

Ер.6.7
380

TALLINNA POLÜTEHNILISE
INSTITUUDI TOIMETISED

ТРУДЫ ТАЛЛИНСКОГО
ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

№ 380

СБОРНИК СТАТЕЙ
ПО
САНИТАРНОЙ ТЕХНИКЕ
X

ТАЛЛИН 1975

Ер.6.7

TALLINNA POLÜTEHNILISE INSTITUUDI TOIMETISED
ТРУДЫ ТАЛЛИНСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

№ 380

1975

TALLINNA POLÜTEHNILISE INSTITUUDI TOIMETISED
ТРУДЫ ТАЛЛИНСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

№ 380

1975

УДК 628,3

ВЛИЯНИЕ КОМПОНАЦИИ РЕАГЕНТА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ
УДАЛЕНИЯ ФОСФОРА В АЭРОТЕКАХ

Сборник статей

по

САНИТАРНОЙ ТЕХНИКЕ

X

По литературным данным известно, что при химической очистке сточных вод в аэротенках удаляется 10-30 % фосфорных соединений. Эффективность объясняется тем, что часть фосфорных соединений адсорбируется на хлопьях активного ила, другая часть окисляется микроорганизмами клеток активного ила. При этом происходит выделение фосфорного активного ила, который удаляется из системы и связывается с иными фосфорными соединениями.

Для изучения возможностей интенсификации удаления фосфорных соединений при биохимической очистке в проблемной лаборатории санитарной техники Таллинского политехнического института были начаты соответствующие исследовательские работы.

Приведенным методом удаления фосфора из сточных вод в аэротенках является их биологическое осаждение, где реагент дозирует в камеру аэрации. При химической обработке образуются труднорастворимые фосфорные соединения, выпадающие в осадок. В качестве реагентов для осаждения фосфора могут быть использованы известь, соли железа и соли алюминия. Растворимость различных фосфорных соединений, полученных при химической обработке, представлена в таблице 1 [1]. Минимальную растворимость имеют соединения железа, что следует учитывать при выборе реагента.

Исследования процесса удаления фосфора были проведены на экспериментальной установке, состоящей из аэротенка-отстойника, оборудованного соломой в виде установки ЭС-100.

Fig. 2

УДК 62-50
ТАЛЛИНСКОЕ ПОЛИТЕХНИЧЕСКОЕ УЧИЛИЩЕ
TALLINN POLYTECHNIC INSTITUTE

1975

УДК 62-50

Сборник статей
в
ОБЛАСТИ ТЕХНИКИ
X



УДК 628.34:628.35

Х.А. Мельдер, П.О. Эннет

ВЛИЯНИЕ ДОЗИРОВАНИЯ РЕАГЕНТА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ УДАЛЕНИЯ ФОСФОРА В АЭРОТЕНКАХ

По литературным данным [1] при классической биохимической очистке сточных вод в аэротенках удаляются 10–30 % фосфорных соединений. Эффект очистки объясняется тем, что часть фосфорных соединений адсорбируется на хлопьях активного ила, другая же часть потребляется при формировании новых клеток активного ила. Периодическим выпуском избыточного активного ила удаляются из системы и связанные с ним фосфорные соединения.

Для изучения возможностей интенсификации удаления фосфорных соединений при биохимической очистке в проблемной лаборатории санитарной техники Таллинского политехнического института были начаты соответствующие исследовательские работы.

Приемлемым методом удаления фосфора из бытовых сточных вод в аэротенках является их симультанное осаждение, где реагенты дозируют в камеру аэрации. При химической обработке образуются труднорастворимые фосфорные соединения, выпадающие в осадок. В качестве реагентов для осаждения фосфора могут быть использованы известь, соли железа и соли алюминия. Растворимость различных фосфорных соединений, полученных при химической обработке представлена в таблице I [2]. Минимальную растворимость имеют соединения железа, что следует учитывать при выборе реагента.

Исследования процесса удаления фосфора были проведены на полупроизводственной опытной установке аэротенка-отстойника, представляющего собой модель установки БИО-100 с

геометрически подобным ей поперечным сечением (масштаб 1:3), а также на действующем производственном сооружении.

