

Er. 6.7
420

TALLINNA POLUTEHNILISE
INSTITUUDI TOIMETISED

ТРУДЫ ТАЛЛИНСКОГО
ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

№ 420

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И РЕГУЛИРОВАНИЕ
КАЧЕСТВА ВОДЫ ВОДОЕМОВ И ИССЛЕДОВАНИЕ
МЕТОДОВ ОЧИСТКИ ПРИРОДНЫХ
И СТОЧНЫХ ВОД

(Сборник статей по санитарной технике X1)

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И РЕГУЛИРОВАНИЕ
КАЧЕСТВА ВОДЫ ВОДОЕМОВ И ИССЛЕДОВАНИЕ
МЕТОДОВ ОЧИСТКИ ПРИРОДНЫХ
И СТОЧНЫХ ВОД**

(Сборник статей по санитарной технике X1)

УДК 628.16.067.3

Я.Я.Кару, Л.Л.Пааль

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
МИКРОСЕТОК И ТКАНЕЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ НА
МИКРОФИЛЬТРАХ

Разработка унифицированной методики расчета гравитационных микрофильтров является одним из актуальных вопросов, связанных с применением этих установок в системах водоснабжения и канализации.

Микрофильтры, как правило, работают в режиме непрерывной промывки при сравнительно высокой скорости фильтрации (до 100 м/ч и более), небольшом гидростатическом давлении (до 200–300 мм водяного столба) и малой продолжительности фильтроцикла (10–90 с). В качестве фильтровальной перегородки применяются микросетки (из металлической проволоки) и фильтровальные ткани из синтетического моноволокна. Наиболее широкое распространение получили фильтровальные перегородки с размерами открытых пор (ячеек) от 5 до 100 микрон.

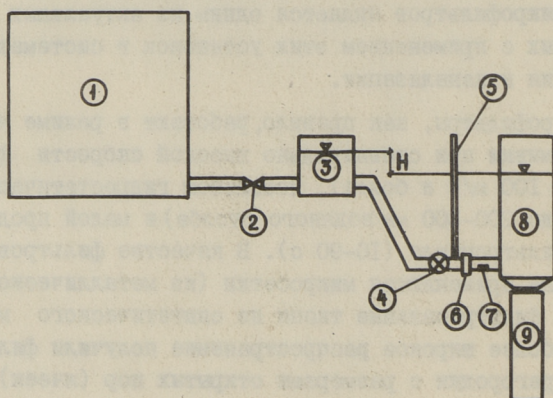
Значительная часть задерживаемых примесей меньше размера ячеек. Определение каких-либо физических параметров пленки, образующейся на поверхности перегородки, представляет собой большие трудности. Поэтому формулы, применяемые для расчета фильтровальных аппаратов в химической технологии [1], при расчете микрофильтров использовать нельзя [2].

Поставленная выше задача требует, на наш взгляд, решения двух вопросов: во-первых, определение показателей, качественно характеризующих исходную воду, т.е. характеризующих пленкообразующие свойства примесей в воде; во-вторых, определение расчетных характеристик геометрического строе-

ния фильтровальных перегородок, учитывая, что размер ячеек является недостаточным для этой цели показателем.

Необходимо также учесть, что разные участки вращающегося барабана микрофилтра имеют разную пропускную и задерживающую способности. В связи с этим большое значение приобретают исследования микрофилтрования на опытной установке, позволяющей определять эпюру местных скоростей филтрования, а также задавать и по мере необходимости оперативно менять все исходные условия процесса.

В настоящей статье приводятся результаты экспериментальных исследований, проведенных для уточнения вышеназванных вопросов. Схема опытной установки представлена на фиг. I.



Фиг. 1. Схема опытной установки. 1 - бак исходной воды емкостью 300 л; 2 - вентиль; 3 - сливной бачок с постоянно установленным водосливом; 4 - пробковый кран; 5 - воздухоотделитель; 6 - блок филтра; 7 - отверстие для взятия анализов филтрата; 8 - сливной бачок с заменяемым водосливом; 9 - мерный цилиндр.

Опыты проводились с разными образцами микросеток и тканей, имеющих размер ячеек от 20 до 76 микрометров и изготовленных полотняным, саржевым и галунным способом переплетения нитей. В качестве исходной воды использовалась искусственно загрязненная вода и вода озера Юлемисте с концентрацией взвешенных веществ от 6 до 100 мг-л.

Основной целью исследований было определение обобщенных зависимостей для расчета прироста гидравлического со-

противления перегородок в процессе фильтрования. Методика проведения опытов заключалась в определении скорости прироста объема фильтрата при помощи мерного цилиндра 9 и секундомера. Для поддержания в фильтре постоянной величины потери напора использовали водосливы 3 и 8. Сливная вода из бачка 8 поступала в мерный цилиндр 9, сливную воду из бачка 3 направляли обратно в бак исходной воды 1. Продолжительность фильтроцикла была не менее 60 секунд.

Опыты показали, что при постоянных исходных условиях повторное фильтрование дает хорошую сходимость функции $W(t)$, где W — объем фильтрата в нарастающем итоге. Последнее обстоятельство позволяет получить через отверстие 7 анализы фильтрата в разные моменты времени данного фильтроцикла, если провести для этого повторные опыты.

Среднюю скорость фильтрования к определенному моменту времени t определяли по формуле

$$V_k = \frac{W_t}{\omega_\phi \cdot t}, \quad (1)$$

где $\omega_\phi = 7,54 \text{ см}^2$ — площадь фильтра.

Далее на основе экспериментальных данных была установлена закономерность в виде зависимости

$$\frac{V_0}{V_k} = 1 + \alpha t, \quad (2)$$

где V_0 — скорость фильтрования чистой воды через данную перегородку при данной потере напора и температуре воды;

$\alpha = \frac{d \frac{V_0}{V_k}}{dt}$ — коэффициент интенсивности прироста гидравлического сопротивления фильтра.

В течение фильтроцикла $\alpha = \text{const}$.

На основе анализа опытных данных по фильтрованию различных вод установлены общие закономерности процесса микрофильтрования в виде

$$y = y_0 - 0,57 \lg x \quad (3)$$

и

$$\Xi = \Xi_0 + 22 \lg z [\%], \quad (4)$$

где $y = \lg \frac{1000\alpha}{x}$ — показатель, характеризующий пропускную способность фильтра;

x и z - показатели, учитывающие условия эксплуатации микрофильтров и определяемые формулами

$$x = 10^3 N_c \cdot C_0^2 \cdot k_1 \quad (5)$$

и

$$z = \frac{10^{-3} M_0}{B \sqrt{N_c}} \cdot \frac{k_2}{k_3}, \quad (6)$$

где C_0 - концентрация взвешенных веществ в исходной воде, мг/л;

M_0 - количество загрязнений, поступивших на единицу площади фильтра за весь фильтроцикл, г/м²;

B - коэффициент, зависящий от применяемого фильтра и значения v_0 ;

k_1 и k_2 - коэффициенты, учитывающие плотность установки нитей в материале фильтра;

k_3 - коэффициент, учитывающий способ переплетения материала.

При полотняном и саржевом переплетениях $k_3 = 1$, при галунном - $k_3 = 2$.

Методика определения показателей v_0 , B , k_1 и k_2 приведена в работе [3].

Показатели γ_0 и ε_0 зависят от свойств загрязняющих веществ в исходной воде и определяются по эмпирическим формулам

$$\gamma_0 = 2,36 - \frac{0,3}{\sqrt{\beta}} \quad (7)$$

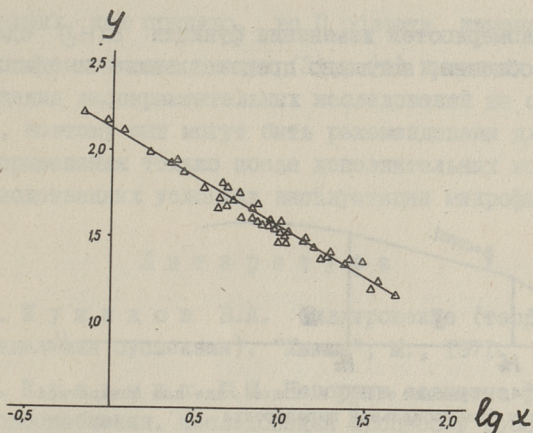
и

$$\varepsilon_0 = 35\beta - 11, \quad (8)$$

где $\beta = \frac{d\alpha}{dN_c} = \frac{d^2(\frac{v_0}{V_k})}{dN_c \cdot dt} = \text{const} [M^{-1} C^{-1}]$ - эксперименталь-

но определяемая величина, характеризующая свойства загрязняющих веществ в исходной воде с точки зрения их способности образовывать на поверхности фильтра стабильную пленку.

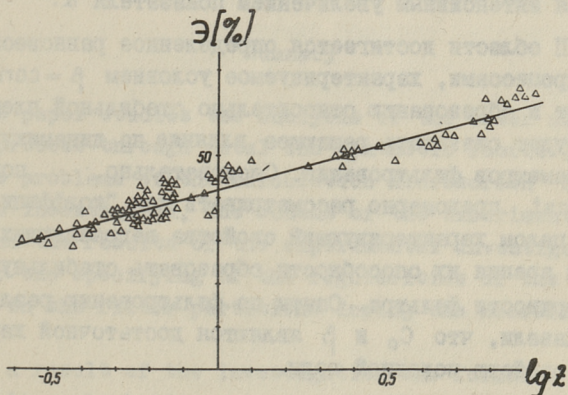
Формулы (3) и (4) являются обобщенными и могут быть применены для характеристики процесса микрофильтрования маломутных вод.



Фиг. 2. Зависимость $y = y_0 - 0,57 \lg x$ для искусственно загрязненной воды.

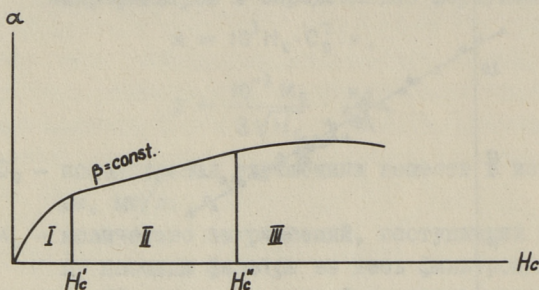
В качестве примера на фиг. 2 и 3 данные зависимости представлены для искусственно загрязненной воды, содержащей по весу 75% активного ила и 25% глины. При другом составе загрязняющих веществ зависимости (3) и (4) будут представлять собой параллельные линии к приведенным на фиг. 2 и 3 графикам.

Многочисленные опыты по фильтрованию различных искусственно загрязненных и природных вод позволили на основе



Фиг. 3. Зависимость $z = z_0 + 22 \lg z$ для искусственно загрязненной воды.

анализа закономерностей изменения функции $\alpha(N_c)$ сделать следующие обобщения, наглядно представленные на фиг. 4.



Фиг. 4. Функция $\alpha(N_c)$ в общем виде для конкретной воды и фильтровальной перегородки.

Во время фильтрования в образовавшейся пленке происходят два явления — процесс прироста количества загрязнений и процесс выноса частиц через перегородку. Значения функции $\alpha(N_c)$ отражают результат взаимодействия этих процессов, а производное данной функции — $\frac{d\alpha}{dN_c} = \beta$ определяет характер их взаимодействия при различных значениях N_c . Исходя из показателя β , можно наблюдать три характерных режима работы гравитационных микрофильтров.

В I области ввиду малого гидростатического давления и малой скорости фильтрования имеются хорошие условия для образования пленки, поэтому процесс фильтрования характеризуется интенсивным увеличением показателя α .

Во II области достигается определенное равновесие между двумя процессами, характеризуемое условием $\beta = \text{const.}$ Это приводит к образованию относительно стабильной пленки, которая будет оказывать решающее влияние на динамику изменения параметров фильтрования. Следовательно, показатель $\beta = \text{const}$ правомерно рассматривать как "коэффициент пленки", в целом характеризующий свойства загрязняющих веществ с точки зрения их способности образовать стабильную пленку на поверхности фильтра. Опыты по фильтрованию различных вод показали, что C_0 и β являются достаточной характеристикой свойств исходной воды.

В III области начинается интенсивный вынос частиц и ухудшение задерживающей способности фильтра. Потеря напора N_c'' является критической для гравитационных микрофильтров,

работающих, как правило, во II области изменения n_c .

Обобщенные зависимости (3) и (4) выведены в результате проведения экспериментальных исследований на опытной установке, поэтому они могут быть рекомендованы для практического применения только после дополнительных исследований в производственных условиях эксплуатации микрофильтров.

Л и т е р а т у р а

1. Ж у ж и к о в В.А. Фильтрация (теория и практика разделения суспензии). "Химия", М., 1971.

2. К у з ь м и н Ю.М. Напорные сетчатые фильтры систем водоснабжения. Исследования процессов работы и инженерные методы расчета. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук, Л., 1968.

3. К а р у Я.Я. Расчет характеристик микросеток и тканей правильного геометрического строения. См. наст. сб., с. II.

J.Karu, L.Paal

The Investigation of the Technological Characteristics of the Microfabrics Used on the Microscreen

Summary

The paper studies the analysis of the water microfiltration process through metal and synthetic fabrics.

The problems of the calculation microscreen installations are investigated. The scheme of the experimental installation and the results of the experimental investigations are given for the specifying of the regularities of the head loss increase in the filter partitions during the microfiltration process.

As a result of the investigation the formulae for the productivity calculation and the purification efficiency in the filtration partitions with the consideration of the main factors effecting the microfiltration process are recommended.

УДК 628.16.067.3

Я.Я.Кару

РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК МИКРОСЕТОК И ТКАНЕЙ
 ПРАВИЛЬНОГО ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ

Оптимизация работы микрофильтров и правильный выбор фильтровальной перегородки может происходить на базе формул, учитывающих влияние перегородки на технологические показатели процесса. В связи с этим необходимо определить обобщенные расчетные характеристики перегородок, применяемых на микрофильтрах.

Одним из таких показателей является размер ячеек, который, однако, не полностью учитывает геометрическую структуру перегородки. Например, при галунном способе переплетения нитей, где отверстия в плоскости материала отсутствуют, такая характеристика вовсе не применима.

Экспериментальные исследования, проведенные с применением разных микросеток и тканей, дали основание рекомендовать в качестве расчетных характеристик эмпирические коэффициенты k_1 , k_2 и k_3 , позволяющие обобщить результаты исследований [1]. Коэффициенты k_1 и k_2 учитывают плотность установки нитей в фильтровальной перегородке и определяются по формулам

$$k_1 = \frac{a}{b \cdot d_{\text{эк}}^2} \quad (1)$$

и

$$k_2 = \frac{K}{d_{\text{эк}}^2}, \quad (2)$$

где $d_{\text{эк}}$ - эквивалентный диаметр ячеек, мкм;

K - коэффициент плотности материала;

a и b - расчетные коэффициенты.

Показатель k_3 учитывает способ переплетения нитей. При полотняном и саржевом переплетениях $k_3 = 1$, при галунном - $k_3 = 2$.

Как известно, взаимосвязь параметров геометрической структуры сетки можно выразить формулами [2]:

$$A = (1 - N_1 \cdot d_1)(1 - N_2 \cdot d_2), \quad (3)$$

$$n = N_1 \cdot N_2, \quad (4)$$

$$f_{\text{я}} = \frac{A}{n}, \quad (5)$$

$$a_1 = \frac{1}{N_2} - d_2 = h_2 - d_2, \quad (6)$$

$$a_2 = \frac{1}{N_1} - d_1 = h_1 - d_1, \quad (7)$$

где A - коэффициент свободного сечения сетки;

n - число ячеек в единице площади сетки;

$f_{\text{я}}$ - площадь ячеек;

a_1 и a_2 - длина ячеек в направлении основы и утка;

N_1 и N_2 - число ниток основы и утка в единице длины сетки;

d_1 и d_2 - диаметр нитей основы и утка;

h_1 - расстояние между центрами нитей основы;

h_2 - расстояние между центрами нитей утка.

Величины N_1, N_2, d_1 и d_2 определяются в результате исследования образцов сеток под микроскопом.

