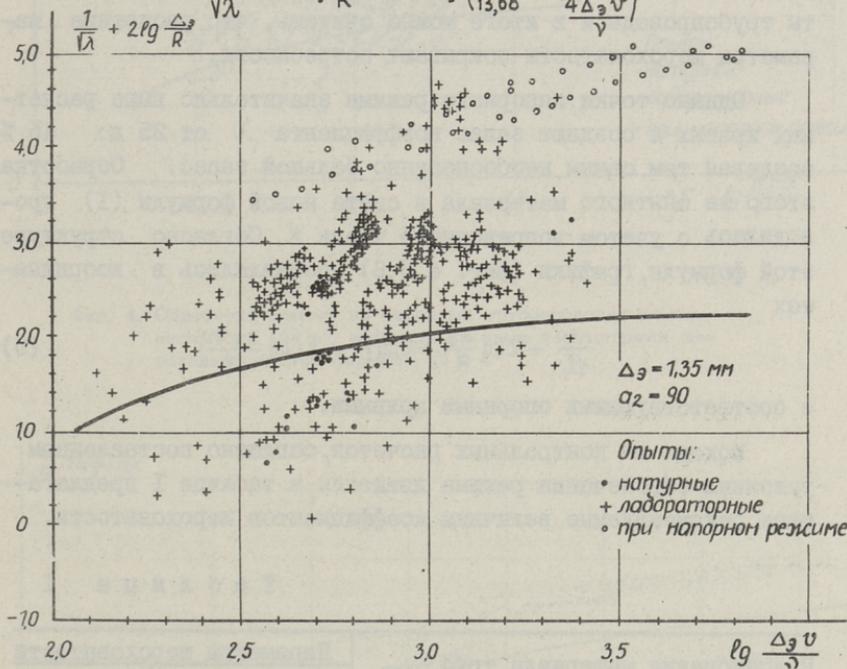
Фиг. 2. Обработка опытов на асбестоцементных трубопроводах по зависимости (3) с соответствующими параметрами шероховатости по СНиП.

и автора данного исследования [2]. Для исключения влияния относительной шероховатости и согласно структуре формулы Н.Ф. Федорова, анализ опытных данных целесообразно произвести графически (фиг. 1,2,3) в координатах

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} + 2 \lg \frac{\Delta_3}{R} = f \left(\lg \frac{\Delta_3 v}{\nu} \right) \quad (3)$$

в сопоставлении с кривыми, построенными по зависимости Н.Ф. Федорова, переписанной в виде

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} + 2 \lg \frac{\Delta_3}{R} = -2 \lg \left(\frac{1}{13,68} + \frac{a_2}{4 \Delta_3 v} \right). \quad (4)$$



Фиг. 3. Обработка опытов на керамических трубопроводах по зависимости (3) с соответствующими параметрами шероховатости по СНиП.

На графики нанесены все опытные точки из данного материала при тех же значениях эквивалентной шероховатости Δ_3 . Из этих графиков выявляется, в какой степени гарантируется нормами СНиП обеспечение проектируемого расчетного расхода в трубопроводах. Опытные точки, которые находятся на этих графиках, выше рассчитанных по формуле (4) кривых, свидетельствуют о том, что величина расчетного сопротивления превышает фактическое его значение и тем самым рекомендуемыми параметрами шероховатости в трубопроводе обеспечива-

ется расчетный расход с некоторым запасом. Из графиков видно, что опытные точки безнапорного режима движения находятся как выше, так и ниже расчетной кривой. Формальный вывод из полученных результатов анализа говорит о том, что движение при безнапорном режиме, включая расчетные наполнения, не обеспечивается существующими параметрами шероховатости СНИП, за исключением опытов при $h/D = 0,8 \div 0,9$. Однако, учитывая, что в условиях опытов с меньшим наполнением $h/D < 0,8$, не следует ожидать особых нарушений режима работы трубопровода и в итоге можно считать, что расчетные параметры шероховатости покрывают потребности.

Однако точки напорного режима значительно выше расчетных кривых и создают запас коэффициента λ от 25 до 45 %, создавая тем самым необоснованно большой запас. Обработка этого же опытного материала в свете новой формулы (I) проводилась с учетом поправочного члена K. Согласно структуре этой формулы, графики (фиг. 4,5,6) составлялись в координатах

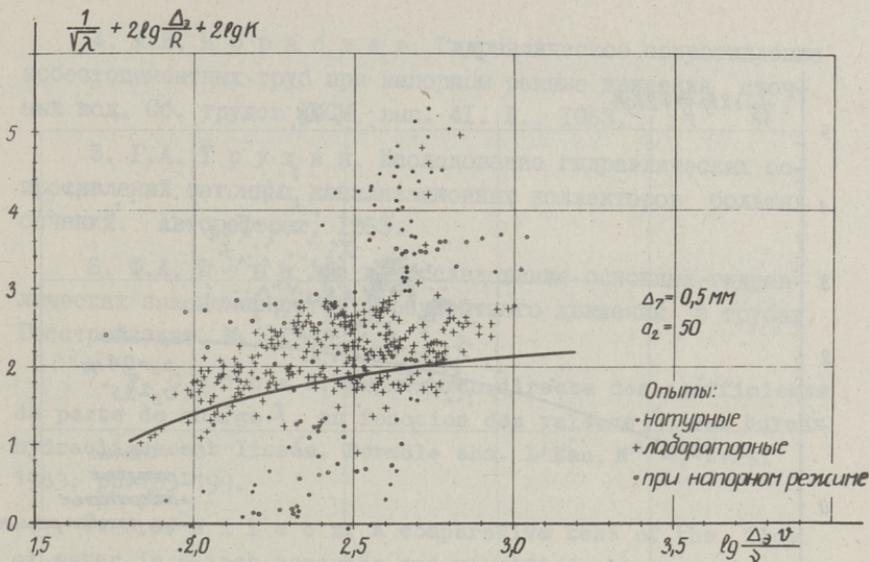
$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} + 2 \lg \frac{\Delta_2}{R} + 2 \lg K = f \left(\lg \frac{\Delta_2 \sqrt{v}}{\nu} \right) \quad (5)$$

с соответствующими опорными кривыми.