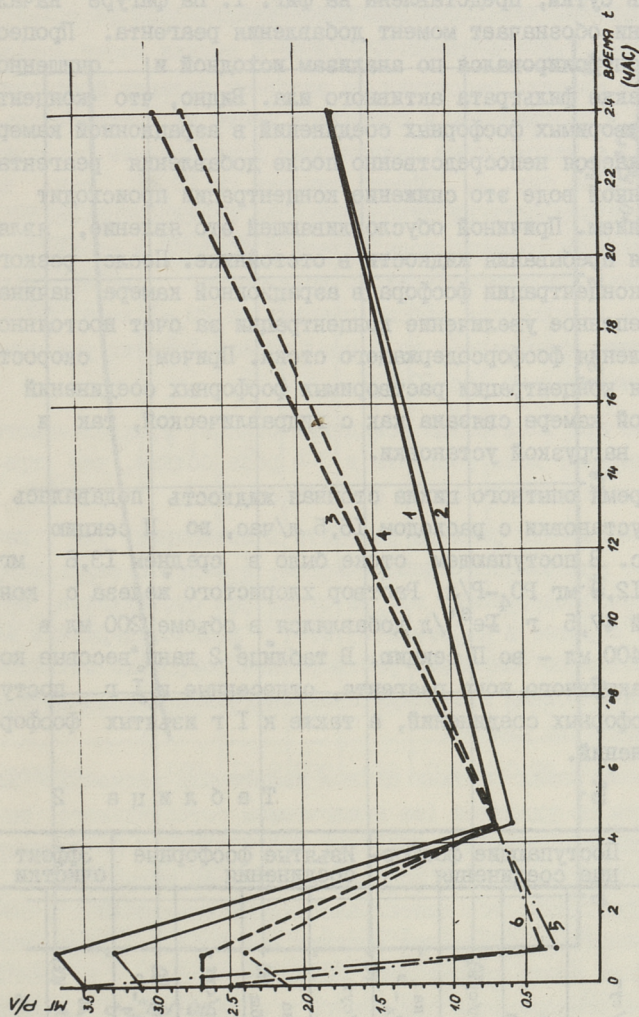
Т а б л и ц а I

Фосфорное соединение	Формула	Растворимость (20 °С, pH ≥ 7) мг PO ₄ /л
Фосфат кальция	Ca ₃ (PO ₄) ₂	0,8
Апатит	Ca ₅ (PO ₄) ₃ OH	1 · 10 ⁻⁵
Фосфат железа	Fe PO ₄	3 · 10 ⁻⁷
Фосфат алюминия	Al PO ₄	7 · 10 ⁻⁵

Модель состояла из двух, параллельно работающих секций, аэротенка-отстойника, с объемом аэрационных камер по 300 литров. В опытах использовалась синтетическая сточная жидкость, состав которой был принят по работе Л.И.Гюнтера [5]. Характеристика стока: БПК₅ = 200 - 250 мг/л; P_{общ} = 7 - 15 мг/л; PO₄ - P: P_{общ} = 0,80 - 0,95, NH₄ - N = 8-10 мг/л; pH = 7,4-7,6.

Подача сточной жидкости происходила непрерывно в зависимости от опытного цикла с постоянным во времени расходом от 7 до 15 литров в час. Концентрация сухого вещества активного ила в аэрационной камере во время опытов была в пределах 6-8 г/л, зольность 30-40 %. Аэротенк работал в режиме продленной аэрации. БПК₅ очищенной жидкости была в пределах 4-12 мг/л. Так как для поддержания активного ила во взвешенном состоянии требовалось значительно больше воздуха, чем для окисления органики, то концентрация растворенного кислорода в аэрационной камере была близкой к насыщению.

Для выяснения оптимального режима дозирования реагента проводились опыты с циклическим (залповым) добавлением реагента (один раз в сутки), а также с равномерным непрерывным дозированием реагента. В качестве реагента был использован раствор хлористого железа (Fe Cl₃ · 6H₂O).