Коэффициент плотности выражается в виде [3]:

$$K = \frac{8nd}{A^2} \text{ [м}^{-1}\text{]}. \quad (8)$$

Преобразуя формулу (5) в виде

$$f_{\text{я}} = \frac{A}{n} = \frac{\pi d_{\text{эк}}^2}{4}, \quad (9)$$

можно эквивалентный диаметр ячеек представить как

$$d_{\text{эк}} = \sqrt{\frac{4A}{\pi n}}. \quad (10)$$

Для определения коэффициентов a и b предложены эмпирические формулы [3]:

$$a = 2,4 \frac{a \cdot b}{a + b} - 0,8, \quad (11)$$

при $\frac{1}{K} < 350 \cdot 10^{-8}$ м

$$a \cdot b = \frac{0,058 \cdot 10^8}{K} \quad (12)$$

$$(a + b) = 4,2 + \frac{0,0125 \cdot 10^8}{K} \quad (13)$$

при $\frac{1}{K} > 350 \cdot 10^{-8} \text{ м}$

$$a \cdot b = 18,5 + \frac{0,004 \cdot 10^8}{K}, \quad (14)$$

$$(a + b) = 7,7 + \frac{0,0025 \cdot 10^8}{K}. \quad (15)$$

Скорость фильтрации чистой воды в микросетках и фильтровальных тканях из синтетического моноволокна определяется по формуле [3]

$$V_0 = \sqrt{l^2 + m \frac{g H_c}{\gamma}} - l \quad \left[\frac{\text{м}}{\text{с}} \right], \quad (16)$$

где H_c - потеря напора в перегородке, м;

$g = 9,81 \text{ м/с}^2$ - ускорение силы тяжести;

γ - коэффициент кинематической вязкости воды, $\text{м}^2/\text{с}$;

l и m - расчетные коэффициенты, выраженные в виде

$$l = \frac{b \cdot A}{2a} \quad \left[\frac{\text{м}}{\text{с}} \right] \quad (17)$$

$$m = \frac{A}{K \cdot a} \quad \left[\frac{\text{м}^2}{\text{с}} \right]. \quad (18)$$

Показатель B [1], учитывающий гидродинамические условия процесса фильтрации, определяется по формуле [3]

$$B = a \frac{V_0}{A} + b. \quad (19)$$

Формулы (3-7) для галунных сеток непосредственно не применимы, поскольку в данном случае согласно формуле (6)

$$d_1 = \frac{1}{N_2} - d_2 = h_2 - d_2 = 0,$$

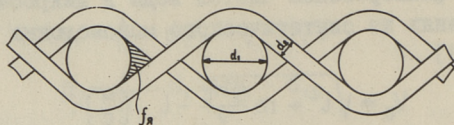
т.е. нити утка установлены вплотную и ячейки в плоскости материала отсутствуют. Для расчета галунных сеток предлагается следующая методика. Обозначим площадь ячейки $f_{\text{я}}$ согласно фиг. I. При помощи формул элементарной геометрии можно определить

$$f_{\text{я}} = \frac{d_1^2}{4} \left[\sqrt{\frac{h_1^2}{4 \left(\frac{d_1}{2} + \frac{d_2}{2} \right)^2} - 1} - \frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{180} \arcsin \left(\frac{d_1 + d_2}{h_1} \right) \right]. \quad (20)$$

Очевидно, что фактическое сечение проточных каналов в перегородке имеет более сложную форму, отличающуюся от приведенной на фиг. I упрощенной модели. Опыты показали, что

это отличие можно учитывать, введя в формулу (20) поправочный коэффициент, равный 1,3. Следовательно, вместо (20) мы имеем

$$f_{я} = 0,325 d_1^2 \left[\sqrt{\frac{h_1^2}{4 \left(\frac{d_1}{2} + \frac{d_2}{2} \right)^2} - 1} - \frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{180} \arcsin \left(\frac{d_1 + d_2}{h_1} \right) \right]. \quad (21)$$



Фиг. 1. Разрез элемента ткани галунного переплетения.

Далее, применяя формулу (5), можно определить расчетный коэффициент свободного сечения A . При наличии показателей A и n все остальные расчеты производятся аналогично расчетам перегородок, имеющих ячейки в плоскости полотна.

При установке двойных нитей основы (например, новая сетка из нержавеющей стали № 300, изготовленная по заказу АКХ им. Памфилова) расчетный диаметр нитей основы рекомендуется определить как диаметр нитей, площадь поперечного сечения которых равна площади обеих фактически установленных нитей.

В качестве примера приведем расчет сетки № 300.

Под микроскопом определим:

$$d_1 = 0,0064 \text{ см}; \quad d_2 = 0,0055 \text{ см} \quad \text{и} \quad h_1 = 0,0313 \text{ см}.$$

Поскольку нити утка установлены вплотную, то $h_2 = d_2 = 0,0055 \text{ см}$.

Применяя формулы (6), (7) и (4), определим соответственно $N_2 = 182 \text{ см}^{-1}$; $N_1 = 32,0 \text{ см}^{-1}$ и $n = 5825 \text{ см}^{-2}$. Определим расчетный диаметр нитей основы $d_1^p = \sqrt{2} d_1 = 0,00907 \text{ см}$.

Площадь ячеек по формуле (21) получается равной $f_{я} = 0,0000218 \text{ см}^2$. По формуле (5) определим коэффициент свободного сечения $A = 0,127$; по формуле (8) коэффициент плотности $K = 1600 \text{ м}^{-1}$.

Применяя формулы (11), (12), (13), (17) и (18), определим коэффициенты $a = 0,95$; $b = 3,9$; $l = 0,261 \text{ м/с}$ и $m =$

Расчетные характеристики некоторых фильтровальных перегородок,
применяемых на микрофильтрах

Материал	Способ переплетения нитей	a	b	l	m $\times 10^{-6}$	K ₁	K ₂	K ₃	d _{эк.} мкм
Микросетка № 004	Саржевое 2/2	4,3	3,7	0,155	23,7	0,000518	157,5	I	47,4
Микросетка № 0056	Саржевое 2/1	4,7	4,3	0,178	43,2	0,000238	42	I	67,8
Микросетка № 300	Галунное	0,95	3,9	0,261	8,4	0,000088	576	2	52,8
Фильтровальная ткань Poluton 30	Саржевое 2/2	1,8	3,5	0,243	14,1	0,000384	732	I	36,6
Фильтровальная ткань Nybolt P-20	Саржевое 2/2	0,5	4,75	0,95	17,6	0,000169	3730	I	24,7

$= 8,4 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$. Эквивалентный диаметр ячеек определим по формуле (10) - $d_{\text{эк}} = 52,85 \text{ мкм}$. По формулам (1) и (2) определим расчетные характеристики микросетки № 300 - $K_1 = 0,000088$ и $K_2 = 576$.

Экспериментальные исследования позволяют рекомендовать данную методику для расчета характеристик микросеток и фильтровальных тканей, изготавливаемых полотняным, саржевым и галунным способом переплетения нитей при размере ячеек до 100 мкм.

В представленной таблице приведены расчетные характеристики некоторых фильтровальных перегородок, применяемых в настоящее время на гравитационных барабанных микрофилтрах.

Л и т е р а т у р а

1. Кару Я.Я., П а а л ь Л.Л. Исследование технологических показателей микросеток и тканей, применяемых на микрофилтрах. См. наст. сб., с. 3.

2. П и с к а р е в И.В. Фильтровальные ткани. Изд. АН СССР. М., 1963.

3. К а р у Я.Я. Расчет потери напора в чистых микросетках и фильтровальных тканях из синтетического моноволокна. "Тр. Таллинск. политехн. ин-та", № 380, 1975, Таллин.

J. Karu

Calculation of the Characteristics for Microscreens and Fabrics with Regular Geometric Construction

Summary

The paper studies the problem of the methods of the microfabric characteristics and filtration fabrics calculation which are used for the microscreen.

The usage of the characteristics will make it possible to generalize the results of the experimental investigations of the microfiltration process, which were made with different filtration partitions.

The formulas for the calculation of the characteristics based on the results of the examination of fabric samples under the microscope are recommended.

УДК 628.16.067.3

Я.Я.Кару, Л.Л.Пааль

МЕТОДИКА РАСЧЕТА МИКРОФИЛЬТРОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ
 МАЛОМУТНЫХ ВОД

Процесс фильтрования маломутных вод в микросетках и фильтровальных тканях при постоянном гидростатическом давлении можно характеризовать формулами [1]

$$V_k = \frac{V_0}{1 + \alpha T} \quad (1)$$

$$\varepsilon = 35 \beta - 11 + 22 \lg z, \quad (2)$$

причем

$$\lg 1000 \alpha = 2,36 - \frac{0,3}{\sqrt{\beta}} + 0,43 \lg x, \quad (3)$$

где V_k - средняя скорость фильтрования, м/с;

ε - эффект очистки, %;

V_0 - скорость фильтрования в чистой фильтровальной перегородке в начальный момент фильтрования, м/с;

$\alpha = \frac{d(\frac{V_0}{V_k})}{dt}$ - коэффициент интенсивности прироста гидравлического сопротивления фильтра, I-с;

T - продолжительность фильтрации, с;

$\beta = \frac{d\alpha}{dH_c}$ - коэффициент пленки, характеризующий исходную воду, I/м.с;

x и z - показатели, учитывающие условия работы фильтровальных перегородок;

H_c - потеря напора в фильтровальной перегородке, м.

Поскольку формулы (1) и (2) выведены на основе лабораторных исследований [1], нами проводились дополнительные исследования в условиях эксплуатации микрофильтров 0,45x0,45м и 3x4,5 м, установленных для предварительной очистки воды озера Клемисте в г.Таллине. Опыты проводились с применением разных фильтровальных перегородок при значительных колеба-

ниях концентрации и свойств примесей в исходной воде.

Микрофильтр 3x4,5 м был оборудован микросеткой из никеля № 004 и галунной сеткой из нержавеющей стали № 300 [2], на микрофильтре 0,45x0,45 м применяли микросетку № 004 и фильтровальную ткань Polymon 43, изготовленную из полиэфирных волокон. На микрофильтре 0,45x0,45 м полотно натягивалось по всему периметру цилиндрического каркаса барабана. Этим достигалось более равномерное натяжение ткани и определенное уменьшение механической нагрузки на полотно. В результате можно было отказаться от поддерживающих сеток, которые увеличивают гидравлическое сопротивление фильтровальной перегородки и затрудняют ее промывку. На микрофильтре 3x4,5 м ввиду конструктивных недостатков плоских фильтровальных рам понадобилось установление 3-4 поддерживающих сеток.

Производительность микрофильтра Q можно определить по формуле

$$Q = V_k \Omega_{\phi}, \quad (4)$$

где V_k - средняя скорость фильтрования, определяемая по формуле (1);

Ω_{ϕ} - фактическая площадь фильтрования микрофильтра.

Для определения Ω_{ϕ} и продолжительности фильтроцикла T предлагаем следующий подход. Согласно схеме поперечного разреза микрофильтра (фиг. I), степень заполнения барабана определяется в виде

$$k = \frac{R + a}{D} \quad (5)$$

и длина затопленной части периметра барабана как

$$S = \pi D \left(1 - \frac{\varphi}{360}\right). \quad (6)$$

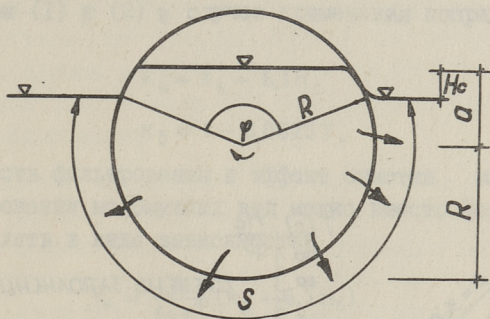
Угол φ , учитывая дополнительную пропускную способность в области погружения полотна до глубины H_c , можно определить в виде

$$\varphi = 2 \arccos \left(2k - 1 - \frac{H_c}{D}\right). \quad (7)$$

Конструктивные особенности микрофильтра учитываются коэффициентом использования поверхности барабана

$$\eta = \frac{L_{\text{эф}}}{L}, \quad (8)$$

где $L_{\text{эф}}$ и L - соответственно эффективная и габаритная длина барабана.



Фиг. 1. Схема поперечного разреза микрофильтра.

Эффективную длину барабана можно определить как

$$L_{\text{эф}} = \frac{F_{\phi}}{\pi D}, \quad (9)$$

где F_{ϕ} - суммарная площадь фильтрации микрофильтра.

Следовательно, фактическая площадь фильтрации определяется в виде

$$\Omega_{\phi} = F_{\phi} \left(1 - \frac{\varphi}{360}\right), \quad (10)$$

и продолжительность фильтроцикла, учитывая формулы (9) и (10), как

$$T = \frac{\Omega_{\phi}}{F_{\phi}} \frac{\pi D}{V_{\text{вр}}}, \quad (11)$$

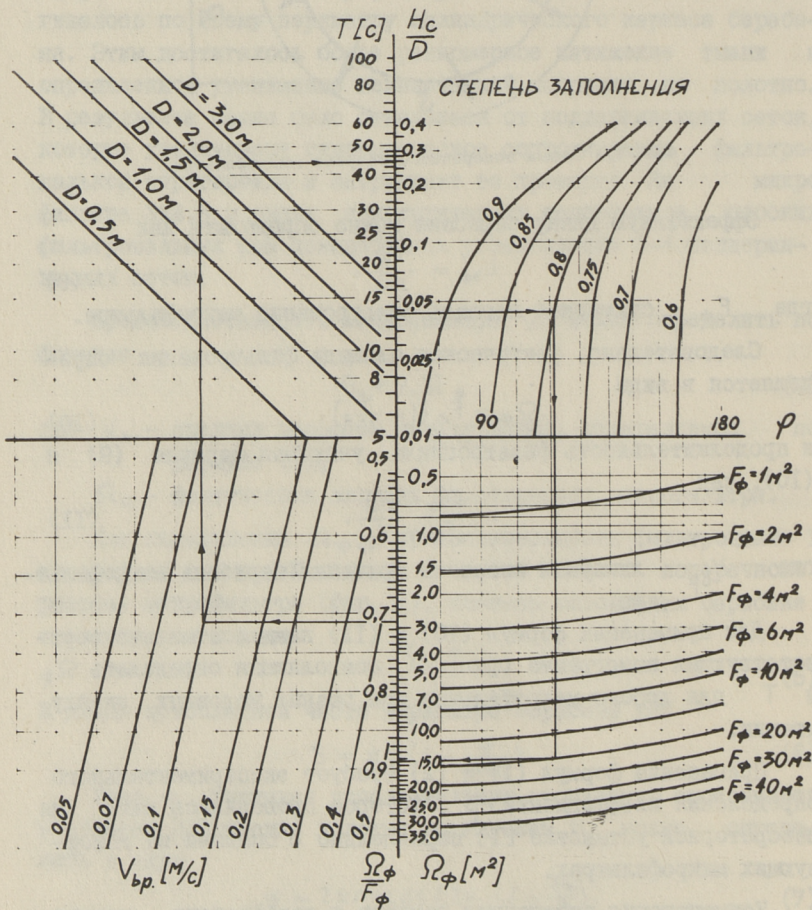
где $V_{\text{вр}}$ - линейная скорость вращения барабана микрофильтра.

Для применения формул (10) и (11) нами составлена соответствующая номограмма (фиг. 2), позволяющая определить Ω_{ϕ} и T для любого микрофильтра при разных условиях эксплуатации.

Применение формул (1) и (2) требует экспериментального определения коэффициента β , которое проводилось нами на лабораторной установке [1] параллельно с опытами на действующих микрофильтрах.

Концентрация взвешенных веществ и коэффициент пленки в течение всего периода исследований изменялись в пределах $C_0 = 5-55$ мг/л и $\beta = 0,19-1,4$ л/м²·с.

Анализ эксплуатационных показателей работы микрофильтров показал удовлетворительную сходимость этих показателей



Фиг. 2. Номограмма для определения площади фильтрования и продолжительности фильтроцикла микрофилтра.

с формулами (I) и (2) в случае применения поправочных коэффициентов

$$K_4 = K_6 + 6,3 N_c \quad (I2)$$

и

$$K_5 = 1 - 0,0025 T, \quad (I3)$$

т.е. скорость фильтрования и эффект очистки микрофильтра при фильтровании маломутных вод можно вместо формул (I) и (2) определить в виде зависимостей

$$V_k = \frac{V_0}{1 + \alpha T} (K_6 + 6,3 N_c) \quad (I4)$$

и

$$\Delta = (35 \beta - 11 + 22 \lg z) (1 - 0,0025 T), \quad (I5)$$

где K_6 - коэффициент, учитывающий степень промывки полотна и условия течения воды на входе в микрофильтр.

Для микрофильтров конструкций АКХ при установке двух поддерживающих сеток и полном смыве пленки при промывке этот коэффициент рекомендуется принимать равным 0,25.

Проектирование микрофильтров сводится к выбору фильтровальной перегородки и расчету необходимой площади микрофильтров. Обе задачи могут быть решены на базе зависимостей (I4) и (I5). Для этого на первом этапе выбирается фильтровальная перегородка; на втором этапе, зная геометрическую характеристику перегородки, производится расчет необходимой площади микрофильтров, обеспечивающих заданную производительность станции. Проектирование микрофильтров в два этапа позволяет получить оптимальное решение задачи в заданном диапазоне изменения загрязненности воды. Это достигается тем, что выбор перегородки осуществляется при минимальных расчетных значениях C_0 и β , когда задерживающая способность фильтра минимальная, а пропускная - максимальная. Последующий расчет площади микрофильтров производится при максимальных значениях C_0 и β , когда пропускная способность минимальная, а задерживающая - максимальная.