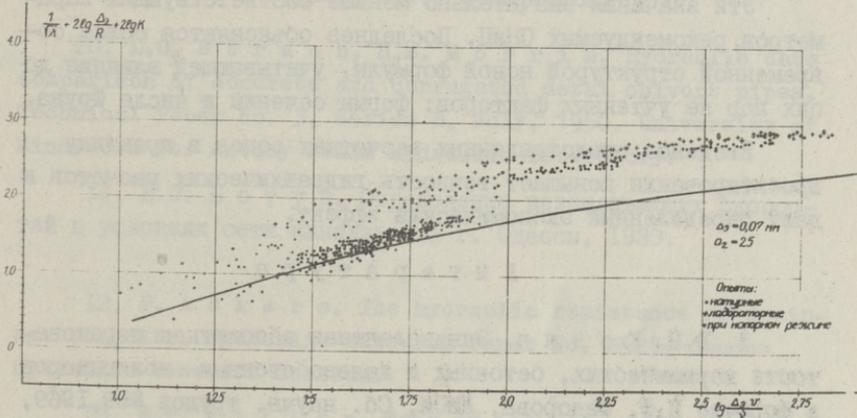
Исходя из контрольных расчетов, согласно поставленным условиям обеспечения режима движения, в таблице I предлагаются рекомендуемые величины коэффициентов шероховатости.

Т а б л и ц а I

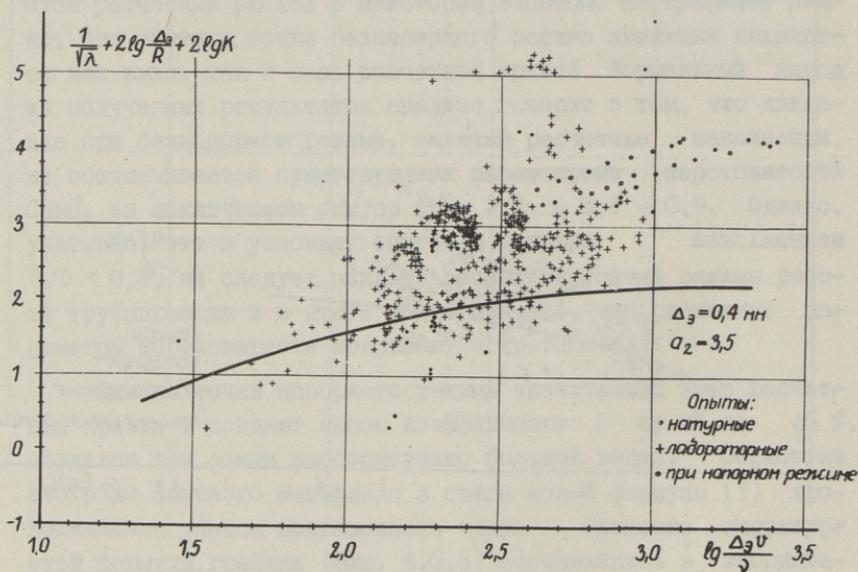
Наименование материала труб	Параметры шероховатости	
	Δ_2 , в мм	a_2
1. Бетонные и железобетонные	0,5	50
2. Керамические	0,4	35
3. Асбестоцементные	0,07	25
4. Стальные	0,25	45
5. Чугунные	0,30	75
6. Фанерные	0,10	15
7. Полиэтиленовые	0,02	20
8. Винилпластовые	0,04	30
9. Стекланные	0,05	25



Фиг. 4. Обработка опытов на бетонных трубопроводах по зависимости (5) с выбранными нами параметрами шероховатости для формулы (1).



Фиг. 5. Обработка опытов на асбестоцементных трубопроводах по зависимости (5) с выбранными нами параметрами шероховатости для формулы (1).



Фиг. 6. Обработка опытов на керамических трубопроводах по зависимости (5) с выбранными нами параметрами шероховатости для формулы (1).

Эти значения значительно меньше соответствующих параметров, рекомендуемых СНиП. Последнее объясняется более современной структурой новой формулы, учитывающей влияние до сих пор не учтенных факторов: формы сечения и числа Фруда.

Введение представленных расчетных основ в практику проектирования повышает точность гидравлических расчетов и дает определенный экономический эффект.

Л и т е р а т у р а

1. В.Н. К о з и н. Эквивалентная абсолютная шероховатость керамических, бетонных и железобетонных коллекторов в формуле Н.Ф. Федорова, ЛИСИ, Сб. научн. трудов №59, 1969, Ленинград.

2. К.Р. Х я л я л ь, Л.А. Т е п а к с. О гидравлическом сопротивлении при безнапорном движении жидкости в трубах круглого сечения. Труды ТПИ, серия А, № 298, 1970.

3. Ф.А. Ш е в е л е в. Гидравлический расчет асбестоцементных труб. Госстройиздат, М., 1954.

4. А.И. К о р а б л е в. Гидравлическое сопротивление асбестоцементных труб при напорном режиме движения сточных вод. Сб. трудов ЛИСИ, вып. 41. Л., 1963.

5. Г.А. Т р у х и н. Исследование гидравлических сопротивлений бетонных канализационных коллекторов больших сечений. Автореферат, 1963.

6. Ф.А. Ш е в е л е в. Исследование основных гидравлических закономерностей турбулентного движения в трубах. Госстройиздат. М., 1953.

7. F. C o r b e t. Expression directe des coefficients de perte de charge λ , en fonction des valeurs λ_0 des tuyaux hydrauliquement lissés. Formule abs. L'Eau, N^o 4, Avril 1963, pp. 185-199.

8. E. R. W i l s o n. A comparative test of the flow of water in 8-inch concrete and vitrified clay sewer pipe. University of Washington Engineering Experimental Station. Bulletin No. 27, U.S. Department of Agriculture, 1924.

9. D. L. J a r n e l l, S. M. W o o d w a r d. The flow of water in drain tile. U.S. Department of Agriculture, Bulletin No. 854, August, 1920, Washington.

10. L. G. S t r a u b, H. M. M o r r i s. Hydraulic data comparison of concrete and corrugated metal culvert pipes. Technical Paper No. 3, Series B, July, 1950. University of Minnesota St. Antony Falls Hydraulic Laboratory.

11. Б.О. Б о т у к. Определение незаиливающих скоростей в условиях сети канализации г. Одессы, 1939.

12. P. A s k e r s. The hydraulic resistance of drainage conduits. Hydraulic Research Paper No. 6525, London Hydraulic Research Station.