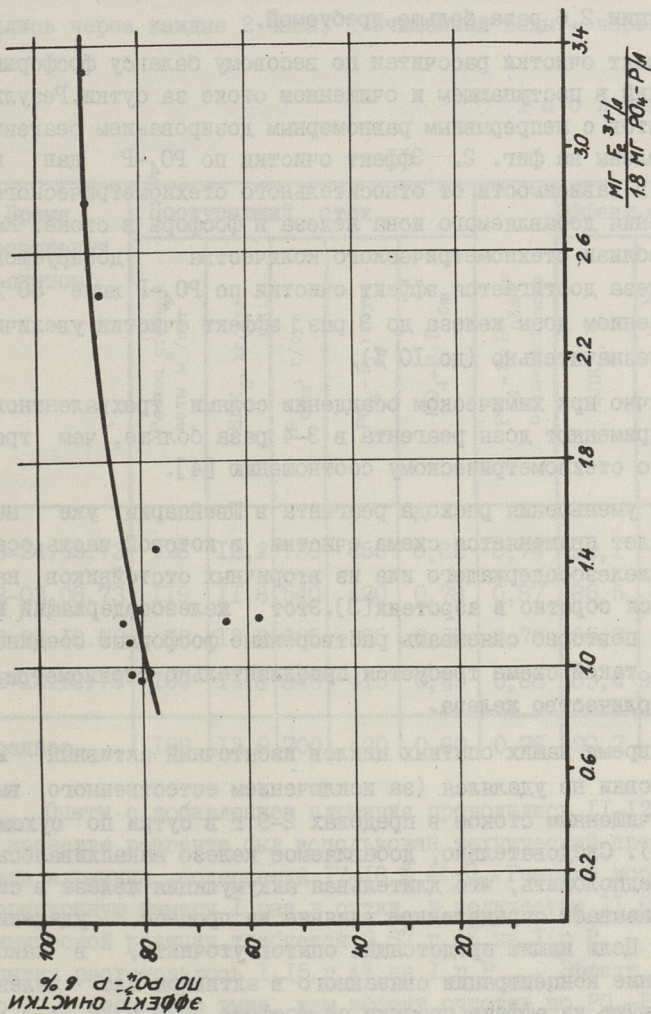
Фиг. 1. Изменение концентрации фосфорных соединений при заливом дозировании хлорида железа: 1. Р. общ. в очищенной воде 1 секции, 2. PO_4-R в очищенной воде II секции, 3. Р. общ. в очищенной воде 1 секции, 4. PO_4-R в очищенной воде II секции, 5. PO_4-R в фильтрате активного ила 1 секции, 6. PO_4-R в фильтрате активного ила II секции.

Результаты опытного цикла, в котором реагент добавлялся I раз в сутки, представлены на фиг. I. На фигуре начало оси времени обозначает момент добавления реагента. Процесс очистки контролировался по анализам исходной и очищенной воды, а также фильтрата активного ила. Видно, что концентрация растворимых фосфорных соединений в аэрационной камере резко снижается непосредственно после добавления реагента, а в очищенной воде это снижение концентрации происходит с запаздыванием. Причиной обуславливающей это явление, является время пребывания жидкости в отстойнике. После резкого снижения концентрации фосфора в аэрационной камере начинается постепенное увеличение концентрации за счет постоянно поступающего фосфорсодержащего стока. Причем скорость увеличения концентрации растворимых фосфорных соединений в аэрационной камере связана как с гидравлической, так и с фосфорной нагрузкой установки.

Во время опытного цикла сточная жидкость подавалась в I секцию установки с расходом 15,5 л/час, во II секцию - 14,4 л/час. В поступающем стоке было в среднем 13,6 мг $P_{\text{общ}}/л$ и 12,8 мг $PO_4-P/л$. Раствор хлористого железа с концентрацией 47,5 г $Fe^{3+}/л$ добавлялся в объеме 200 мл в I секцию и 400 мл - во II секцию. В таблице 2 даны весовые количества активного иона реагента, отнесенные к I г поступающих фосфорных соединений, а также к I г изъятых фосфорных соединений.

Т а б л и ц а 2

Секция опытной установки	Добавляемый реагент Fe^{3+} г/сут	Поступающие фосфорные соединения			Изъятые фосфорные соединения			Эффект очистки			
		$P_{\text{общ}}$ г/сут	г Fe^{3+} на 1 г $P_{\text{общ}}$	PO_4-P г/сут	г Fe^{3+} на 1 г PO_4-P	$P_{\text{общ}}$ г/сут	г Fe^{3+} на 1 г PO_4-P	$P_{\text{общ}}$ %	PO_4-P %		
I	9,50	5,05	1,90	4,75	2,00	4,40	2,15	4,15	2,30	87,2	87,4
II	19,00	4,70	4,05	4,10	4,65	4,30	4,40	3,60	5,30	91,5	87,8



Фиг. 2. Зависимость эффекта очистки по фосфору (PO₄) от дозы хлорида железа.