Как было установлено ранее [I], влияние геометрического строения перегородки на ее технологические свойства можно учитывать соответствующими коэффициентами K_1, K_2 и K_3 , причем эксплуатационные показатели x и z , входящие в

формулы (3) и (15), определяются в виде

$$x = 10^3 H_c C_0^2 K_1 \quad (16)$$

и

$$z = \frac{10^{-3} V_k C_0 T}{B \sqrt{H_c}} \frac{K_2}{K_3}, \quad (17)$$

где K_1 и K_2 — коэффициенты, учитывающие плотность установки нитей в материале фильтра;

K_3 — коэффициент, учитывающий способ переплетения нитей. При полотняном и саржевом переплетениях $K_3 = 1$, при галунном — $K_3 = 2$;

B — коэффициент, зависящий от применяемого фильтра и значения V_0 .

Методика определения коэффициента B и геометрических характеристик фильтровальных перегородок K_1 и K_2 приведена в работе [2]. На основе формул (15) и (17) можно заключить, что для выбора фильтровальной перегородки по заданным значениям C_0 , β и Δ необходимо составить систему уравнений из формул (14) и (15) и решить эту систему в отношении K_2 . Полученное значение K_2 определяет плотность искомой перегородки.

Решить такую задачу аналитическим путем трудно, поэтому нами была составлена программа для ЭЦВМ "Минск-22". При этом за основу принимали следующую методику.

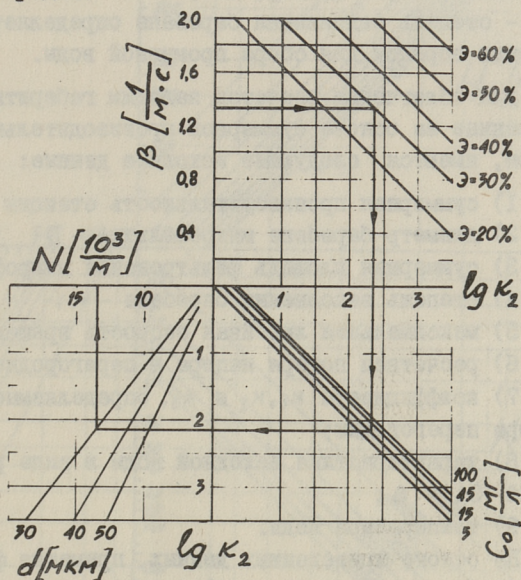
Задавая интервалы изменения показателей C_0 , β , H_c , T и выбирая в каждом интервале по 3–6 разных значений этих показателей, было образовано всего 360 возможных вариантов исходных условий процесса фильтрации. Проведенные нами опыты и литературные данные позволили рекомендовать для микрофильтров, применяемых для очистки маломутных вод, следующие интервалы вышеназванных показателей:

$$5 < C_0 < 100 \frac{\text{мг}}{\text{л}}; \quad 0,2 < \beta < 2,0 \frac{1}{\text{м.с}};$$

$$5 < H_c < 20 \text{ см}; \quad 20 < T < 100 \text{ с}.$$

Затем, изменяя диаметр и плотность установки нитей, были заданы 50 разных фильтровальных перегородок и определены соответствующие показатели K_1 и K_2 при $K_3 = 1$. Применяя вышеприведенные формулы, определялся эффект очистки при всех фильтровальных перегородках и вариантах исходных условий.

Если $C_0 = \text{const}$ и $\beta = \text{const}$, то существуют прямолинейные зависимости в виде функций $\varepsilon(\lg k_2)$, причем коэффициент линейной корреляции находится в пределах 0,93–0,97. Данное обстоятельство дало возможность составить номограмму (фиг.3) для выбора перегородки.



Фиг. 3. Номограмма для выбора фильтровальной перегородки.

По данной номограмме, исходя из заданных значений β и C_0 и заданного эффекта очистки ε , можно определить величину $\lg k_2$. Задавая диаметр нитей фильтровальной перегородки, можно на основе найденного значения $\lg k_2$ определить необходимое количество нитей на единицу длины фильтровальной перегородки N . Показатели N и d определяют геометрическое строение материала.

Расчет необходимой площади микрофильтров следует провести с учетом максимального использования мощности установок, которое достигается при максимально допустимых значениях потери напора, скорости вращения и степени заполнения барабана. Значения этих показателей определяются из следующих соображений:

- скорость вращения барабана не должна превышать предела, при котором происходит срыв пленки;

- потеря напора в перегородке не должна превышать критического значения, при котором начинается интенсивный вынос частиц через фильтр, [1];

- степень заполнения барабана определяется высотой установки воронок для сбора промывной воды.

Для облегчения расчетов зададим габариты микрофильтра, выбранные на основе суммарной производительности. Таким образом, имеются следующие исходные данные:

- 1) суммарная производительность станции - Q_c ;
- 2) диаметр барабана микрофильтра - D ;
- 3) суммарная площадь фильтрования микрофильтра - F_ϕ ;
- 4) степень заполнения барабана - κ ;
- 5) максимальная линейная скорость вращения барабана - V_{br} ;
- 6) расчетная потеря напора в перегородке - H_c ;
- 7) коэффициенты κ_1, κ_2 и κ_3 , определяемые в результате выбора перегородки;
- 8) характеристика исходной воды в виде расчетных показателей C_0 и β ;
- 9) температура воды.

На основе приведенных данных, применяя формулы (3) и (16) или номограмму (фиг. 4), определим коэффициент интенсивности α .

По формуле [3]

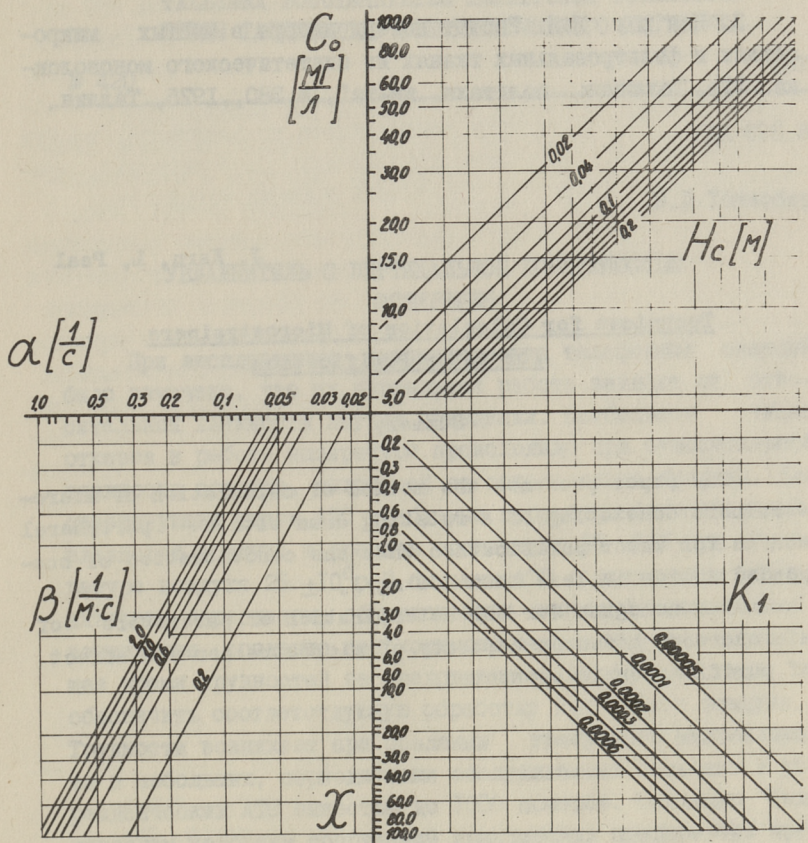
$$V_0 = \sqrt{l^2 + m \frac{g H_c}{\gamma}} - l \quad (18)$$

определим начальную скорость фильтрования при данной перегородке, потере напора и температуре воды.

По номограмме (фиг. 3) определим фактическую площадь фильтрования микрофильтра Ω_ϕ и продолжительность фильтроцикла T .

Пользуясь результатами вышеприведенных расчетов, определим среднюю скорость фильтрования V_k по формуле (14). Очевидно, что необходимое число микрофильтров определяется по формуле

$$n_{mf} = \frac{Q_c}{V_k \Omega_\phi} \quad (19)$$



Фиг. 4. Номограмма для определения коэффициента α .

Вышеприведенная методика расчета позволяет определить все характерные рабочие параметры микрофильтров при условии оптимального режима фильтрации.

Л и т е р а т у р а

1. Кару Я.Я., П а а л ь Л.Л. Исследование технологических показателей микросеток и тканей, применяемых на микрофильтрах. См. наст. сб., с. 3.

2. Кару Я.Я. Расчет характеристик микросеток и тканей правильного геометрического строения. См. наст. сб., с. II.

З. Кару Я.Я. Расчет потери напора в чистых микро-сетках и фильтровальных тканях из синтетического моноволокна. "Тр. Таллинск. политехн. ин-та", № 380, 1975, Таллин.

J. Karu, L. Paal

Technique for Calculation of Microstrainers
for Water Purification

Summary

The paper presents the method of calculation of microstrainers consisting of a rotating drum with a peripheral screen for water purification when the concentration of suspended solids is less than 100 mg/l.

The nomogram for the determination of parameters of microscreens based on capacity of microstrainer and effect of purification is presented.

УДК 628.84

В. Д. Тенисберг

УВЛАЖНИТЕЛЬ С ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ
ИСПАРЕНИЯ

При эксплуатации автоматических телефонных станций было замечено, что их нормальная работа зависит от относительной влажности внутри помещения. Наибольшее число отказов в работе аппаратуры происходило при относительной влажности воздуха, выходящей за определенные пределы. Для существующих типов АТС требуемые параметры относительной влажности воздуха в среднем составляют $65 \pm 15\%$ при температуре воздуха $25 \pm 10^\circ$. В больших АТС с постоянным обслуживающим персоналом, оборудованных системой механической вентиляции, создание необходимого микроклимата в настоящее время трудностей не представляет. Необходимо лишь обеспечить соответствующую обработку приточного воздуха. Трудности возникают при создании требуемого микроклимата в небольших, периодически обслуживаемых сельских и учреждений АТС емкостью до 1000 номеров. Согласно "Техническим условиям сооружений гражданских предприятий проводной и почтовой связи" (ТУ 588-80) в указанных АТС предусматривается устраивать естественную вытяжку воздуха из помещений в объеме одно-двухкратного воздухообмена в час.

Проведенные исследования микроклимата в помещениях работающих сельских АТС показали, что температура внутри помещения АТС поддерживалась в пределах $18-25^\circ$. Относительная влажность воздуха колебалась в пределах от 15% (зимой) до 40% (летом). Низкая относительная влажность воздуха всегда будет наблюдаться в помещениях в зимний и переходный периоды, ибо абсолютная влажность наружного воздуха в эти периоды очень низкая, а работа систем отопления приводит к дальнейшему понижению относительной влажности приточного воздуха.

Результаты проведенных измерений микроклимата АТС позволили сделать вывод: температура воздуха в исследованных АТС соответствовала требуемой, при этом относительная влажность воздуха значительно ниже требуемой. Поэтому для обеспечения нужных параметров микроклимата по влажности, воздух в помещении АТС необходимо доувлажнять. Следовательно, необходимо было выбрать и предложить принцип увлажнения.

В проведенной работе рассматривались такие помещения АТС, где отсутствует система механической вентиляции, а именно небольшие помещения объемом до 150 м³ с одно-двухкратным воздухообменом. Постоянный обслуживающий персонал на АТС отсутствует, следовательно, поддержание необходимых параметров воздуха должно обеспечиваться автоматически. Кроме того, необходимо заметить, что в помещениях АТС размещается аппаратура, для которой присутствие в воздухе каплевидной влаги недопустимо, а подвижность воздуха не должна превышать 0,3 м/с. Учитывая климатические особенности Эстонской ССР, надо отметить, что увлажнение воздуха нужно в зимний и переходный периоды года, т.е. тогда, когда работает система отопления. Летом же температура и влажность наружного воздуха находятся в нужных пределах и, следовательно, не требуют тепловлажностной обработки.

Руководствуясь приведенными положениями, а также тем, что увлажнитель для данного типа помещений должен быть предельно простым по конструкции и в эксплуатации, иметь небольшую себестоимость, занимать минимально места, нами были изучены все существующие увлажнители, которые по своей конструкции могли быть бы применены в условиях рассматриваемых АТС. Детальное изучение существующих конструкций увлажнителей позволило выявить их непригодность по одной, либо другой причине для выполнения поставленной задачи.

В лаборатории санитарной техники ТПИ был разработан опытный образец увлажнителя с вертикальной поверхностью испарения. Увлажнитель представляет собой подвешенное и непрерывно смачиваемое льняное полотно. Испарение влаги происходит со смоченной вертикальной поверхности полотна. Процесс испарения протекает адиабатически за счет явного тепла окружающего увлажнитель воздуха. Предложенный тип увлажнителя является наиболее подходящим вариантом решения во-

проса увлажнения воздуха применительно к рассмотренным условиям.

Предложенный тип увлажнителя является саморегулирующим. Наружный воздух, поступая в помещение через щели и неплотности в наружных ограждениях, будет нагреваться приборами системы отопления. С повышением температуры относительная влажность воздуха будет уменьшаться. Чтобы обеспечить нужную относительную влажность воздуха, необходимо испарить в помещение какое-то количество влаги. Это количество влаги W можно определить как произведение разности абсолютного влагосодержания воздуха заданных параметров d_B и влагосодержания наружного воздуха d_n на количество вентиляционного воздуха V_B

$$W = V_B (d_B - d_n). \quad (I)$$

Зимой количество влаги, которое необходимо испарять, будет максимальным, а в переходные периоды — минимальным. Следовательно, площадь испарения увлажнителя необходимо рассчитывать так, чтобы она обеспечивала максимальное испарение влаги, т.е. для зимних условий.

Как известно, поток массы вещества (пара) при испарении определяется уравнением:

$$W = \beta (p_1 - p_2) F \frac{760}{P_B}, \quad (2)$$

где β — коэффициент массообмена;
 p_1 и p_2 — парциальное давление паров на поверхности испарения и в окружающем воздухе;
 F — площадь испарения;
 P_B — барометрическое давление.

Если площадь испарения увлажнителя рассчитать для зимних расчетных условий так, чтобы она обеспечивала заданную влажность внутреннего воздуха (φ_B), то при всех прочих условиях количество испаряемой влаги должно меняться. Изменять количество испарившейся влаги можно лишь изменением площади испарения F или разности парциальных давлений $P_1 - P_2$.

Исследования показали, что при адиабатическом процессе испарения разница парциальных давлений будет изменяться сама в зависимости от изменения влагосодержания на-

ружного воздуха. Повышение влагосодержания наружного воздуха приведет к некоторому повышению влагосодержания внутреннего воздуха, а последнее, при постоянной внутренней температуре t_B , к уменьшению $\Delta p = p_1 - p_2$. Уменьшение Δp складывается в таких пропорциях, что в конечном счете приводит к уменьшению количества испаряющейся влаги W . Следовательно, можно заключить, что рассчитанный таким образом увлажнитель является саморегулирующим по количеству испаряемой влаги и не требует дополнительных автоматических устройств для регулировки.

Для обеспечения нужной влажности воздуха внутри обслуживаемого помещения надо уметь правильно определить площадь испарения увлажнителя.

Для практического пользования приведенной выше формулой (2) требуется знать величину β . Расчетную формулу для определения этого коэффициента можно получить используя аппарат теории подобия, который является почти единственным методом изучения подобного рода задач, где точные аналитические решения невозможны.

Диффузионный критерий Нуссельта (Nu), устанавливающий подобие полей парциальных давлений на границе жидкости, является приведенным коэффициентом массообмена. Этот критерий получают из условия однородности переноса массы вещества и называют неопределяющим критерием. Неопределяющие критерии в своем составе содержат искомые величины. Например, в диффузионном критерии Нуссельта (Nu) искомой величиной является коэффициент влагообмена β .

$$Nu = \frac{\beta L}{D}, \quad (3)$$

где L - определяющий размер [в нашем случае длина (высота) полотна увлажнителя], м;
 D - коэффициент диффузии, $\text{м}^2/\text{с}$.

Величина коэффициента диффузии для водяных паров определяется по формуле:

$$D = 0,0754 \left(\frac{T}{273} \right)^{1,89} \frac{760}{P_8}, \quad (4)$$

где T - абсолютная температура воздушно-паровой смеси.