13. E. T. K i l l o m. Test of large concrete pipe sewer show Kutter's n to be 0.014. Eng. News Report., vol. 107, 10. Dec. 1931. p. 935.

14. А.Г. М а н ч е н к о - П о д в ы с о ц к и й. Дефекты Василеостровской канализации должны стать уроком для всех. Журнал "Водоснабжение и санитарная техника", № II, 1937.

15. F.C. S c o b e y. Experiments of flow in 36-inch and 42-inch pipes. U.S. Dept. of Agric. Tech. Bull. 853, 1920.

16. F.C. S c o b e y. The flow of water in concrete pipes. U.S. Dept. of Agric. Tech. Bull. 852, 1924.

17. Б.И. Б л а ж и с. Гидравлические потери напора в дренажных, гончарных и бетонных трубах при различном их наполнении. Информационный бюллетень Лит. НИИГ и М., № 4, 1962.

18. K.W. C o s e n s. Sewer pipe roughness coefficients. Sewage and Industrial Wastes, vol. 26, January, 1954.

19. А.А. К а р п и н с к и й. Исследование гидравлического режима движения сточной жидкости в канализационной сети. Рукописный фонд НИО Треста Мосочиствод, 1941.

20. А. М и л о в и ч - А. Г р и ц у к. Материалы по проектированию III очереди канализации г. Москвы, вып. IV. Исследования движения жидкости в канализационной сети г. Москвы. М., 1927.

21. G. T i s o n, F. R o s s e y. La résistance hydraulique des conduites en gris vitrifié. La technique de l'eau et de l'assainissement (Bruxelles), N° 200, 15 août 1963, pp. 49-59.

22. Н.Ф. Ф е д о р о в. Новые исследования и гидравлические расчеты канализационных сетей. М., 1956.

23. C.F. J o h n s o n. Determination of Kutter's n for sewer partly filled. A.S.C.E., Transactions, vol. 109, paper No. 2209, 1944, pp. 223.

24. М.М. С а п о ж н и к о в. Гидравлические закономерности турбулентного движения в трубах из различных материалов. М., 1964.

About Friction Factors of Pipes

Summary

N.F. Fyodorov formula is more commonly used in the solution of problems involving open-channel flow in sewers and pressure pipes. The experiments show that the friction factors for full pipes are less than those commonly used in USSR design practice and that the value of Δ , increases for partly full sewers. Using the new criterion, taking into account the Froude Number and the shape of the cross section it was possible to recommend a new invariable value of friction factor for it.

УДК 628.21

Х.А. Вельнер, Л.Л.Рохусаар, М.М.Вяльбе

К ВОПРОСУ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДОЖДЕВОЙ КАНАЛИЗАЦИИ В РАЙОНЕ НОВОСТРОЕК

При проектировании коллекторов дождевой канализации одним из важнейших этапов является определение расчетных расходов, которые существенно влияют на диаметры, а тем самым и на стоимость коллекторов.

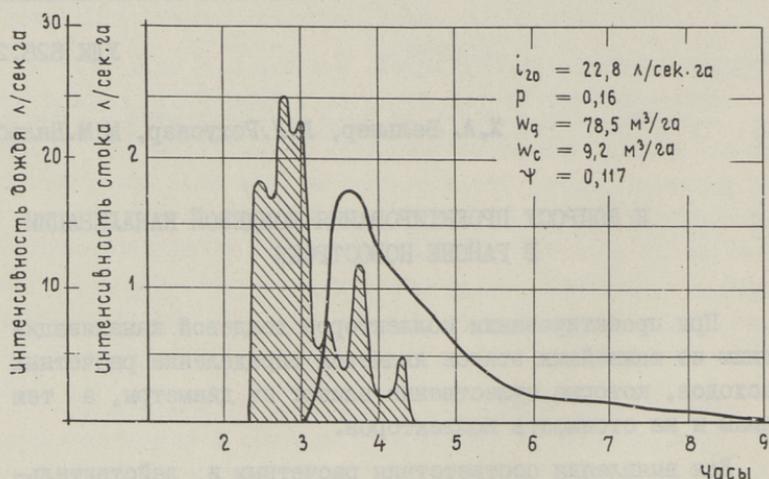
Для выявления соответствия расчетных и действительных расходов в 1968-1970 гг. нами были поставлены и проведены натурные наблюдения в новом жилом районе Мустамяэ гор. Таллина, где введена раздельная система канализации.

Бассейн стока исследованного коллектора составляет 45 га, протяженность главного коллектора 2,2 км и внутриквартальной канализационной сети - 3,8 км. На территории объекта насчитывается 140 дождеприемников. В верхней части коллектора длиной 0,8 км его уклон составляет 0,7 %, а в нижней части - 0,13 %. Район застроен по принципу свободной планировки, то есть застроено только 10,5 % всей площади. Асфальтом покрыто 24,5 % (магистральные улицы составляют 8,0 %, внутриквартальные дороги и площадки - 16,5 %). Озеленено 65 % от всего бассейна, причем газоны и стадионы (площадью свыше 1,0 га), не имеющие канализационной сети, в расчетную площадь бассейна не включены. Почва представляет собой среднезернистые пески, на которые перед озеленением был нанесен торфяной слой толщиной 10-15 см.

На опытном участке был поставлен плювиограф, а в конце коллектора - лимниграф.

Всего было проанализировано 33 дождя, которые имели интенсивность свыше 5 л/сек.га. В качестве примера на

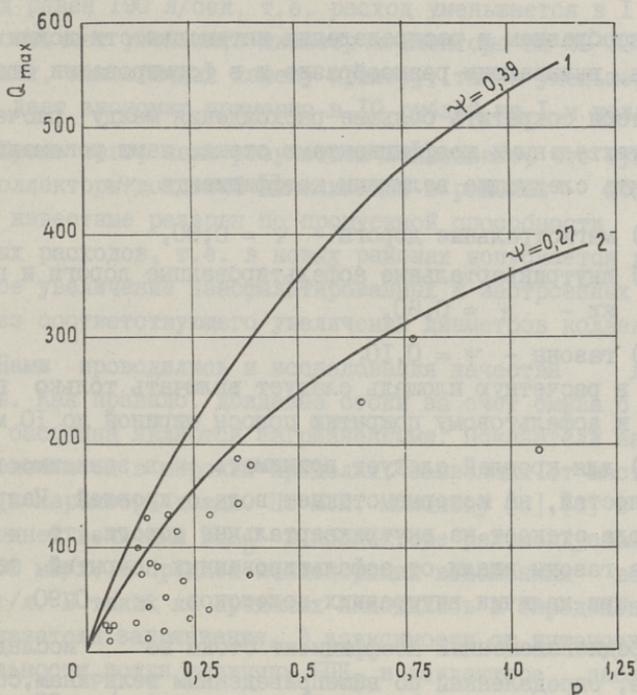
Фиг. 1 даны графики интенсивности дождя и расхода дождевого стока 27.08.1969 г.



Фиг. 1. Графики интенсивности дождя и расхода дождевого стока 27.08.1969 г.

По графикам определены осадки W_g и сток с бассейна W_c в $\text{м}^3/\text{га}$. Коэффициент стока определялся как $\psi = \frac{W_c}{W_g}$. По результатам анализа наших экспериментальных данных средняя величина коэффициента стока составляет 0,122 со среднеквадратическим отклонением 40%. Сравнение полученного результата с коэффициентом стока, рекомендованным по СНиП II-Г. 6-62, дает значительное расхождение. По вышеприведенному нормативу коэффициент стока ψ с крыши и заасфальтированных поверхностей имеет значение 0,95, с газонов — 0,1. Исходя из этих величин средневзвешенный коэффициент с территории рассматриваемого объекта получается 0,39.

Кроме коэффициента стока, нами было проанализировано и соответствие действительных максимальных и расчетных максимальных расходов при разных интенсивностях дождей. Кривой I на фиг. 2 изображены максимальные расходы с данного бассейна при разных периодах однократного превышения расчетной интенсивности дождя p . Расход определен по СНиП II-Г. 6-62 методом предельных интенсивностей по формуле



Фиг. 2. Действительные и расчетные максимальные расходы при разных величинах p .

Кривая 1 - максимальные расходы по формуле (1), величины ψ по СНиП 11-Г-8-62.
Кривая 2 - то же, величины ψ по рекомендациям авторов.

$$Q = \frac{\psi \cdot A \cdot F}{T \cdot n} \text{ л/сек,} \quad (1)$$

где F - расчетная площадь стока в га,

T - общая продолжительность протекания дождевых вод в сек.

Параметры Q_{20} , n и C на основе которых определяются величины A , найдены А.Я. Кыйвом [2] путем статистической обработки данных pluviографов на территории Эстонской ССР за 1925-1961 гг. Коэффициент ψ принимался по вышеприведенному расчету равным 0,39. При определении величины p каждого дождя за основу принимался 20-минутный период с максимальной интенсивностью дождя.

Из фиг. 2 следует, что действительные максимальные расходы значительно меньше расчетных, особенно при более высоких величинах p . Наблюдается также значительная разбросанность опытных точек, которая, по-видимому, объясняет-

ся разнообразием в распределении интенсивности дождя во времени, вызывающим разнообразие и в формировании стока.

Чтобы сократить большие расхождения между расчетными и действительными коэффициентами стока, нами рекомендуется применять следующие величины коэффициента ψ :

- 1) магистральные дороги - $\psi = 0,90$,
- 2) внутриквартальные асфальтированные дороги и площадки - $\psi = 0,60$,
- 3) газоны - $\psi = 0,10$,

причем в расчетную площадь следует включать только прилегающие к асфальтовому покрытию полосы шириной до 10 м,

4) для кровлей следует принимать ψ в зависимости от поверхностей, на которые стекает вода с кровлей. Например, если вода стекает на внутриквартальные дороги, то $\psi = 0,60$, если на газоны вдали от асфальтированных покрытий, то $\psi = 0,0$, при наличии внутренних водотоков $\psi = 0,90$.

Средневзвешенный коэффициент стока на исследуемом объекте, определенный по вышеприведенным величинам, составляет 0,27. Найденные на основе этой величины расходы изображены кривой 2 (фиг. 2). Сравнение опытных точек кривой 2 показывает, что действительные максимальные расходы меньше расчетных даже при применении уменьшенных, т.е. предложенных нами коэффициентов стока.

По СНиП II-Г. 6-62 предполагается принимать период однократного превышения интенсивности дождя p для коллекторов, расположенных в благоприятных и средних условиях стока, равным 0,33-1,0. В практике проектирования обычно принимается $p = 0,5$. В нашем примере $p = 0,5$ и $\psi = 0,27$, следовательно, $Q_{\text{макс}} = 240$ л/сек. Как видно из фиг. 2, действительный расход за трехлетний период только один раз превышал эту величину. Как показывает график дождевого стока, это превышение наблюдалось только в течение 10 мин.

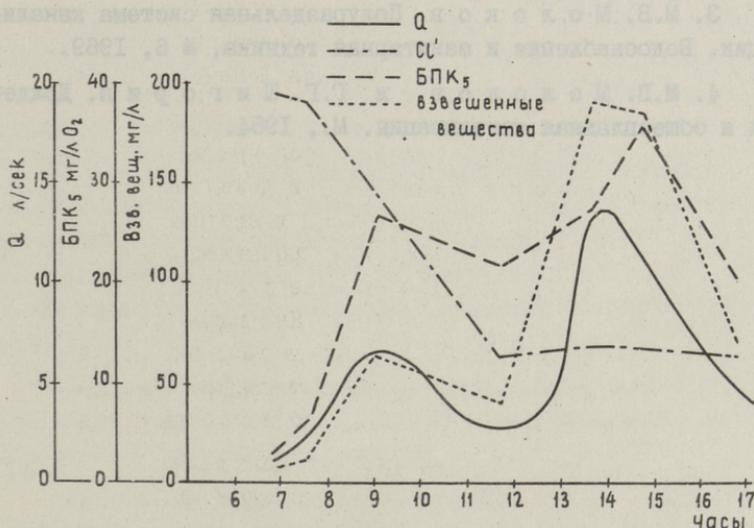
Следовательно, в жилых районах целесообразно принимать за минимальную величину p , в соответствии с нормативами, равной 0,33.

При величине $p = 0,5$ и $\psi = 0,39$ расход в устье коллектора в нашем примере получается равным 360 л/сек. Определенный по вышеприведенным рекомендациям ($p = 0,33$, $\psi = 0,27$)

расход равен 190 л/сек, т.е. расход уменьшается в 1,9 раза. Это позволяет уменьшить диаметр коллектора на 20–30 %. При условиях, аналогичных нашему примеру, такое уменьшение диаметра дает экономию примерно в 10 рублей на 1 м коллектора.