Общий вид функции диффузионного критерия Нуссельта для условий естественной конвекции:

$$Nu = f(Ar \cdot Pr), \quad (5)$$

где $Ar = \frac{L^3 g}{\nu^2} \frac{\gamma_1 - \gamma_2}{\gamma_1}$ (критерий Архимеда)

$Pr = \frac{\nu}{D}$ (критерий Прандтля)

g - ускорение силы тяжести, m/c^2 ;

γ_1 и γ_2 - плотность влажного газа у поверхности испарения и в окружающей среде, kg/m^3 ;

ν - коэффициент кинематической вязкости, m^2/c .

Экспериментальные исследования, проведенные А.В. Нестеренко, позволили установить степенной вид этой функции

$$Nu = 0,66 (Ar \cdot Pr)^{0,26} \quad (6)$$

при $Ar \cdot Pr = 3 \cdot 10^6 \div 2 \cdot 10^8$.

В развитии исследований, проведенных А.В. Нестеренко, А.В. Петровым рассмотрены процессы испарения при вынужденном движении воздуха, протекающие при неизотермических условиях, с учетом естественной подвижности воздуха. Обработка результатов в критериальной форме позволила получить следующую расчетную зависимость, для процессов, происходящих при преобладающем влиянии свободной конвекции ($Lo > Pr^{1/3}$; $Ar \cdot Pr > 2 \cdot 10^8$):

$$Nu = 0,1386 [1 + 0,5 (Lo^{-0,5})] (Ar \cdot Pr)^{1/3} \quad (7)$$

В данной формуле показатель степени при $Ar \cdot Pr$ равен $1/3$, что соответствует диапазону произведения $Ar \cdot Pr > 2 \cdot 10^8$. Такие значения этого произведения свойственны процессам испарения воды из сосудов большой емкости.

В формулу введен критерий Ломоносова (Lo), учитывающий соотношение сил, обусловленных наличием гравитационной подвижности воздуха и естественной конвекции:

$$Lo = \frac{Ar}{Re^2}$$

где $Re = \frac{VL}{\nu}$ (критерий Рейнольдса);

V - скорость воздушного потока, m/c .

Значения физических коэффициентов ν и D , входящих в выражения критериев (Ar , Pr и Re), принимают при средней

температуре t_{cp} между поверхностью испарения t_n и окружающей средой t_c

$$t_{cp} = \frac{t_n + t_c}{2}.$$

Следует отметить, что все приведенные выше расчетные формулы относятся к условиям тепло- и массообмена с горизонтальной поверхностью. Аналогичные данные для вертикальных поверхностей, подобных принятой нами, отсутствуют как в нашей, так и в зарубежной литературе. За отсутствием расчетных формул для определения массообмена с вертикальных поверхностей придется за основу принять приведенные выражения для горизонтальной поверхности и установить их пригодность для определения массообмена с вертикальных поверхностей.

Исследования интенсивности испарения с вертикальной поверхности опытного увлажнителя проводились в натуральных условиях на сельской АТС. Измерялось количество испарившейся воды с поверхности увлажнителя в единицу времени. При этом регистрировались параметры окружающего увлажнителя воздуха и кратность воздухообмена в увлажняемом помещении.

Используя данные, полученные в результате проведения исследования увлажнителя, была поставлена задача - проверить пригодность изложенного теоретического материала для определения испарения с вертикальных поверхностей. Зная количество фактически испарившейся влаги (W_{ϕ}) с поверхности увлажнителя можно для каждого опыта определить значение фактического коэффициента массообмена (β_{ϕ}) из выражения

$$\beta_{\phi} = \frac{W_{\phi}}{F(p_1 - p_2)} \frac{P_5}{760}. \quad (8)$$

Сравнение полученного фактического коэффициента массообмена β_{ϕ} с теоретическим, полученным по формуле (7), показало, что фактическое значение коэффициента в среднем в два раза больше теоретического. При этом необходимо учесть, что формула дается для определения массообмена с горизонтальной поверхности и то, что входящий в нее множитель $[1 + (Lo)^{-0,5}]$ характеризует соотношение сил, обусловленных наличием гравитационной подвижности воздуха и естественной конвекции. При работе вертикального увлажнителя также создается конвективный поток воздуха, который

направлен сверху вниз. Интенсивность этого потока тем выше, чем больше разница показаний температуры окружающего воздуха по сухому и мокрому термометрам.

Очевидно, для расчетов увлажнителя с вертикальной поверхностью испарения необходимо формулу (7) брать в следующем виде

$$Nu = c(Ar \cdot Pr)^{1/3} \quad (9)$$

и попытаться ввести в эту формулу какой-то поправочный коэффициент C , подобный $[1 + 0,5(L_0)^{-0,5}]$, который характеризовал бы соотношение сил гравитационной подвижности воздуха и естественной конвекции при вертикальном расположении поверхности испарения. При этом необходимо установить зависимость этого коэффициента. Вполне понятно, что он каким-то образом должен зависеть от скорости движения воздуха, но при практических расчетах поверхности испарения этой величиной пользоваться неудобно, так как заранее неизвестно, какой она может быть.

Основательное изучение результатов исследований позволило установить зависимость коэффициента массообмена с поверхности увлажнителя от кратности воздухообмена в увлажняемом помещении.

Количество вентиляционного воздуха V_B определялось из выражения:

$$V_B = \frac{W_\Phi}{d_B - d_H} 10^3. \quad (10)$$

Поправочный коэффициент c определялся из соотношения

$$c = \frac{\beta_\Phi}{\beta}. \quad (11)$$

Соответствующая обработка результатов проведенных исследований позволила установить значения поправочного коэффициента в следующем виде:

$$c = 0,374 - 0,073 K, \quad (12)$$

где K - кратность воздухообмена увлажняемого помещения.

В заключение необходимо отметить, что полученное нами аналитическое выражение функции $c = f(K)$ может быть применимо лишь в аналогичных проведенным опытам случаях. Но тем не менее в диапазоне кратностей воздухообмена от 0,5

до 3 полученной зависимостью можно пользоваться при практических расчетах массообмена с вертикальных поверхностей для закрытых помещений с естественным воздухообменом. И как результат проведенных исследований нами предложено при расчетах испарения с вертикальных поверхностей пользоваться следующей формулой для определения диффузионного критерия Нуссельта:

$$Nu = (0,374 - 0,073 K)(Ar.Pr)^{1/3}. \quad (13)$$

V. Tenisberg

Air Humidifier with Vertical Evaporation Surface

Summary

For the reliable working of modern automatic telephone exchanges it is necessary to establish in them the air humidity $\varphi = 65 \pm 15\%$ at the temperature $25 \pm 10^\circ\text{C}$. Appropriate devices for damping the air were not provided at small automatic exchanges with no servicing personnel and mechanical ventilation. An air humidifier with vertical evaporation surface for small rooms was designed at the Chair of Sanitary Engineering of the Tallinn Polytechnic University. The investigations performed made it possible to work out calculation methods for determining the rate of evaporation on vertical surfaces.

УДК 696.41

Т.-А.А.Кыйв

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ
ПОТРЕБЛЕНИЯ ГОРЯЧЕЙ ВОДЫ НАСЕЛЕНИЕМ В
УСЛОВИЯХ г. ТАЛЛИНА

Известно, что размер потребления горячей воды в жилых зданиях зависит от степени их благоустройства, оснащенности санитарно-техническими приборами, плотности заселения и обеспечения коммунально-бытовым обслуживанием.

В современных зданиях с повышенным уровнем благоустройства уровень потребления горячей воды из тепловых сетей в основном определяется количеством населения, а также наличием предприятий в микрорайоне.

По известным литературным данным [1,2,3] среднесуточный размер потребления горячей воды, приходящийся на одного человека, колеблется в пределах 90÷110 л/чел.

В г.Таллине в новом жилом районе Мустамяэ в 1973-1974 годах объектами исследования были выбраны наиболее характерные для района 90-квартирные пятиэтажные крупнопанельные здания серии "I-464 А".

В двух зданиях (ул. Вильде 78 и 102) система горячего водоснабжения с непосредственным водоразбором, в одном здании (ул. Сиили 16) закрытая система горячего водоснабжения.

Ниже в таблице приведены результаты исследования потребления горячей воды населением для двух объектов (ул. Вильде 78 и 102) за восемь недель, а здания (ул. Сиили 16) за три недели (с октября до мая месяца).

За пять будних дней расход горячей воды, в среднем составил 83 л/чел.сут. и за выходные дни - 124 л/чел.сут.

Т а б л и ц а I

Среднесуточное потребление горячей воды по дням недели л/чел.

Адрес	Кол-во жильцов	Понедель- ник	Вторник	Среда	Четверг	Пятница	Суббота	Воскре- сенье	Среднее
Вильде 102	320	77,0	74,0	68,2	70,0	82,2	111,8	110,6	85,0
Вильде 78	317	75,8	75,8	85,9	83,0	80,8	113,6	113,8	89,9
Сиили 16	270	97,8	92,7	90,0	87,7	107,3	144,4	150,0	110,0

В с е г о	907	83,4	80,8	81,4	80,2	90,1	123,3	124,8	95,0

Среднесуточный расход горячей воды за неделю в исследуемых домах равен 95 л/чел.сут. при температуре воды 60°C.

Вместе с тем, характер потребления горячей воды населением во времени носит крайне неравномерный характер.

Представление о характере режимов горячего водоснабжения дают значения коэффициентов неравномерности за исследуемый отрезок времени.

В суточном и недельном разрезе коэффициент часовой неравномерности и в недельном разрезе коэффициент суточной неравномерности потребления горячей воды рассматривается по формуле (1), (2) и (3)

$$K_{\text{ч}} = \frac{G_{\text{ч}}^{\text{max}}}{G_{\text{ч}}^{\text{ср}}} = \frac{24 G_{\text{ч}}^{\text{max}}}{G_{\text{сут}}^{\text{ср}}} \quad (1)$$

$$K_{\text{сут}} = \frac{G_{\text{сут}}^{\text{max}}}{G_{\text{сут}}^{\text{ср}}} = \frac{7 G_{\text{сут}}^{\text{max}}}{G_{\text{нед}}^{\text{ср}}} \quad (2)$$

$$K_{\text{ч.нед}} = \frac{G_{\text{ч.нед}}^{\text{max}}}{G_{\text{ч.нед}}^{\text{ср}}} = \frac{168 G_{\text{ч.нед}}^{\text{max}}}{G_{\text{нед}}^{\text{ср}}} \quad (3)$$

где $K_{\text{ч}}$ — коэффициент часовой неравномерности за сутки;

$K_{\text{сут}}$, $K_{\text{ч.нед}}$ — коэффициенты суточной и часовой неравномерности за неделю;

$G_{\text{ч}}^{\text{max}}$, $G_{\text{ч}}^{\text{ср}}$ — максимальное и среднее часовое потребление горячей воды за сутки;

$G_{\text{сут}}^{\text{max}}$, $G_{\text{сут}}^{\text{ср}}$ — максимальное и среднее суточное потребление горячей воды за неделю;

$G_{\text{ч.нед}}^{\text{max}}$, $G_{\text{ч.нед}}^{\text{ср}}$ — максимальное и среднее часовое потребление горячей воды за неделю;

$G_{\text{нед}}^{\text{ср}}$ — среднее недельное потребление горячей воды.

Часовую неравномерность горячего водоснабжения для экспериментальных объектов за неделю в будние дни характеризует табл. 2 и в выходные дни табл. 3. Данные таблиц отражают результаты длительных исследований (19 недель в домах по ул. Вильде 78, 102 и по ул. Сиили 16).

Т а б л и ц а 2

Коэффициенты часовой неравномерности за неделю
в будние дни

Коэффициент	2,66-	2,51-	2,76-	3,01-	3,26-	3,51-	3,76-
часовой нерав-	-2,50	-2,75	-3,00	-3,25	3,50	-3,75	-4,00
номерности за							
неделю							
Количество							
недель	6	6	2	3	-	2	-
%	31,5	31,5	10,5	16	-	10,5	-

Т а б л и ц а 3

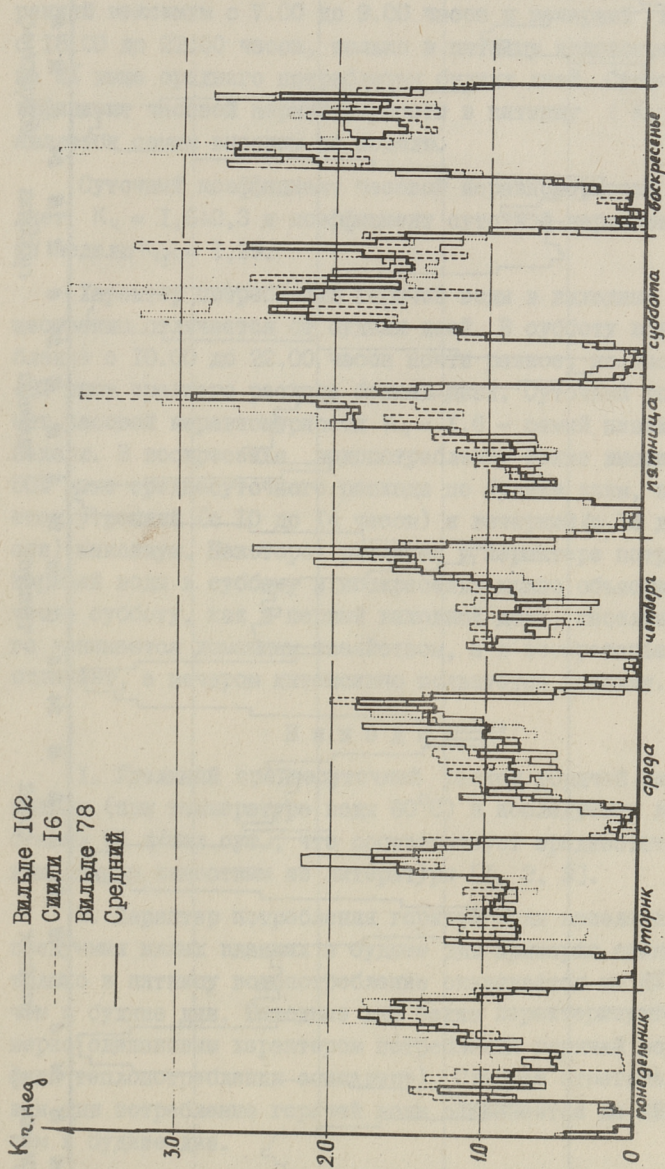
Коэффициенты часовой неравномерности за неделю
в выходные дни

Коэффициент ча-	2,26-	2,51-	2,76-	3,01-	3,26-	3,51-	3,76-
совой неравно-	-2,50	-2,75	-3,00	-3,25	-3,50	-3,75	-4,00
мерности за не-							
делю							
Количество	1	6	5	2	3	-	2
недель							
%	5,5	31,5	26	10,5	16	-	10,5

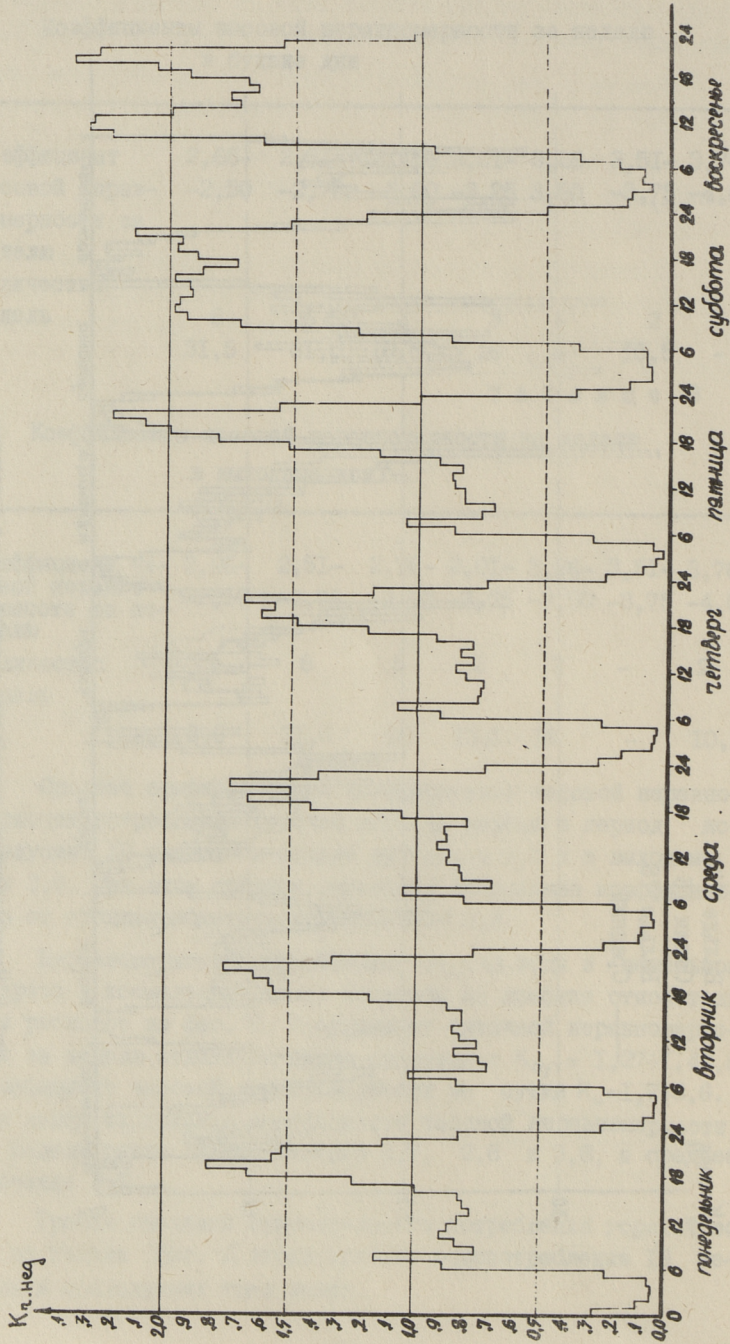
Среднее арифметическое коэффициентов часовой неравномерности потребления горячей воды за неделю в период исследуемых 19 недель в будние дни равен 2,8 и в выходные дни 3,0. При этом среднее линейное отклонение коэффициентов от среднеарифметической величины 0,3.