Кроме того, наши результаты показывают, что существующие коллекторы дождевой канализации в районах новостроек имеют известные резервы по пропускной способности максимальных расходов, т.е. в новых районах допускается дополнительное увеличение заасфальтированных и застроенных площадей без соответствующего увеличения диаметров коллекторов.

Нами проводились и исследования качества дождевых стоков. Как правило, дождевые стоки за счет смыва с поверхности бассейна являются загрязненными. Показатели загрязнения колеблются в широких пределах, зависящих от местных условий и характера дождя. По М.В. Молокову [3], [4] в качестве средней величины БПК₅ в коллекторе рекомендуется принимать 30 мг/л, а средней концентрации взвешенных веществ – 300 мг/л. В таких же пределах находились и определенные нами показатели загрязнения. В зависимости от интенсивности и длительности дождя величины БПК₅ в коллекторе наблюдались от 6 до 50 мг/л (в среднем 25–35 мг/л) и концентрации взве-



Фиг. 3. Динамика изменения концентрации загрязнений дождевого стока в коллекторе.

шенных веществ — от 10 до 1000 мг/л (в среднем 100–300 мг/л).
Дождевые стоки с такими показателями качества воды должны подвергаться предварительной очистке перед впуском в водоемы.

При некоторых дождях была исследована и динамика изменения концентрации загрязнений дождевого стока. Обычно считается [3], [4], что самые высокие концентрации загрязнений стока наблюдаются в начале дождя и что концентрация загрязнения по ходу выпадения дождя постепенно уменьшается. По нашим данным оказалось, что максимальные концентрации загрязнения наблюдались во время максимальных расходов или даже некоторое время спустя (фиг. 3).

Л и т е р а т у р а

1. Строительные нормы и правила, часть II, раздел Г, глава 6, 1962.

2. А.Я. К и й в. Об определении интенсивности расчетного дождя на территории Эстонской ССР. Труды Таллинского политехнического института, серия А, № 212. 1964.

3. М.В. М о л о к о в. Полураздельная система канализации. Водоснабжение и санитарная техника, № 6, 1969.

4. М.В. М о л о к о в и Г.Г. Ш и г о р и н. Дождевая и общесплавная канализация. М., 1954.

Concerning Designing Storm Collectors in the
Area of Newly Erected Buildings

Summary

In the new Mustamäe residential district, where a separate storm collector has been built, longtermed observations on the intensity of rainfall and the corresponding runoff were made. The coefficient of runoff was determined on the basis of observations $\psi = 0.12$, whereas the calculated coefficient was determined according to building and designing works $\psi = 0.39$. In the determination of the maximum discharge it is advisable to use a reduced value for ψ and regard the period of a single increase on the calculated intensity of rainfall as equal to the minimal permitted value $p = 0.33$.

УДК 628.536

Л.В.Алтон, М.Г.Ханнус, Л.К.Леесмент,
Х.Ф.Муракас

О ВОЗМОЖНОСТИ ОЦЕНКИ РАБОТЫ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ПО ДЕГИДРОГЕНАЗНОЙ АКТИВНОСТИ ИЛА

При инженерно-технических расчетах, а также для оценки эффективности биологической очистки сточных вод до сих пор используются данные анализов БПК, ХПК, взвешенных веществ поступающего на сооружения и там же очищенного стока.

Оженкинс и Гаррисон [5] и другие исследователи придерживаются мнения, что для последующего развития теории активного ила, а также для улучшения работы сооружений нельзя ограничиваться только косвенными данными.

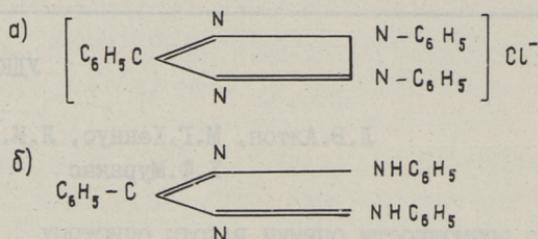
Очистка сточных вод обосновывается жизнедеятельностью микроорганизмов. Поэтому следует, очевидно, пользоваться такими параметрами, которые показывают не только результат процесса, но имеют и прямое микробиологическое значение.

Основную роль при биологической очистке сточных вод имеют энзиматические (ферментативные) процессы микробов — интенсивность этих процессов [9]. Дегидрогеназы являются комплексными энзимами, которые составляют основную часть энзиматических процессов микробов данной популяции активного ила.

Первыми исследователями дегидрогеназов активного ила (ДА) были Букштинг и Тиле [1,2]. Методы определения ДА были дополнены и другими авторами [7, 6, 9].

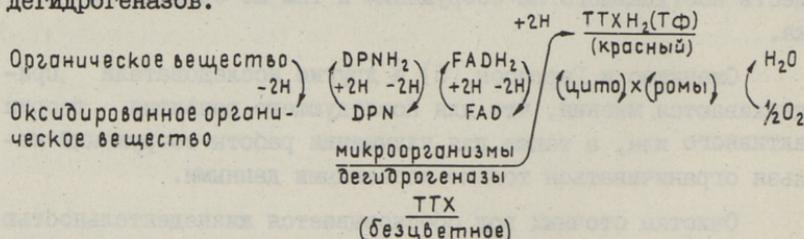
Наличие ДА в иле определяется при помощи 2,3,5-трифенилтетразола хлористого (ТТХ). ТТХ является искусственным субстратом, акцептором водорода при окислении органического вещества. Метод заключается в восстановлении бесцветной

окисленной формы ТТХ в красный трифенил-формазан (ТФ), растворимый в этаноле, ацетоне и бензоле.



Фиг. 1. Окисленная (а) и восстановленная (б) формы ТТХ [7].

Количество образованного ТФ определяется колориметрически по интенсивности окраски, пропорционально активности дегидрогеназов.



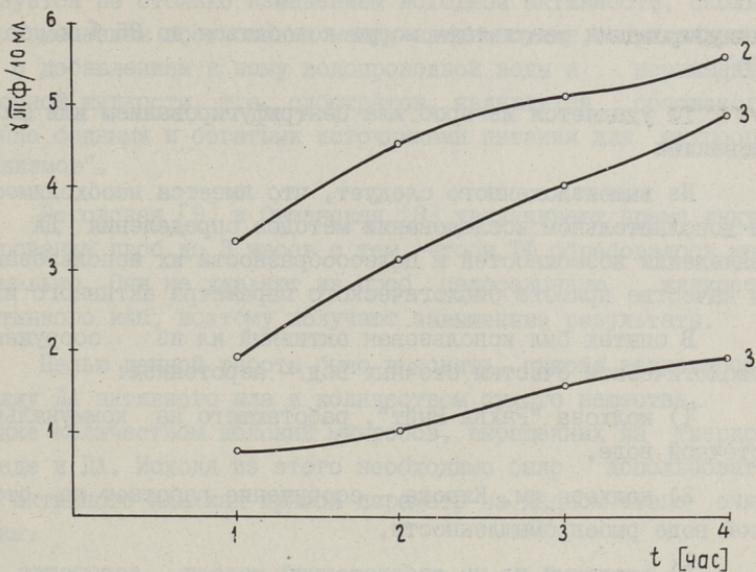
Фиг. 2. Описание реакции по Фарду с соавторами [4].

ДА выражается обыкновенно в мг восстановленного формазана на 1 г сухого или беззольного вещества (удельная активность) ила или на 1 л (1 мл) смеси (общая активность).

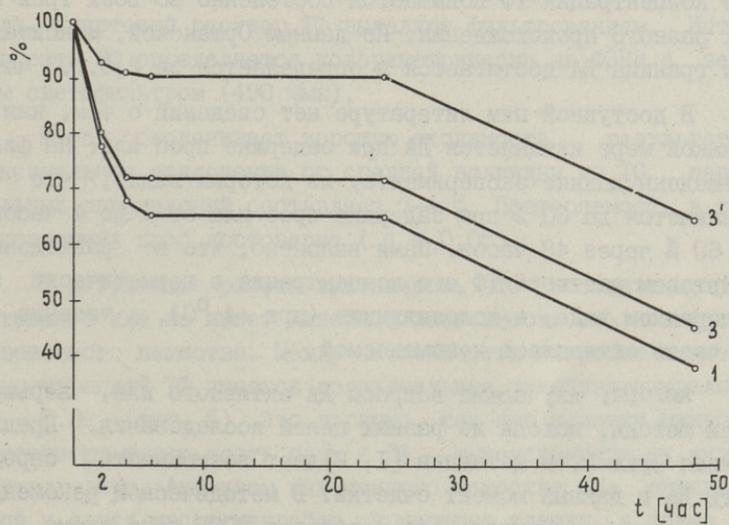
Стандартизованной методики для определения ДА не имеется. В Советском Союзе в последние годы разработано несколько методов для определения ДА активного ила [7, 8, 9]. В методах разных авторов рекомендовалось использовать разные время и температуру инкубации проб, а также разные схемы определения и интерпретации результатов.

Время инкубирования проб, то-есть отрезок времени от прибавления ТТХ раствора до фиксации спиртом ТФ, колеблется у разных авторов от 1 часа до 2...3 часов [1, 2, 8].

В разных исследовательских и методических работах применяется температура инкубирования проб от +20 до +40°C или используется соответствующая температура сооружений, из которых взята проба. В зависимости от различных температур



Фиг. 3. Зависимости между временем инкубирования проб и количеством ТФ.



Фиг. 4. Зависимость между временем хранения проб ила и понижением его ДА в процентах.

инкубирования результаты могут колебаться до 35 % и более [9].

ТФ удаляется из проб ила центрифугированием или фильтрованием

Из вышеизложенного следует, что имеется необходимость в дополнительном исследовании методов определения ДА и выявлении возможностей и целесообразности их использования в качестве прямого биологического параметра активного ила.

В опытах был использован активный ил из сооружений биологической очистки сточных вод - аэротенков:

1) колхоза "Рахва Выйт", работающего на коммунальной сточной воде,

2) колхоза им. Кирова - сооружение работает на сточной воде рыбопромышленности,

3) активный ил из лабораторной модели аэротенка - адаптированный к гидроксibenзену.

Данные экспериментов по содержанию ТФ в зависимости от времени инкубирования показаны на фиг. 3. Оказывается, что концентрация ТФ повышается постепенно во всех трех пробах разного происхождения. По данным Оршанской, максимальная граница ДА достигается и определяется за 2,5...3 часа.

В доступной нам литературе нет сведений о том, как и в какой мере изменяется ДА при задержке проб ила. На фиг.4 приведены данные эксперимента, из которых видно, что ДА понижается до 30 % при задержке проб ила от 2 до 4 часов, и до 60 % через 48 часов. Нами выяснено, что в разведенном спиртовом растворе ТФ его концентрация в герметически закупоренном виде, в холодильнике (при +4 °C), в течение до 24 часов оставалась неизменяемой.

Авторы, изучающие вопросы ДА активного ила, варьируют методы, исходя из разных целей исследования. Предложенная Букштигом методика [1, 2] дает возможность определить ДА в данный момент очистки. В методической рекомендации ЦММ Академии коммунального хозяйства СССР дана схема исследования, по которой при помощи ДА можно более точно охарактеризовать процесс очистки активного ила. Согласно рекомендации, "в процессе изъятия загрязнений ил характе-

ризуется не столько изменением исходной активности, сколько изменением соотношения между активностями, определяемыми с добавлением к нему водопроводной воды и неочищенной сточной жидкости, т.е. субстратов, являющихся соответственно бедными и богатыми источниками питания для микроорганизмов".

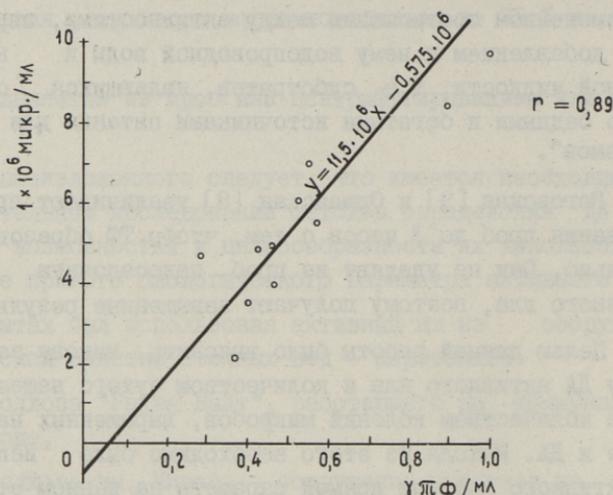
Роговская [9] и Оршанская [8] увеличивают время инкубирования проб до 3 часов с тем, чтобы ТФ образовалось максимально. Они не удаляют из проб надосадочную жидкость активного ила, поэтому получают завышенные результаты.