Неравномерность потребления горячей воды в недельном разрезе в исследуемых домах показана на графике относительных расходов на фиг. 1. Коэффициент суточной неравномерности за неделю отдельных домов составляет $K_{сут} = 1,27 \div 1,48$, а коэффициент часовой неравномерности за сутки $K_q = 1,7 \div 3,6$. Как видно из графика, коэффициенты часовой неравномерности за неделю равны соответственно 3,7, 2,8 и 3,8, а среднее значение 3,0.

График среднего относительного потребления горячей воды за неделю (фиг. 2) характеризует водопотребление 19 недель в исследуемых трех домах.



Фиг. 1. Неравномерность потребления горячей воды в недельном разрезе в исследуемых домах.



Фиг. 2. Средние относительные расходы воды на горячее водоснабжение за неделю (19 недель).

Из графика видно, что характер потребления горячей воды в будние дни одинаковый. Имеется незначительный утренний максимум с 7.00 до 9.00 часов и вечерний максимум с 18.00 до 22.00 часов, только в пятницу водопотребление на 8% выше среднего потребления будних дней. Суточный коэффициент часовой неравномерности в пятницу ($K_{ч} = 2,3$) является самым высоким за неделю.

Суточный коэффициент часовой неравномерности составляет $K_{ч} = 1,6 \div 2,3$ и коэффициент суточной неравномерности за неделю $K_{сут} = 1,29$.

Характер потребления горячей воды в выходные дни существенно отличается от будних дней. В субботу водопотребление с 10.00 до 22.00 часов почти равное, но высокое, на 48% выше среднего расхода будних дней. Суточный коэффициент часовой неравномерности $K_{ч} = 1,6$ — самый низкий за неделю. В воскресенье водопотребление также высокое, на 50% выше среднесуточного расхода по будним дням, но имеется утренний (с 10 до 14 часов) и вечерний (с 18 до 22 часов) максимум. Некоторое различие в характере потребления горячей воды в субботу и воскресенье можно объяснить тем, что в субботу, как в первый выходной день, население много занимается домашним хозяйством, а в воскресенье — днем отдыхает, а вечером интенсивно пользуется ваннами.

В ы в о д ы

1. Удельный среднесуточный расход горячей воды за неделю (при температуре воды 60°C) в исследуемых домах составил 95 л/чел.сут., что соответствует среднестатистическим данным, известным из литературы [1, 2, 3].

2. Характер потребления горячей воды населением в исследуемых жилых зданиях в будние дни примерно одинаковый, только в пятницу водопотребление оказывается на 8% выше, чем в будние дни. Выходные дни также характеризуются примерно одинаковым характером потребления горячей воды (графики теплотребления совпадают). Следует отметить, что в эти дни потребление горячей воды оказывается на 49% выше, чем в будние дни.

3. В недельном разрезе четко различаются графики теплотребления для будних и выходных дней.

Л и т е р а т у р а

1. Б р о д с к и й Е.Ф. Горячее водоснабжение при теплофикации. М., Госстройиздат, 1961.

2. Б р о д с к и й Г.Е. Исследование режимов работы систем горячего водоснабжения при непосредственном водоразборе. Сб. "Теплоснабжение городов", вып. 38. Научные труды АКХ им. К.Д. Памфилова, М., 1965.

3. Б о р о д к и н Ю.Д., Д в о р е ц к о в Н.Г. Режимы горячего водоснабжения жилых зданий и их влияние на регулирование отпуска тепла. Сб. "Теплоснабжение городов", вып. 95. Научные труды АКХ им. К.Д. Памфилова, М., 1973.

T.-A. Kõiv

Experimental Research of the Hot Water Consumption by the Dwellers of Tallinn

Summary

In the article the results of the experimental research in the consumption and regimes of hot water in the apartmenthouses of the new region of Tallinn are presented. The regimes of hot water consumption are compared on work-days and on days off. The results of the research are approximate to the ones of other authors.

УДК 532.621.643

Т.А.Коппель, У.Р.Лийв

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРОВНЯ
ПУЛЬСАЦИИ КАСАТЕЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ НА
СТЕНКЕ ТРУБОПРОВОДА ПРИ ПЕРЕХОДНОМ
ДВИЖЕНИИ ЖИДКОСТИ

Значительный интерес, определяемый задачами практики, вызвал в последние годы появление большого количества научных работ по исследованию нестационарного течения жидкости.

При этом можно заключить, что количество экспериментальных работ явно отстает от теоретических работ в этой области прикладной гидравлики.

Одним из исходных уравнений при рассмотрении нестационарного одномерного по длине турбулентного движения несжимаемой жидкости в круглых трубопроводах является уравнение Рейнольдса, записанное в цилиндрических координатах в виде

$$\frac{\partial \bar{u}_x}{\partial t} - \nu \left(\frac{\partial^2 \bar{u}_x}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \bar{u}_x}{\partial r} \right) + \frac{1}{r} \frac{\partial (r \overline{u'_x u'_r})}{\partial r} = - \frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial x}, \quad (1)$$

где \bar{u}_x и \bar{p} - осредненные по ансамблю соответственно местные скорости жидкости и давление;

ρ - плотность жидкости;

ν - кинематический коэффициент вязкости;

t - время.

При определении турбулентных напряжений используется обычно известная гипотеза Буссинеска

$$\overline{u'_x u'_r} = - \varepsilon \frac{\partial \bar{u}_x}{\partial r}, \quad (2)$$

где ε - коэффициент вихревой или турбулентной вязкости.

В этом предположении необходимо ε определить из экспериментальных данных.

В работах О.Ф. Васильева, В.И. Квона [1], где дополнительно используется еще уравнение энергии турбулентности, и Д.Н. Попова [2], в связи с отсутствием экспериментальных данных величины ε при пульсирующем течении, при решении задачи используется гипотеза об инвариантности коэффициента турбулентной вязкости ε , принимая ее распределение таким же, как при стационарном течении. Поэтому в этих работах не учитывается инерционность турбулентности, которая, однако, по последним исследованиям может появляться уже при небольших параметрах нестационарности [3, 4, 5].

Целью настоящей работы является качественная оценка уровня пульсации касательного напряжения трения на стенке при ускоренном и замедленном течении жидкости в трубопроводе. В настоящее время турбулентный характер вязкого подслоя при стационарном режиме течения экспериментально доказан во многих исследованиях [7] и др. При этом наблюдается, что турбулентность проникает непосредственно до твердых стенок потока. Поэтому измерения уровня пульсации касательного напряжения на стенке потока позволяют оценить интенсивность турбулентности в пристенной области течения.

Экспериментальная часть настоящего исследования проведена в гидравлически гладком трубопроводе диаметром 61 мм. Для определения касательного напряжения трения на стенке трубопровода $\tau_{ст}$ используется термоанемометрический датчик типа 55A91 фирмы "ДИСА". Оценка уровня пульсации $\tau_{ст}$ в каждый момент времени определяется методом ансамбля. Вычисления оценки стандартного отклонения $\tau_{ст}$, а также 90% доверительных пределов проводятся по стандартным алгоритмам [6].

Оценкой пульсации $\tau_{ст}$ в момент времени t_0 является выборочное среднеквадратичное отклонение по формуле

$$S_x(t_0) = \left\{ \left[\frac{\sum_{i=1}^N \tau_{стi}(t_0)^2}{N} - \mu_x(t_0)^2 \right] \frac{N}{N-1} \right\}^{1/2}, \quad (3)$$

где N - число опытов в ансамбле;
 $\tau_{стi}(t_0)$ - мгновенная величина $\tau_{ст}$;
 $\mu_x(t_0)$ - оценка математического ожидания $\tau_{ст}$.

Доверительные пределы для среднеквадратичного отклонения вычисляются следующим образом:

$$\left(\frac{n \cdot \sigma_x^2(t_0)}{\chi_{n; \alpha/2}^2}\right)^{1/2} \leq S_x(\hat{t}_0) < \left(\frac{n \cdot \sigma_x^2(t_0)}{\chi_{n; 1-\alpha/2}^2}\right)^{1/2}, \quad (4)$$

где $n = N - 1$,

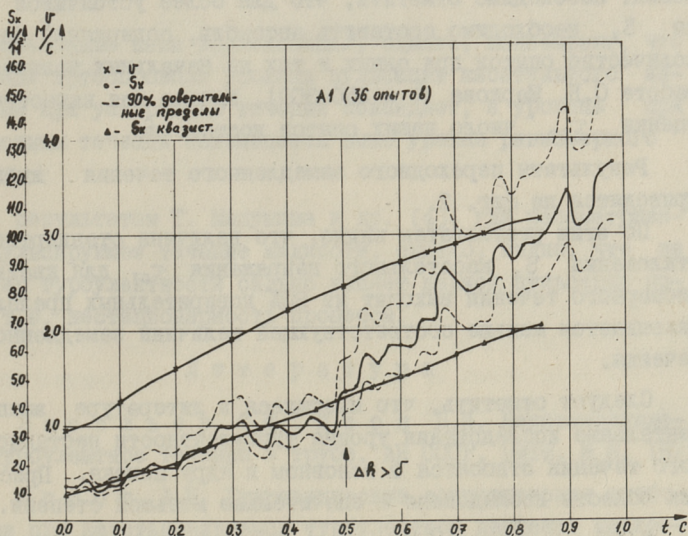
$\sigma_x^2(t_0)$ - выборочная дисперсия;

$S_x(\hat{t}_0)$ - истинная величина стандартного отклонения.

Величины $\chi_{n; \alpha/2}^2$ и $\chi_{n; 1-\alpha/2}^2$ определяются из таблицы процентных точек распределения χ^2 [6]. При вычислении 90% доверительных интервалов принято $\alpha = 0,10$.

Результаты измерения уровня пульсации касательного напряжения на стенке τ_{CT} представляются в настоящей работе в виде отдельных характерных опытов.

Для ускоренного режима движения жидкости результаты измерения и соответствующие вышеприведенным формулам (3), (4) вычисления приведены на фиг. 1.



Фиг. 1. Ускоренный режим движения жидкости.

При этом необходимо отметить, что чувствительный элемент термоанемометрического датчика имеет выдвижение в поток $\Delta h = 0,092$ мм (поверхность датчика плоская). Определяя толщину вязкого подслоя δ по критерию

$$\delta = \frac{12 u_*}{\nu}, \quad (5)$$

где u_* - динамическая скорость,

можно оценить полученные результаты.

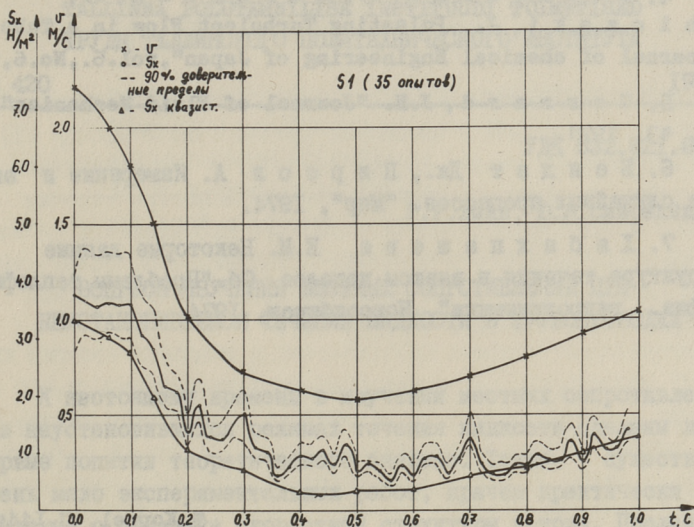
Правее момента времени, соответствующего положению $\Delta h > \delta$ (что отмечено на фигуре стрелкой), где выдвижение чувствительного элемента датчика становится больше вязкого подслоя по (5), возникают дополнительные влияния турбулентности на показание термоанемометрического датчика и поэтому тарировка датчика требует корректировки. От начала опыта до момента времени 0,5 с квазистационарная величина стандартного отклонения S_x касательного напряжения на стенке по средней скорости ν находится в 90% достоверных пределах соответствующей величины ускоренного течения. Необходимо отметить, что для более устойчивой оценки S_x необходимо составить ансамбль, содержащий большее количество опытов при одних и тех же начальных условиях (в работе С.Б. Маркова $N = 250-300$), однако для качественной оценки $\tau_{ст}$ число наших опытов достаточно.

Результаты переходного замедленного течения жидкости приводятся на фиг. 2.

По этим результатам видно, что величина стандартного отклонения S_x касательного напряжения $\tau_{ст}$ для квазистационарного течения выходит из 90% достоверных пределов и оказывается меньше соответствующей величины замедленного течения.

Следует отметить, что имеющиеся в литературе экспериментальные исследования уровня турбулентности нестационарного течения относятся в основном к ядру потока. Пристенная область исследована в значительно меньшей степени.

В ядре потока уровень турбулентности ускоренного течения ниже, а уровень турбулентности замедленного течения выше уровня турбулентности равномерного течения [3,5]. В этих работах предполагаются обратные явления на стенке трубопровода.



Фиг. 2. Замедляющий режим движения жидкости.

Проведенные нами исследования, однако, показывают, что на стенке трубопровода уровень пульсации касательного напряжения при ускоренном течении совпадает, а уровень при замедленном течении оказывается выше уровня равномерного течения.

По результатам Т. Мицушина и др. [4], где рассматривается пульсирующее течение жидкости, однако, видно, что на характер турбулентности сильно влияет период пульсации потока, т.е. нестационарность процесса.

Л и т е р а т у р а

1. В а с и л ь е в О.Ф., К в о н В.И. Неустановившееся турбулентное течение в трубе. АН СССР, ПМТФ, № 6, 1971.
2. П о п о в Д.Н. Гидравлические сопротивления трубопровода при неустановившемся турбулентном движении жидкости. "Изв. вузов. Машиностроение", № 9. 1969.
3. М а р к о в С.В. Исследование кинематических характеристик и гидравлических сопротивлений в неустановившихся напорных турбулентных течениях. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Киев, 1971.

4. Mizushima, T., Maeguyama, T., Shiozaki, J. Pulsating Turbulent Flow in a Tube. "Journal of chemical Engineering of Japan", vol.6., No.6, 1973.
5. Сеггад, Ж.Н. "Journal of Fluid Mechanics", 46, 43, 1971.
6. Бендат Дж., Пирсол А. Измерение и анализ случайных процессов. "Мир", 1974.
7. Хабахпашева Е.М. Некоторые данные о структуре течения в вязком подслое. Сб. "Проблемы теплофиз. и физ. гидродинамики". Новосибирск, 1974.

T.Koppel, U.Liiv

An Experimental Investigation of Skin Friction
Pulsation Level on the Pipe Wall in Unsteady
Fluid Flowing

Summary

Some results of experimental investigation of skin friction pulsation level on the pipe wall in unsteady fluid flow are described in this article. In accelerating the flow the standard deviation of skin friction coincides with the same value of quasi-steady flowing, while in decelerating the flow it is higher.

УДК 532.621.643

У.Р.Лийв, Ю.Я.Сяэрекинно

ВОПРОСЫ ИЗУЧЕНИЯ МЕСТНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ ПРИ
 НЕУСТАНОВИВШЕМСЯ ТЕЧЕНИИ ЖИДКОСТИ В ТРУБОПРОВОДАХ

К настоящему времени в изучении местных сопротивлений при неустановившихся режимах течения жидкости сделаны лишь первые попытки теоретического анализа. Также существует очень мало экспериментальных работ, причем практически нет сведений о динамике скоростной структуры потока. Последнее обстоятельство связано со значительными трудностями в данном этапе техники измерения.

Неустановившееся движение в прямых цилиндрических трубопроводах (при жесткой задаче) принято решать по уравнению Бернулли

$$\frac{\Delta p}{\gamma} = h_{L_D} + h_i, \quad (1)$$

где $\frac{\Delta p}{\gamma}$ - пьезометрический перепад напора;

$h_{L_D} = \lambda_{\text{ну}} \frac{L}{d} \frac{v^2}{2g}$ - мгновенный перепад, расходуемый на преодоление механических потерь;

h_i - инерционный напор;

v - мгновенная средняя по сечению скорость.

При определении инерционного напора одни авторы предлагают пользоваться формулой

$$h_i = \frac{\alpha_0}{g} \int_{S_1}^{S_2} \frac{\partial v}{\partial t} ds \equiv \frac{\alpha_0 L}{g} \frac{dv}{dt}, \quad (2)$$

где α_0 - корректив количества движения;

$L = S_2 - S_1$ - длина контрольного отсека.

Другие [2, 3], учитывая, что часть энергии сил локальной инерции затрачивается на деформацию профиля скоростей, определяют инерционный напор как

$$h_i = \frac{L}{g} \left(\alpha_0 \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{v}{2} \frac{\partial \alpha_0}{\partial t} \right). \quad (3)$$

По [2] второй член в формуле (3) может приобрести значительные величины и им нельзя пренебречь. В работе [1] экспериментальный анализ формул (1), (2) и (3) показывает, что в отдельные моменты времени неустановившегося течения гидравлический уклон отрицательный, что противоречит закону сохранения энергии, и требует, следовательно, более глубокого анализа физической сущности процесса, и введения дополнительных членов в формулу (1).

При наличии местных сопротивлений движение потока отличается резкой неравномерностью на сравнительно коротких участках, в результате чего нельзя пользоваться уравнением энергии (1), полученным для плавно изменяющегося движения жидкости.

Предположив потенциальное плавно изменяющееся движение через диафрагму и пренебрегая потерями напора на трение, в работе [4] предлагается формула для определения перепада давления по линии тока между двумя точками M_1 и M_2 :

$$p'_1 - p'_2 = \rho \frac{u_2^2 - u_1^2}{2} + \rho \int_{M_1}^{M_2} \frac{\partial u}{\partial t} ds, \quad (4)$$

где второй член определит инерционный напор и определяется по [4] через потенциал скорости φ' :

$$\int_{M_1}^{M_2} \frac{\partial u}{\partial t} ds = \frac{d(\varphi'_2 - \varphi'_1)}{dt} = \frac{d(\Delta \varphi')}{dt}. \quad (5)$$

Н. Лимарь [2], исходя из интегрального уравнения переноса энергии для объема жидкости, и наложив некоторые ограничения на характер радиальных составляющих вектора локальной скорости вблизи стенки, выводит для потерь энергии обобщенное уравнение неустановившегося напорного движения.

$$h_n = \xi_{\text{н}} \frac{V_2^2}{2g} = \left(\frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + z_1^* \right) - \left(\frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + z_2^* \right) - \frac{L}{2gV_2} \frac{d}{dt} (\alpha_{0w} V_2^2), \quad (6)$$

где V_2 — средняя мгновенная скорость в широкой трубе при внезапном расширении трубопровода;

z^* — пьезометрический напор;

L — длина контрольного объема;

α_{0w} — объемный коэффициент количества движения, получаемый интегральным осреднением отдельных величин α_0 по длине L .

При этом следует отметить, что разные предпосылки разных авторов приводят к рассеянности опытных результатов даже при однотипных местных сопротивлениях (диафрагма). Такое положение объясняется недостаточной изученностью физики явления — до сих пор можно только предположить, каким образом происходит неустановившееся течение в районе местных сопротивлений при высоких частотах нестационарности. Поэтому отсутствуют достоверные данные об изменении инерционного напора на местном сопротивлении, данные о влиянии инерционных сил на величину коррективов количества движения α_0 и кинетической энергии α , применяемые с точки зрения инженерных расчетов, данные об изменении потерь энергии на местных сопротивлениях (также коэффициентов местных сопротивлений) при неустановившемся течении.

С неизученностью физики явления связаны и трудности количественной оценки различных выдвинутых теорий.

Многие местные сопротивления работают по принципу диафрагмы, расчет которых производится по формуле (в условиях установившегося течения)

$$Q = \mu \omega \sqrt{2g \frac{\Delta P}{\gamma}}, \quad (7)$$

откуда

$$\mu = \frac{Q}{\omega \sqrt{2g \frac{\Delta P}{\gamma}}}. \quad (8)$$

В последней зависимости

Q — действительный расход жидкости;

ω — площадь живого сечения отверстия диафрагмы.

В настоящей работе рассматривается исследование характеристик расходомерных жиклеров с разными диаметрами рабочих отверстий с целью установления связи между измере-

мым расходом и перепадом давления на жиклере (которое измеряется до и после жиклера датчиками давления) при неустановившемся течении жидкости.

Построенная для этих целей опытная установка состоит из двух частей — гидравлической и электроизмерительной, включающая и устройство обработки опытных данных.

Замкнутая гидравлическая установка давлением на 25 атм позволяет устанавливать в "мерной коробке" жиклеры диаметрами $d = 4,0; 5,5; 6,7; 7,7; 8,8; 10,3; 11,0$ и $11,5$ мм. При этом диаметр трубопровода и мерной коробки $16,1$ мм. Диапазон переменных во времени скоростей от 0 до 30 м/с.

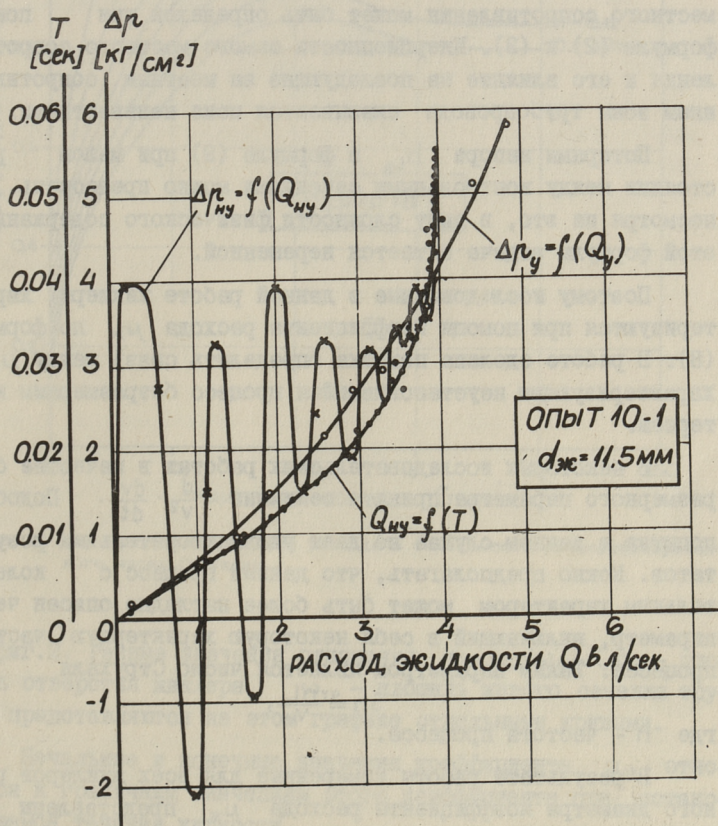
На установке предусмотрена возможность перестановки "мерной коробки" для изучения влияния характеристик гидравлической системы на величину изучаемых гидравлических характеристик (Q и $\frac{\Delta P}{\gamma}$).

В электронно-измерительной части установки в качестве датчиков давления применяются тензометрические датчики ЛХ-4И5/30. Скорости измеряются электромагнитным способом [5], а все опытные данные записаны при помощи системы X-I на магнитную ленту и обработаны на ЭЦВМ "Минск-22".

На фиг. I представлена кривая расхода одного из расходомерных жиклеров при установившемся движении жидкости $\Delta p_y = f(Q_y)$. На тот же график нанесены и опытные данные для одного неустановившегося опыта IO-I. Как видно, функция $\Delta p_{ny} = f(Q_{ny})$ не позволяет однозначного измерения расхода ввиду колебательного процесса мгновенного перепада давления. Так, например, перепаду $\Delta p_{ny} = 3 \text{ кгс/см}^2$ соответствует II значений расхода. Однако при этом следует отметить, что нестационарный расход в зависимости от времени протекания изменяется плавно и вышесказанный колебательный характер мгновенного перепада давления здесь не отражается (фиг. I). Описанные выше явления обнаружены при всех исследуемых жиклерах независимо от размера отверстия жиклера.

Качественный, а также количественный характер явления тесно связаны с гидравлической системой и ее динамическими показателями, но зависит от типа быстродействующего клапа-

на (скорости открытия-закрытия его), от мощности источника энергии и от инерционности системы (массы жидкости). В зависимости от массы жидкости при заданной конечной мощности источника энергии можно достигнуть меньших или больших плотностей распределения энергии действующих сил. К числу этих сил относятся и силы инерции, которые определяют эффекты отклонения величин гидравлических характеристик (коэффициенты сопротивления и расхода) от их стационарных значений.



Фиг. 1. Изменение измеряемых величин в ходе опыта 10-1.

Можно предположить, что измеряемый датчиками давления мгновенный перепад напора $\Delta p/\gamma$ включает в себя в общем случае следующие компоненты

$$\frac{\Delta p}{\gamma} = h_i + h_e + h_{j_D} + h_{L_D}, \quad (9)$$

где h_e — напор, затрачиваемый на преодоление сил сжимаемости;

h_{j_D} — мгновенная потеря напора, расходуемая на местном сопротивлении.

Инерционный напор h_i на прямых участках до и после местного сопротивления может быть определен при помощи формулы (2) и (3). Инерционность самого местного сопротивления и его влияние на последующие за местным сопротивлением зоны трубопровода оказываются пока неизвестными.

Потерями напора h_{L_D} в формуле (9) при малом расстоянии между контрольными сечениями можно пренебречь. Но несмотря на это, в силу сложности физического содержания этой формулы задача остается нерешенной.

Поэтому исследованные в данной работе жиклеры характеризуются при помощи коэффициента расхода $\mu_{ж}$ по формуле (8). В работе сделана попытка определить связь между $\mu_{ж}$ и характеризующим неустановившийся процесс безразмерным критерием.

В некоторых исследовательских работах в качестве безразмерного параметра принята величина $\frac{d}{v^2} \cdot \frac{dv}{dt}$. Подобная попытка в данном случае не дает удовлетворительных результатов. Можно предполагать, что данный процесс с колебательным характером может быть более наглядно описан через параметр, включающий в себя некоторую характерную частоту процесса. Таким параметром является число Струхала

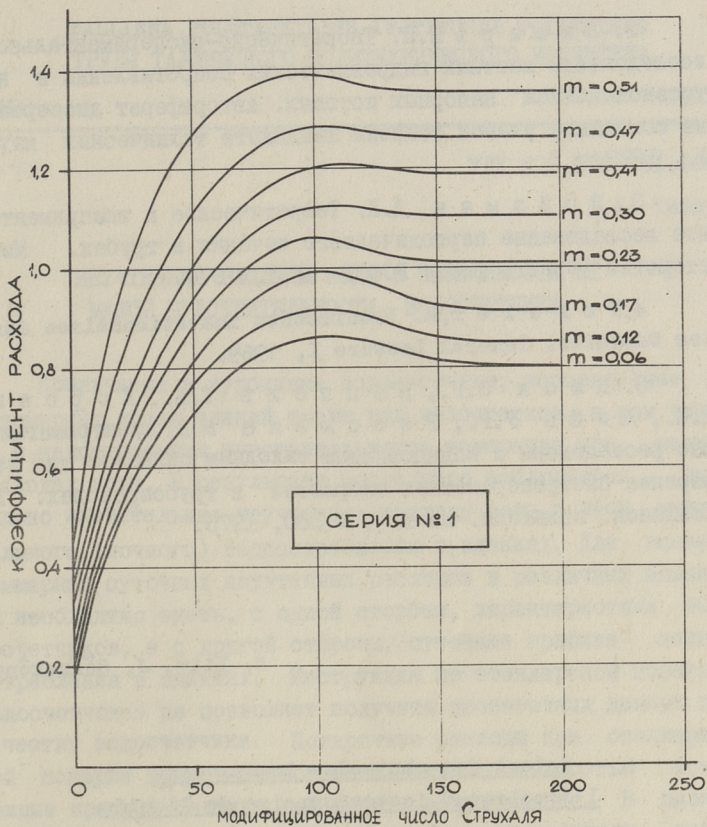
$$Sh = \frac{nL}{v},$$

где n — частота процесса.

В результате работы измерения для всех жиклеров разного диаметра коэффициенты расхода $\mu_{ж}$ представлены (в интересах наглядности) функцией от модифицированного числа Струхала

$$Sh^* = \frac{v_{жT}}{d_{ж}}.$$

Опытные результаты $\mu_{ж}$ в зависимости от Sh^* позволяют вывести довольно наглядную номограмму, представленную



Фиг. 2. Изменение коэффициента расхода в зависимости от модифицированного числа Струхалия.

на фиг.2. Разные значения отношения $m = \omega_{ж} / \omega_{тр}$ ($\omega_{ж}$ - площадь отверстия жиклера, $\omega_{тр}$ - площадь живого сечения трубы) представляются на этом графике отдельными кривыми.

Начальные и конечные значения коэффициента $\mu_{ж}$ относятся к граничным значениям этого коэффициента при установившемся течении жидкости.

Л и т е р а т у р а

И. К а с к Э.Г., Л и й в У.Р. О расчетах пульсирующего движения жидкости в напорных трубопроводах "Тр. Таллинск. политехн. ин-та", серия А, № 309, 1971.

2. Л и м а р ь Н.Н. Теоретическо-экспериментальное исследование местных гидравлических сопротивлений в неустановившихся напорных потоках. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук, Л., 1973.

3. Р о й з м а н Д.Х. Теоретическое и экспериментальное исследование периодического течения в трубах. Министерство речного флота РСФСР ЛИВТ, 1970.

4. F o r t i e r, A. Ecoulements instationnaires dans les Conduits. General Lecture I, 1969.

5. К а с к Э.Г., К о п п е л ь Т.А., К о р с е н В.К., Л и й в У.Р., Р о с с м а н н М.П. Электромагнитные расходомеры с кодированным выходным сигналом для измерения быстропеременных скоростей в трубопроводах. "Тр. Таллинск. политехн. ин-та", № 380, 1975.

U. Liiv, J. Säärekööno

Calcul des obstacles locaux dans
l'écoulement instationnaire du liquide
dans des tuyaux

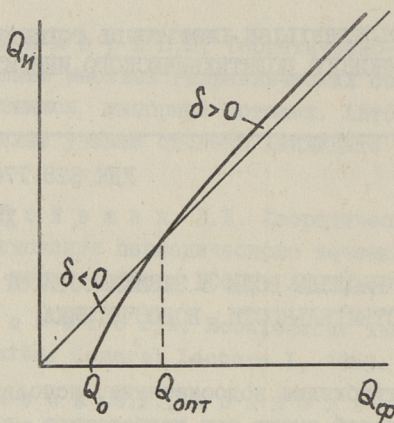
Dans cet exposé sont données les caractéristiques hydrauliques d'un diaphragme dans un conduit cylindrique dans l'écoulement instationnaire. On décrit le lien expérimental entre des différences de pression et des débits d'eau dans l'écoulement instationnaire après chaque 0,001 seconde et de même à l'écoulement stationnaire (figure 1). En admettant l'écoulement quasistationnaire, à tout instant le coefficient de débit du diaphragme est calculé d'après la formule (8). On peut écrire les résultats en fonction du nombre modifique de Strouhal (figure 2).

УДК 628.179:681.121

Х.А. Тибар

НЕУЧТЕННЫЕ РАСХОДЫ ВОДЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ
МАЛОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ВОДОСЧЕТЧИКА

Крыльчатые и турбинные водосчетчики, используемые в водомерных узлах зданий, имеют ряд недостатков, в том числе и недостаточная чувствительность измерения при малых расходах воды. В результате последнего наблюдаются довольно значительные неучтенные расходы воды в часы минимального (ночного) водопотребления в зданиях. Для оценки суммарных суточных неучтенных расходов в различных зданиях необходимо знать, с одной стороны, характеристики водосчетчиков, а с другой стороны, суточные графики водопотребления в зданиях. Инструкция по стандартной поверке водосчетчиков не позволяет получить достаточных данных по качеству водосчетчика. Поверочные расходы при стандартной поверке водосчетчиков не охватывают полностью возможные пределы фактической работы водосчетчика. В целях более совершенного изучения качества водосчетчиков нами были проведены детальные исследования их на специальном стенде в лаборатории гидравлики ТПИ, где фактические расходы Q_f , проходящие через водосчетчик, измерялись объемным способом. Эти исследования позволили получить характеристики водосчетчиков $Q_f = f(Q_n)$, где Q_n — измеренный расход по показаниям водосчетчика. Исследованию подвергались водосчетчики разного производства с калибром 40; 50 и 80 мм, трех категорий: 1) совершенно новые; 2) бывшие в эксплуатации до 12 месяцев (но не требовавшие ремонта) и 3) бывшие в эксплуатации (после мелкого ремонта в мастерской). Характеристики водосчетчиков всех категорий и калибров можно представить в виде графика на фиг. 1. Характеристика водосчетчика пересекает наклонную прямую



Фиг. 1.