Целью данной работы было выяснить, какова зависимость между ДА активного ила и количеством сухого вещества, а также количеством колоний микробов, выращенных на твердой среде и ДА. Исходя из этого необходимо было использовать ДА активного ила как прямой параметр на данном этапе очистки.

Для определения ДА использовался следующий метод: из постоянного количества ила (5 или 10 мл) удаляется центрифугированием жидкая фаза. К осадку (центрифугату) добавляется 1 мл 1 %-ного раствора ТТХ. Проба инкубируется в течение 2 часов, затем в нее добавляют 10 мл 96 %-ного этанола. Спиртовой раствор ТФ выделяют фильтрованием. Интенсивность ТФ определяется колориметрически на ФЭКе с зеленым светофильтром (490 мкм).

Метод обеспечивает хорошую сходимость результатов. Максимальное отклонение от средней величины из 10 параллельных определений составляет 3-4 %. Повторяемость в трех репликациях проб достоверна ($p < 0,05$).

В результате работы выяснилось, что концентрация ТФ активного ила не имеет линейной зависимости от количества взвешенного вещества. Между численностью микробов в иле и концентрацией ТФ имеется положительная линейная корреляция ($r = 0,89$) (фиг. 5). Это логично, так как колонии микробов показывают живую часть ила, а ДА - интенсивность их жизнедеятельности. Анализом взвешенного вещества ила определяются и живая масса микробов, и мертвые клетки, а также частично оставшиеся органические и неорганические вещества. Энзиматическую активность имеет только живая часть микробов.



Фиг. 5. Зависимость между количеством микробов и количеством ТФ.

На фиг. 5 показана регрессионная относительность численности сапрофитных микробов и концентрации ТФ.

Нашими предыдущими работами было доказано, что между концентрацией ДА ила и концентрацией ортофосфата в очищенной воде имеется достоверная отрицательная линейная зависимость.

Данные получены при анализе проб активного ила, взятых из опытного полупроизводственного азротенка-отстойника через каждые два часа в трех циклах, с продолжительностью цикла до 58 часов. Обработка результатов выполнена на ЭЦВМ "Минск-22" [9]. Определены взаимно-корреляционные функции $R_{xy}(\tau)$ между разными параметрами активного ила. Анализ показал, что максимальное размножение микробов в активном иле происходит в течение 2...4 часов $R(\tau) |_{\tau=2...4} = 0,50 \dots 0,70$. Максимальная продукция энзима (ТФ) в течение 12 часов $R(\tau) |_{\tau=12} = 0,52$. Оба указанных экстремальных значения корреляционных функций $R_{xy}(\tau)$ положительные, т.е. имеется достоверная положительная линейная зависимость между концентрацией питательных факторов и количеством микробов в иле, а также между концентрацией ДА ила.

Выводы

1. Активность дегидрогеназов является основным параметром, рекомендуемым для применения при оценке работы сооружений, работающих на активном иле.

Метод отличается своей быстротой (общее время анализа ~ 3 часа) и простотой, не требует сложного оборудования и специальной подготовки.

2. Рекомендуем выявить, сколько единиц ТФ падает на количество живых микробных клеток в γ /микробов/мл.

Литература

1. W. Bucksteeg, H. Thiele. "Gas- und Wasserfach", Nr. 36, 916-920, 1964.
2. W. Bucksteeg. Third Intern. Conf. Water Pollut. Res., 1966.
3. M. Effenberger. Third Intern. Conf. Water Pollut. Res., Discussion. 1966.
4. D.L. Ford, J.T. Yang, W.W. Eckenfelder. Proc. 21-st Int. W. Conf. Purdue Univ. Ext. Ser. 121, 534, 1966.
5. D. Jenkins, W.E. Garrison. J.W.P.C.F. No. 40, 1905-1919, 1968.
6. Л.К. Леесмент, А.А. Ляэне, Х.А. Мельдер, Р.И. Рандла, М.К. Юхат, Х.Н. Лутсоя. Материалы научной конф., посвященной 75-летию каф. гигиены Тартуского государственного университета и 30-летию Тартуской Гос. СЭС, Тарту, 1970, 108-112.
7. Методика определения дегидрогеназной активности и окислительно-восстановительного потенциала при техн. контр. за работой аэротенков. Мин. комм.хоз. РСФСР. Акад. К.Х. им. К.Д.Панфилова. Москва, 1970.
8. Ф.Б. Оршанская. Труды ВНИИ "ВОДГЕО", вып. 23 (очистка ст. вод), Москва, 1970.

9. Рекомендации по методам производства анализов на сооружениях биохимической очистки промышленных сточных вод. Сост. н.сотр. ВНИИ "ВОДГЕО" Ц.Н. Роговской и Л.М. Костиной. Москва, 1970.

L. Alton, M. Hannus, L. Leesment, H. Murakas

The Possibility of Estimating the Activated Sludge by its Enzymatic (Dehydrogenase) Activity

Summary

Degradation of organic matter of wastewater in activated sludge type aeration plants is based on the activity of saprophyte microorganisms.

The purification efficiency of a plant is traditionally measured estimating BOD, COD, suspended volatile solids. These parameters give no direct insight into microbiologic processes.

By determining enzymatic activity it seems to be possible to evaluate directly the efficiency of activated sludge type aeration plants.

С о д е р ж а н и е

Стр.