в точке, где $Q_ф = Q_и = Q_{опт}$. Если $Q_ф < Q_{опт}$, тогда водосчетчик регистрирует расход меньше фактического расхода, т.е.

$\delta = \frac{Q_ф - Q_и}{Q_ф} < 0$. Если $Q_ф > Q_{опт}$, тогда $\delta > 0$. Опытные данные показали, что порог чувствительности водосчетчика Q_0 , а также оптимальный расход $Q_{опт}$ заметно зависят от срока службы водосчетчика. Численные значения этих параметров были следующие:

Т а б л и ц а I

Калибр водосчетчика, мм	Категория водосчетчика	Q_0 м ³ /ч	$Q_{опт}$ м ³ /ч	Q_0 по ГОСТу 6019-73
40	I	0,07	1,3	0,10
	2	0,20	1,8	
	3	0,40	2,0	
50	I	0,50	3,0	
	2	0,60	3,6	
	3	0,75	3,8	
80	I	0,80	3,5	
	2	0,90	4,0	
	3	1,20	4,2	

Из приведенных данных (таблица I) видно, что если порог чувствительности новых крыльчатых водосчетчиков соот-

ветствует требованиям ГОСТа, то на чувствительность крыльчатого водосчетчика весьма много влияет срок фактической эксплуатации водосчетчика, особенно замена некоторых заводских деталей новыми при ремонте его. Значительно меньше влияет срок эксплуатации на чувствительность турбинных водосчетчиков.

На основании анализа опытных данных определения характеристик водосчетчиков нами составлена таблица поправочных коэффициентов $k = \frac{Q_{\phi}}{Q_{и}}$ и фактических расходов водосчетчиков Q_{ϕ} в зависимости от расхода $Q_{и}$ (таблица 2). При помощи таблицы 2 можно определить фактические часовые расходы в зданиях по показаниям водосчетчиков разного калибра.

Т а б л и ц а 2

Поправочные коэффициенты и фактические расходы водосчетчиков

Расход по показаниям водосчетчика, $Q_{и}$ $м^3/ч$	Расход, проходящий через водосчетчик, Q_{ϕ} $м^3/ч$			$k = \frac{Q_{\phi}}{Q_{и}}$		
	кал. 40 мм	кал. 50 мм	кал. 80 мм	кал. 40 мм	кал. 50 мм	кал. 80 мм
I	2	3	4	5	6	7
0	0,20	0,58	0,90	-	-	-
0,2	0,36	0,68	0,97	1,80	3,40	4,85
0,4	0,54	0,79	1,05	1,35	1,97	2,63
0,6	0,72	0,92	1,15	1,20	1,53	1,92
0,8	0,90	1,06	1,27	1,12	1,32	1,59
1,0	1,08	1,21	1,40	1,08	1,20	1,40
1,5	1,53	1,65	1,78	1,02	1,10	1,19
2,0	1,90	2,10	2,21	0,99	1,05	1,10
2,5	2,43	2,55	2,63	0,97	1,02	1,06
3,0	2,90	3,03	3,08	0,97	1,01	1,03
3,5	3,38	3,51	3,53	0,97	1,00	1,01
4,0	3,87	3,96	4,00	0,97	0,99	1,00
4,5	4,36	4,43	4,45	0,97	0,98	0,99
5,0	4,85	4,90	4,90	0,97	0,98	0,98
6,0	-	5,84	5,80	-	0,98	0,97
7,0	-	6,78	6,70	-	0,97	0,96

I	2	3	4	5	6	7
8,0	-	7,72	7,60	-	0,97	0,95
9,0	-	8,66	8,52	-	0,96	0,95
10,0	-	9,60	9,46	-	0,96	0,95

Фактический суммарный суточный неучтенный расход воды в здании зависит от калибра (характеристики) водосчетчика и от графика суточного водопотребления. Для определения графика суточного водопотребления в жилых зданиях нами были проведены многочисленные натурные исследования с помощью самопишущих водосчетчиков. Измерения производились всего в двенадцати жилых зданиях города Таллина, причем период измерений в каждом доме был достаточно велик (24...64 суток). Статистическая обработка указанных данных измерения позволила получить средние ранжированные графики суточного водопотребления в этих жилых домах с численностью населения 160...710 человек. В каждом жилом доме были определены фактические часовые расходы $Q_{\phi} = k Q_n$ по таблице 2 и относительный неучтенный суточный расход

$$\Delta \% = \frac{\sum_1^{24} Q_n - \sum_1^{24} Q_{\phi}}{\sum_1^{24} Q_{\phi}} 100 .$$

Эти суточные неучтенные расходы приводятся в таблице 3. Следует отметить, что степени благоустройства жилых зданий в таблице следующие:

- I - жилые здания с централизованным горячим водоснабжением с водонагревателями в зданиях;
- IA - жилые здания с централизованным горячим водоснабжением с подачей горячей воды из теплосети жилого района;
- II - жилые здания с газовыми водонагревателями.

Анализ функций $\Delta = f(\sum_1^{24} Q_{\phi})$ по данным таблицы 3

показывает, что значениям $\Delta = 0$ соответствуют:

$$Q_{\phi} = 45 \text{ м}^3/\text{сут при калибре 40 мм,}$$

$$Q_{\phi} = 80 \text{ м}^3/\text{сут при калибре 50 мм.}$$

Если допустить $\Delta = -1\%$, тогда можно рекомендовать для водосчетчиков следующие эксплуатационные нагрузки по расходу воды за сутки:

Неучтенные суточные расходы в жилых зданиях

№№ ПП	Число жителей	Среднесуточное водопотребление $\sum_{i=1}^{24} Q_{\phi}$ м ³ /сут	Степень благоустрой- ства в доме	Калибр водо- счетчи- ка мм	Δ %
I	196	53,2	II	50	-5,1
2	185	44,9	I	50	-9,2
3	180	21,2	IA	40	-11,6
4	179	39,4	I	50	-9,9
5	710	136,1	I	50	+1,5
6	173	32,9	II	40	-3,4
7	324	31,5	IA	50	-20,0
8	360	86,3	I	50	+0,3
9	164	17,2	IA	40	-17,0
10	268	33,3	IA	40	-3,3
II	192	20,6	IA	40	-12,4

калибр 40 мм - 40...80 м³/сут,
 калибр 50 мм - 70...130 м³/сут,
 калибр 80 мм - 120...500 м³/сут.

Следует отметить, что указанные пределы применимости водосчетчиков отличаются несколько от соответствующих рекомендаций в СНиП П-Г.1-70, ГОСТ 6019-73 и ГОСТ 14167-69 для подбора калибра водосчетчика. Указанные в ходе данной работы рекомендации для подбора калибра водосчетчика могут быть полезными в целях снижения неучтенных расходов воды в жилых зданиях.

Expenditure of Water not Registered Due to
Insufficient Sensitivity of Water-Meters

Summary

In this article some typical characteristics of Soviet water-meters, obtained at laboratory measurements are given. Depending on the water-meter characteristics and the daily water consumption in houses, a water quantity not taken into consideration is formed. The latter makes up approximately 8 % of medium water consumption of houses. The final results enable to give recommendations for improving the selection of the water-meter diameter compared with official standards.

А.Г.Каск, В.Р.Вийес

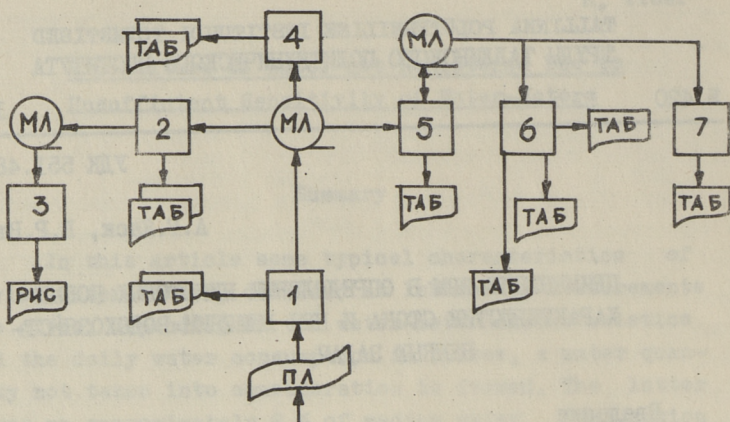
ПРИМЕНЕНИЕ ЭВМ В ОПРЕДЕЛЕНИИ НЕКОТОРЫХ НОВЫХ
ХАРАКТЕРИСТИК СТОКА И ПРИ РЕШЕНИИ ВОДОХОЗЯЙСТ-
ВЕННЫХ ЗАДАЧ

Введение

Наиболее сложные проблемы охраны среды связаны с проблемами охраны водоемов от загрязнения. Во многих густонаселенных районах страны с развитой промышленностью и сельским хозяйством наблюдается острый недостаток воды и резкое ухудшение качества воды водоемов. Новые сложные водохозяйственные проблемы требуют для решения от инженеров-гидрологов часто совершенно нового подхода к гидрологическим данным.

Постоянно удлиняющиеся ряды с ежедневными гидрологическими сведениями безусловно содержат много такой информации, которой пока не умеют пользоваться, или пользование которой было раньше невозможно ввиду отсутствия достаточно длинных рядов наблюдений. В проблемной лаборатории санитарной техники ТПИ разработан и внедрен в практику метод срезки гидрографа для определения стоковых характеристик [1], которые позволяют более обоснованно установить критерии, необходимые, например, для определения расчетного минимального расхода воды при спуске в реки сточных вод [4], при определении минимального лимитирующего расхода воды [3] и т.д. Важной проблемой является также определение минимальных допустимых расходов воды ниже водохранилищ и при переброске стока [2].

Для определения необходимых гидрологических характеристик и для решения некоторых практических водохозяйственных задач, нами разработан комплекс программ для ЭВМ "Минск-22", общая блок-схема которого представлена на



Фиг. 1. Блок-схема комплекса программ для ЭВМ "Минск-22".
 ПЛ - перфолента; МЛ - магнитная лента с массивами данных; ТАБ - распечатываемые табулограммы; РИС - распечатываемые графические зависимости; 1 - программы контроля и записи исходных данных на МЛ; 2 - программа горизонтальной срезки гидрографа для вычисления периодов времени с наличием или отсутствием (недостатком) стока при заданных расходах воды; 3 - программа графического отображения максимальных по длительности периодов стока, выделенных программой 2; 4 - программа вычисления месячных и годовых объемов дефицита (или наличия) стока при заданном режиме забора воды и санитарного расхода; 5 - программа переструктуризации исходных данных, выделения максимального, минимального и вычисления среднего значения расхода воды заданной даты; 6 - программа вычисления стандартных характеристик распределений расхода воды по заданным датам; 7 - программа определения закона распределения стока по заданным датам.

Фиг. 1. Все программы комплекса написаны на алгоритмическом языке МАЛГОЛ-73 (версия АЛГОЛА) и могут быть использованы и для ЭВМ "Минск-32" при работе в режиме совместительства.

Программы комплекса 2, 4 и 5 производят непосредственную обработку проверенной программой 1 исходной информации. Программы 3, 6 и 7 используют уже частично обработанную программами 2 и 5 информацию, что намного сокращает необходимое машинное время.

Программа 1

Программа производит контроль (проверку надежности) записи сточных данных на перфоленте. Данные по таблицам ежедневных расходов воды (ЕРВ) отперфорированы годовыми массивами. Кроме среднесуточных величин расхода воды (с выде-

лением дней с ледовыми явлениями), на перфоленте записываются также средние, максимальные и минимальные месячные значения. Программа производит контроль первичной информации, выделяя экстремальные и вычисляя средние месячные параметры и сравнивая их со считанными с перфоленты. В случае превышения относительной ошибки 5% производится распечатка несовпавших параметров на АППУ.

Программа записывает проверенные годовые массивы на МЛ, где поддерживается хронологический порядок. Запись на МЛ может производиться в выборочном порядке. В первую очередь на МЛ записаны сведения по ЕРВ по трем, расположенным в разных краях Эстонской ССР гидропостам:

- гп Кейла, р. Кейла (бассейн Финского залива) за годы 1923-1973;
- гп Орекула, р. Пярну (бассейн Рижского залива) за годы 1922-1973;
- гп Тыллисте, р. Вяйке-Эмайги (бассейн Чудского озера) за годы 1922-1973.

Всего ряд наблюдений $51+52+52 = 155$ лет, общий объем массива 62.000 чисел, что составляет около одной десятой доли из всех стоковых наблюдений республики.

Программа 2

Программа производит фиксацию периодов T_j при заданных $Q_{зад i}$ в хронологическом порядке расположения годовых массивов ЕРВ. При этом уровни срезки гидрографа задаются на основе многолетней амплитуды колебания расхода воды с таким расчетом, чтобы обеспечивались равные интервалы по логарифмической шкале. Шаг интервала S , таким образом, вычисляется:

$$S = \frac{\log Q_{\max} - \log Q_{\min}}{n}, \quad (1)$$

где n - число заданных интервалов ($n = 19$),
а заданные расходы (уровни срезки) по равенству

$$\log Q_{зад i} = \log Q_{\min} + S(n+1-i). \quad (2)$$

Период считается положительным, когда удовлетворяется неравенство (3), и отрицательным - при неравенстве (4)

$$Q_{300i} \leq Q_i \quad (3)$$

$$Q_{300i} > Q_i \quad (4)$$

Далее из найденных векторов периодов $\{+T_j\}$ срезки $\{-T_j\}$ программой выбираются для каждого заданного уровня срезки 20 наиболее длинных и распечатываются (в порядке убывания) на АЦПУ в виде таблиц. При этом ряд наблюдений может быть рассмотрен либо самостоятельным отрезком, либо циклически повторяющимся.

Для изучения закономерностей образования периодов по всем трем вышеуказанным гидропостам ряды наблюдений рассмотрены как 10-летними и 25-летними отрезками, так и в целом (51 и 52 года).

Программа 3

Программа использует записанные на МЛ результаты предыдущей программы (2) и производит распечатку графиков $\pm T = f(Q)$ в логарифмическом масштабе (фиг. 2).

Применение метода срезки по всей амплитуде колебания стока открывает принципиально новые пути для изучения гидрологического режима рек, для определения цикличности стока, а также для прогнозирования величины экстремальных расходов воды (как максимальных, так и минимальных).