1. Х.А. Мёльдер, А.Л. Острат. Исследование гидродинамических условий аэрации и окислительной способности аэротенка отстойника БИО-25.	3
2. Л.Л. Пааль, К.Р. Хяяль. О гидравлической сущности коэффициентов турбулентной диффузии	II
3. А.Я. Кыйв, Э.Р. Каар, Э.Я. Ленк. Двухступенчатая фильтрация маломутных вод.	2I
4. А.М. Айтсам, Л.Р. Линнушлд. О решении водохозяйственной задачи дискретным динамическим программированием.	29
5. Л.Р. Линнушлд. Алгоритм для расчета качества воды реки на ЭЦВМ.	37
6. А.А. Мумме. Оптимизация процессов очистки питьевой воды	4I
7. К.Р. Хяяль, Л.А. Тепакс, М.-Л.В.Хяяль. О параметрах шероховатости труб.	47
8. Х.А. Вельнер, Л.Л.Рохусаар, М.М.Вяльбе. К вопросу проектирования дождевой канализации в районе новостроек.	59
9. Л.В. Алтон, М.Г. Ханнус, Л.К. Леесмент, Х.Ф. Муракас. О возможности оценки работы очистных сооружений по дегидрогеназной активности ила	67

Сборник статей по санитарной технике УШ

Таллинский политехнический институт

Редактор А. Пааль

Технический редактор Е. Ракеева

Сборник утвержден коллегией Трудов ТПИ 17/У 1972

Подписано к печати 5/Х 1972. Бумага 60x90/16.

Печ. л. 4,75 + 0,25 прилож. Учетно-изд. л. 3,75.

Тираж 350, МВ-07182. Зак. №711. Ротапринт ТПИ,

Таллин, ул. Коскла, 2/9.

Цена 38 коп.

СБОРНИК СТАТЕЙ ПО САНИТАРНОЙ ТЕХНИКЕ

УШ

УДК 628.356

Исследование гидродинамических условий аэрации и окислительной способности аэротенка-отстойника БИО-25. Мельдер Х.А., Острат А.Л. Труды Таллинского политехнического института, 1972 № 330, стр.3-10.

В статье приводятся результаты экспериментальных исследований на натурном малогабаритном аэротенке-отстойнике. Установлено, что эффективность растворения введенного аэрацией кислорода в установке БИО-25 находится в пределах 3,5 ... 4,5 %. Дана формула для определения расхода воздуха в зависимости от производительности сооружения по загрязнениям.

Фигур 4, библиографий 2.

УДК 628.393

О гидравлической сущности коэффициентов турбулентной диффузии. Пааль Л.Л., Хяяль К.Р. Труды Таллинского политехнического института, 1972, № 330, стр. 11-20.

Рассматриваются закономерности коэффициентов турбулентной диффузии в продольном и поперечном направлениях в зависимости от гидравлических параметров русла. Закономерность коэффициентов диффузии предлагается характеризовать в зависимости от областей гидравлических сопротивлений и приводится критический анализ существующих формул для определения этих коэффициентов.

Фигур 3, библиографий 10.

Двухступенчатая фильтрация маломутных вод.

Кийв А.Я., Каар Э.Р., Ленк Э.Я. Труды Таллинского политехнического института, 1972, №330, стр.21-27

В статье предложена схема очистки маломутных природных вод вместо классической (осветлители+фильтры) схемы. I ступенью являются крупнозернистые контактные осветлители, II ступенью - крупнозернистые двуслойные скорые фильтры. Реагенты вводятся в воду перед каждой ступенью. Приведены результаты исследования совместной работы фильтров.

Фигур 3, таблиц I, библиографий 8.

О решении водохозяйственной задачи дискретным динамическим программированием. Айтсам А.М., Линнупылд Л.Р. Труды Таллинского политехнического института, 1972, № 330, стр. 29-35

Описана возможность применения дискретного динамического программирования при решении элементарной оптимизационной задачи в области водного хозяйства. Проведена оптимизация водохозяйственных мероприятий в пределах бассейна идеализированной реки с целью улучшения качества воды при минимальных приведенных затратах. Модель применима у условиям Эстонской ССР.

Фигур I, библиографий 6.

Алгоритм для расчета качества воды реки на ЭЦВМ
Линнупылд Л.Р. Труды Таллинского политехнического института, 1972, № 330, стр. 37-40

Разработан общий алгоритм для расчета качества воды вдоль водотока с помощью электронно-вычислительной техни-

ки. Расчет по консервативным веществам и ингредиентам загрязнения, изменение которых во времени описывается экспоненциальной функцией, ведется отдельно с учетом процессов самоочищения в виде разбавления и биохимического окисления.

Фигур 1, библиографий 1.

УДК 628.1

Оптимизация процессов очистки питьевой воды.
Мумме А.А. Труды Таллинского политехнического института, 1972, № 330, стр. 41-45

В статье рассматриваются проблемы оптимизации в технологии очистки питьевой воды как в стадии проектирования, так и при эксплуатации. Дается общая классификация проблемы.

В краткой форме излагается также схема проведения исследований по оптимизации на Таллинском водопроводе в настоящее время.

Библиографий 6

УДК 628.2
532.543

О параметрах шероховатости труб. Хяяль К.Р.,
Тепакс Л.А., Хяяль М.-Л.В. Труды Таллинского политехнического института, 1972, №330, стр.47-57

Параметры шероховатости вырабатываются для определенных расчетных формул гидравлики, и часто их значения изменяются в зависимости от режима движения (напорное или безнапорное), либо от других факторов. На основе экспериментальных данных определены новые значения этих параметров для расчетной формулы Н.Ф. Федорова с авторским усовершенствованием, свободным от перечисленных недостатков.

Фигур 6, таблиц 1, библиографий 24.

УДК 628.21

К вопросу проектирования дождевой канализации в районе новостроек. Вельнер Х.А., Рохусаар Л.Л., Вяльбе М.М. Труды Таллинского политехнического института, 1972, № 330, стр. 59-65

В новом жилом районе Мустамяэ г.Таллина, где сооружена раздельная система канализации, проводились многолетние наблюдения над интенсивностью дождя и соответствующего стока. Обнаружено, что определенный на основе наблюдений коэффициент стока $= 0,12$, в то время на по СНиП II Г.6-62 расчетный коэффициент $\Psi = 0,39$. Предлагается при определении максимального расхода в расчетах применять уменьшенные величины Ψ и принимать период однократного превышения расчетной интенсивности дождя равным минимальной допустимой величине $P = 0,33$.

Фигур 3, библиографий 4.

УДК 628.536

О возможности оценки работы очистных сооружений по дегидрогеназной активности ила. Алтон Л.В., Ханнус М.Г., Леесмент Л.К., Муракас Х.Р. Труды Таллинского политехнического института, 1972, № 330, стр. 67-74

В работе установлено, что концентрация дегидрогеназной активностью не имеет линейной зависимости от количества взвешенного вещества. Между численностью микробов в активном иле и концентрацией дегидрогеназной активности имеется положительная линейная корреляция.

Фигур 5, библиографий 9.



Цена 38 коп.