Программа 4

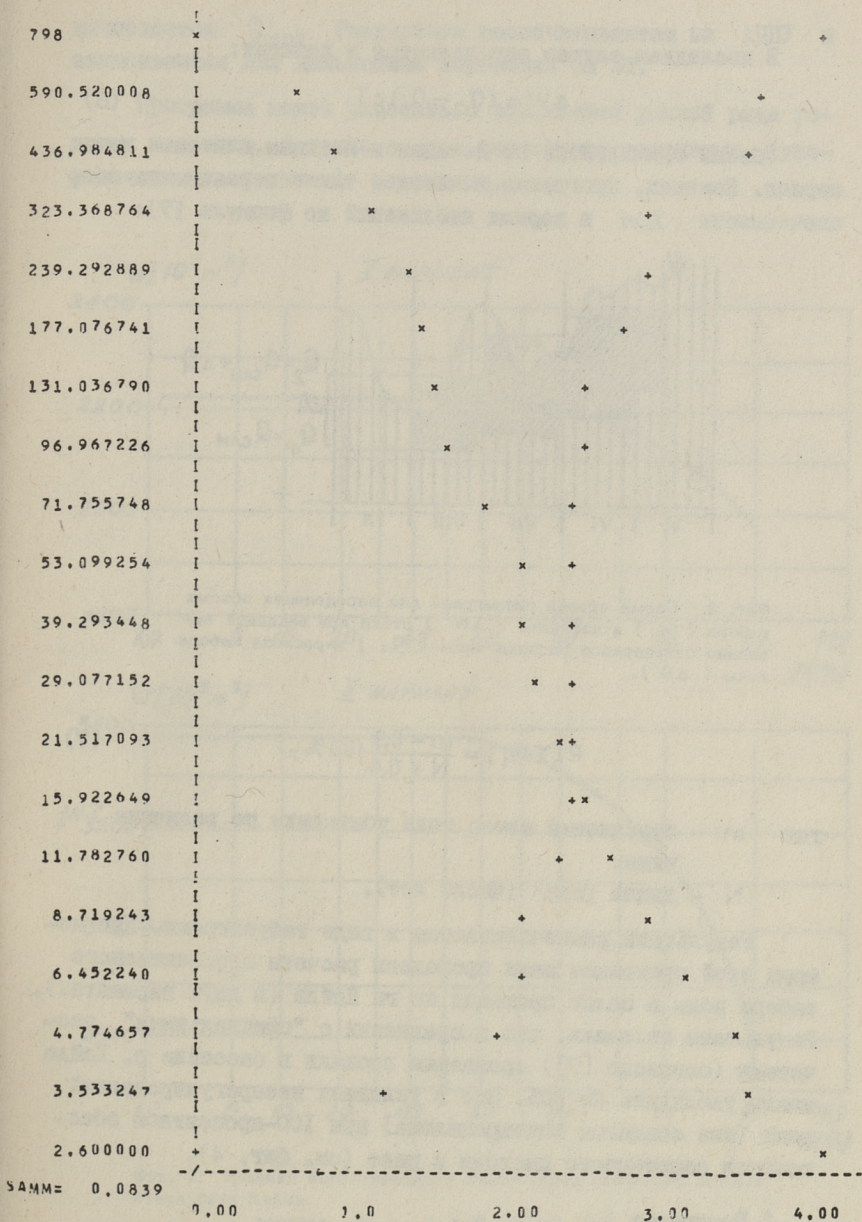
Программа базируется на модификации метода срезки гидрографа и предназначена для решения практических водохозяйственных задач, в частности, для вычисления объема стока (или его дефицита) при заданном режиме забора воды для водоснабжения, для орошения или для переброски в условиях хранения в реке необходимого санитарного расхода.

Приведенная на фигуре 3 схема не требует пояснения. В случае $Q_i \geq Q_2$ полезный объем вычисляется:

$$W = \Delta Q \Delta T; \quad (5)$$

а в случае $Q_i < Q_2$ как

$$W = (Q_i - Q_1) \Delta T. \quad (5-a)$$

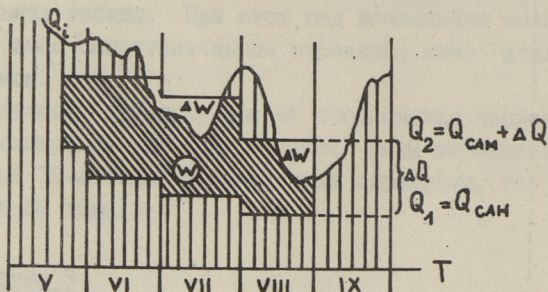


Фиг. 2. Пример распечатки на АЦПУ графиков $\pm T = f(Q)$ ГП Орехюла - р. Пяру, 1922-1973 гг. Максимальные по длительности периоды времени ($\log \pm T$) с наличием (знак x) или дефицитом (знак +) стока при заданных расходах воды.

В последнем случае определяется и дефицит:

$$\Delta W = (Q_2 - Q_1) \Delta T. \quad (6)$$

Объемы суммируются по декадам и месяцам или за весь период. Наконец, программа вычисляет также вероятность обеспечения $\sum W$ в период наблюдений по формуле [7]:



Фиг. 3. Схема срезки гидрографа для определения объема отбора (W) и дефицита (ΔW) стока при заданной величине санитарного расхода воды (Q_1) и расхода забора воды (ΔQ).

$$P(\sum W_i) = \frac{m - 0,3}{N + 0,4} 100\%, \quad (7)$$

где m — порядковый номер года убывающим по величине $\sum W_i$ ряду;

N — длина ряда (число лет).

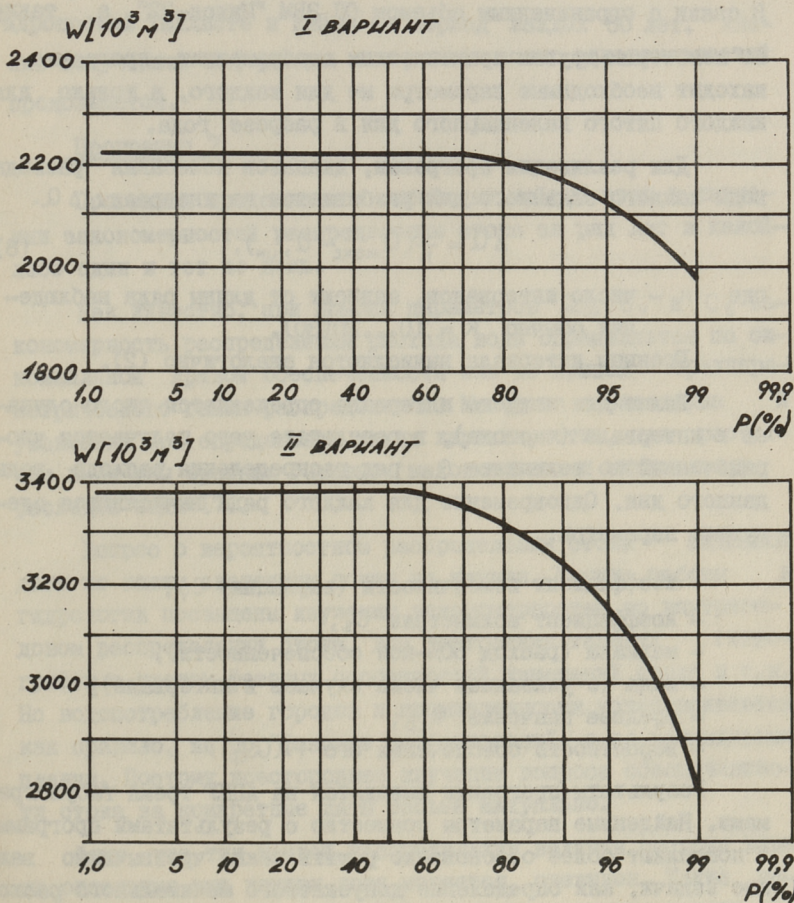
Результаты распечатываются в виде табулограмм. При помощи этой программы нами проведены расчеты перспективного забора воды в целях орошения по гп Кейла (в двух вариантах). Результаты показали, что в сравнении с "официальными" расчетами (согласно [7]) орошаемые площади в бассейне р. Кейла можно увеличить на 50%. Это в условиях незарегулированной реки (без создания водохранилища) при 100-процентном обеспечении санитарного расхода в реке (см. фиг. 4).

Программа 5

Программа переструктурирует годовые массивы исходных данных РРВ и типизирует их. При этом для каждой календарной даты (для каждого дня) выделяются $Q_{\text{макс}}$, $Q_{\text{мин}}$ и

вычисляется $Q_{\text{ср}}$. Результаты распечатываются на АЦПУ и записываются для дальнейшей обработки на МД.

Программа может работать с задаваемой длиной ряда годовых массивов, а также с уже переструктурированными (упорядоченными по датам) массивами.



Фиг. 4. Графики вероятностного обеспечения полезного объема стока реки Кейла

I вариант, $Q_{\text{орос.}} = 0,25$ [м³/с], $W_{\text{макс}} = 2,2 \cdot 10^6$ м³
 II вариант, $Q_{\text{орос.}} = 0,38$ [м³/с], $W_{\text{макс}} = 3,4 \cdot 10^6$ м³.

Программа 6

Программа вычисляет некоторые характеристики распределения стока в разрезе отдельных календарных дат. Эти сведения представляют известный интерес при решении задач, связанных с перераспределением стока по времени (создание водохранилищ) или в пространстве (например, переброска стока). В связи с ограниченным объемом ОП ЭВМ "Минск-22", а также по некоторым другим практическим соображениям, программа находит необходимые параметры не для каждого, а только для каждого пятого календарного дня в разрезе года.

Для реализации программы, диапазон колебания расхода воды каждого заданного дня разбивается на интервалы ΔQ .

$$\Delta Q = \frac{1}{k} (Q_{\text{макс}} - Q_{\text{мин}}), \quad (8)$$

где k — число интервалов, зависит от длины ряда наблюдений, обычно $k = 10 \dots 20(30)$.

Границы интервала вычисляются аналогично (2).

Далее для каждого интервала определяется число случаев в интервале (частота), в результате чего получается упорядоченный по величине Q ряд распределения расхода воды данного дня. Одновременно для каждого ряда вычисляются следующие параметры:

- коэффициент изменчивости (вариации) C_v ;
- коэффициент асимметрии C_s ;
- медиана (расход 50%-ной обеспеченности);
- мода (с указанием числа случаев в интервале);
- среднее значение $Q_{\text{ср}}$;
- вероятность обеспечения его $P(Q_{\text{ср}})$.

Результаты программы выводятся на АЦПУ тремя табулограммами. Найденные параметры совместно с результатами программ 5 позволяют более обоснованно решить такие чрезвычайно важные задачи, как определение допускаемого минимального расхода воды (определение санитарного минимума), определение допускаемых максимальных попусков из водохранилищ и на основе этих данных определить пределы "оптимального" гидрографа.

Все эти показатели особенно важны при решении задач, связанных с подачей воды из одного речного бассейна к друго-

му (переброска стока). Ведь изъятие части стока одной (более крупной) реки для отправления его по искусственным водотокам (каналам) в другой край можно (даже необходимо!) рассматривать как создание взамен одной крупной реки двух новых, меньших по водности, гидрологический режим которых все же должен быть по возможности близким к оптимальному.

При помощи программ 5 и 6 обработаны стокосные данные по гидропостам Тыллисте и Кейла за период каждых 50 лет. Анализ полученной информации и изучение новых закономерностей продолжается.

Программа 7

Программа представляет собой дальнейший этап в изучении закономерностей распределения стока за ряд лет в какой-либо один и тот же день.

Как известно, при помощи параметров Q_{cp} , C_v и C_s закономерность распределения расхода воды определяется по биномиальной кривой обеспеченности или по кривой трехпараметрического гамма-распределения. Методика справедлива и узаконена при определении таких характеристик, как расчетные величины средних годовых, максимальных и минимальных расходов воды [7].

Вопрос о вероятностном распределении стока заданной даты по нашим сведениям почти не изучен. Многие работы в гидрологии посвящены изучению закономерностей во внутригодовом распределении стока, для построения типовых гидрографов с учетом фазовых особенностей изменений стока и т.д. Но водопотребление городов и промышленности устанавливается, как правило, не по "фазовым особенностям", а по календарным планам. Поэтому всестороннее изучение вопроса обеспеченности стока за конкретные даты весьма актуально.

Факт, что тип кривой распределения величин расхода воды за отдельные дни внутри года меняется, очевиден. Такие генетически однородные сезоны, как летние и зимние межени, довольно длительные. Им характерны относительно небольшие расходы с более или менее резкими увеличениями за счет появления дождевых паводков или кратковременных зимних оттепелей. Для межени таким образом характерно распределение стока по

закоу бнномиальной кривой (кривая Пирсона III типа). Зато для дней периода весеннего половодья более характерно почти нормальное распределение (кривая Пирсона I типа), так как паводочная волна весеннего половодья из года в год в известных пределах перемещает свое положение по оси времени и высота его также не постоянная.

В целях выбора типа кривой распределения для отдельных дат (календарных дней) нами использована методика, предложенная А.К. Митропольским [6].

Определение типа распределения можно произвести и на основе критерия χ^2 (используя гипотезу функциональной зависимости), как это предлагает Белке [8].

Программа 7 использовалась для определения типа кривой распределения за каждый пятый день года по 50-летним рядам наблюдений по этим же гидропостам (Тыллисте и Кейла), где применялись программы 5 и 6. Результаты подтверждают предполагаемые закономерности в изменении типа кривой распределения внутри года.

В ы в о д ы

Разработанный и в практике апробированный комплекс программы для определения гидрологических характеристик и расчетных параметров при помощи ЭВМ "Минск-22" позволяет решить целый ряд задач как теоретического, так и практического характера. По нашему мнению, пользоваться ими при решении некоторых водохозяйственных задач (определение санитарного минимума, установление допустимого гидрологического режима при переброске стока, вычисление предельного полезного объема и объема дефицита стока при заборе воды и т.д.), а также при установлении цикличности гидрологического режима, прогнозирования экстремальных величин и ожидаемого текущего гидрологического режима является перспективным.

Л и т е р а т у р а

1. В е л ь н е р Х.А., К а с к А.Г. Определение стоковых характеристик методом горизонтальной срезки гидрографа при решении водохозяйственных задач. Сб. статей по санитарной

технике У, с. 151-157, "Тр. Таллинск. политехн. ин-та", № 248, Таллин, 1967.

2. В е л ь н е р Х.А., К а с к А.Г., Х о с р о - в я н ц И.Л. Методика определения минимальных допустимых расходов рек с учетом качества воды. Материалы V Всесоюзного симпозиума по современным проблемам самоочищения и регулирования качества воды. IV секция. Регулирование качества воды, ч. I, с. 43-47, Таллин, 1975.

3. К а с к А.Г. Лимитирующий минимальный сток как единая гидрологическая основа при некоторых водохозяйственных расчетах. Материалы III Всесоюзного симпозиума по вопросам самоочищения водоемов и смешения сточных вод, с.24-31. Москва-Таллин, 1969.

4. К а с к А.Г. О методике определения лимитирующего минимального стока при прогнозировании качества воды водотоков. Доклады и сообщения по вопросам самоочищения водоемов и смешения сточных вод, с. 85-94. Всесоюзная научно-техническая конференция по охране поверхностных и подземных вод от загрязнения. Таллин, 1967.

5. К у ч м е н т Л.С. Математическое моделирование речного стока. Гидрометеиздат. Л., 1972.

6. М и т р о п о л ь с к и й А.К. Техника статистических вычислений. "Наука", М., 1971.

7. Указания по определению расчетных гидрологических характеристик СН 435-72. Гидрометиздат. Л., 1972.

8. В е л к е, D. Der χ^2 Anpassungstest zur Auswahl von Verteilungsfunktionen für hydrologische Variable. "Wasser und Boden" 12, 1975, 318-321.

Application of the Electronic Computer for Determining Some
Characteristics of the Flow and Solving Water Economic
Problems

Summary

The method of the hydrograph sections has served as the basis for working out and putting into practice a complex of programs for determining hydrological characteristics and calculation parameters by means of the electronic computer "Minsk-22". They are of worth-while application when solving water-economic problems both of theoretical and practical character (the determining of the sanitary minimum run-off, establishing the permitted hydrological regime in conditions of the regulation and transmission of the flow, computing the expected available volume of the run-off and the deficit of the run-off at drainage). They also may be used for establishing the cycling of the natural hydrological regime and forecasting the experimental values.

С о д е р ж а н и е

1.	Я.Я.Кару, Л.Л.Пааль. Исследование технологических показателей микросеток и тканей, применяемых на микрофильтрах.	3
2.	Я.Я. Кару. Расчет характеристик микросеток и тканей правильного геометрического строения	II
3.	Я.Я.Кару. Л.Л. Пааль. Методика расчета микрофильтров для очистки маломутных вод.	17
4.	В.Д.Тенисберг.Увлажнитель с вертикальной поверхностью испарения.	27
5.	Т.-А.А. Кыйв. Экспериментальное исследование режимов потребления горячей воды населением в условиях г.Таллина.	35
6.	Т.А.Коппель, У.Р.Лийв. Экспериментальное определение уровня пульсации касательных напряжений на стенке трубопровода при переходном движении жидкости.	43
7.	У.Р.Лийв, Ю.Я. Сязрекынно. Вопросы изучения местных сопротивлений при неустановившемся течении жидкости в трубопроводах	49
8.	Х.А.Тибар. Неучтенные расходы воды в зависимости от малой чувствительности водосчетчика	57
9.	А.Г.Каск, В.Р. Вийес. Применение ЭВМ в определении некоторых новых характеристик стока и при решении водохозяйственных задач.	63



© ТПИ, Таллин, 1977

Таллинский политехнический институт

Труды № 420

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И РЕГУЛИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА ВОДЫ
ВОДОЕМОВ И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ОЧИСТКИ ПРИРОДНЫХ
И СТОЧНЫХ ВОД**

Сборник статей по санитарной технике XI

Редактор Р. Платс

Технический редактор В. Ранник

Сборник утвержден коллегией Трудов ТПИ 5 марта 1977 г.

Подписано к печати 20 июня 1977 г.

Бумага 60x90/16

Печ.л. 4,75+0,25 приложение

Уч.- изд.л. 4,7. Тираж 300. МВ-04215.

Ротапринт ТПИ, Таллин, ул. Коскла, 2/9. Зак. № 735

Цена 70 коп.

Цена 70 коп.