Если учитывать, что для химической реакции по стехиометрическому соотношению **требуется** 1,80 г Fe^{3+} на 1 г $\text{PO}_4\text{-P}$, то получаем, что доза реагента была в I секции - 1,1 и во II секции 2,6 раза больше требуемой.

Эффект очистки рассчитан по весовому балансу фосфорных соединений в поступающем и очищенном стоке за сутки. Результаты опытов с непрерывным равномерным дозированием реагента представлены на фиг. 2. Эффект очистки по $\text{PO}_4\text{-P}$ дан на графике в зависимости от относительного стехиометрического соотношения добавляемого иона железа и фосфора в стоке. Как видно, вблизи стехиометрического количества дозируемого иона железа достигается эффект очистки по $\text{PO}_4\text{-P}$ выше 80%. С увеличением дозы железа до 3 раз эффект очистки увеличивается незначительно (до 10%).

Обычно при химическом осаждении солями трехвалентного железа применяют дозы реагента в 3-4 раза больше, чем требуется по стехиометрическому соотношению [4].

Для уменьшения расхода реагента в Швейцарии уже несколько лет применяется схема очистки, в которой часть осаждаемого железосодержащего ила из вторичных отстойников направляется обратно в аэротенк [3]. Этот железосодержащий ил способен повторно связывать растворенные фосфорные соединения. При такой схеме требуется приблизительно стехиометрическое количество железа.

Во время наших опытных циклов избыточный активный ил из установки не удалялся (за исключением естественного выноса с очищенным стоком в пределах 2-9 г в сутки по сухому веществу). Следовательно, добавляемое железо накапливалось. Можно предположить, что длительная аккумуляция железа в системе оказывает определенное влияние на процесс удаления фосфора. Цель наших предстоящих опытов - уточнить, в какой мере разные концентрации связанного в активном иле железа воздействуют на эффект очистки от фосфора.

Для определения концентрации фосфорных соединений в бытовых сточных водах, а также для исследования возможностей удаления фосфора с помощью алюминия, проводились опыты на промышленной установке БИО-100, объем аэрационной камеры

которой был 100 м³. Некоторые характерные данные по работе сооружения представлены в таблице 3. Определение этих параметров осуществлялось периодически в течение суток. При этом отбор проб и химические анализы исходной воды проводились через каждые 2 часа, а очищенной воды - через 4 часа.

Т а б л и ц а 3

Время проведения опытов	Поступающий сток					Эффект очистки			
	Расход сточной воды м ³ /сут	БПК ₅ , кг/сут	P _{общ} , г/сут	PO ₄ -P, г/сут	PO ₄ -P: P _{общ}	PO ₄ -P: P _{общ} в очищенной воде	БПК ₅ , %	P _{общ} , %	PO ₄ -P, %
23-24.05.73	126	12,2	730	455	0,62	0,74	92,1	-	-
02-03.08.73	119	11,8	540	420	0,78	0,87	85,5	-	-
22-23.10.73	82	13,2	685	395	0,58	0,76	95,7	-	-
11-12.12.73	109	14,8	845	415	0,49	0,68	89,4	91,5	88,2
Среднее	109	13,0	700	420	0,60	0,76	90,7		

Опыты с добавлением алюминия проводились 11-12.12.73 г. В качестве реагента был использован технический продукт сульфата алюминия, содержащий 17-18 % Al₂O₃. Реагент добавлялся в аэрационную камеру 1 раз в сутки, в количестве 11,0 кг. По химической реакции требуется 0,87 г Al на 1 г P. В наших опытах расходовалось 1,15 г Al на 1 г P_{общ}. Эффект очистки по P_{общ} несколько выше, чем эффект очистки по PO₄-P. Это объясняется тем, что при биохимической очистке P_{общ} частично превращается в ортофосфаты. Это оказывает благоприятное влияние на процесс химического осаждения фосфора, так как содержание компонентов фосфора уменьшается при химической об-

работке в следующем порядке: ортофосфат – конденсированные фосфаты – органические фосфаты [4].



Фиг. 3. Динамика нагрузки очистного сооружения по фосфорным соединениям.

На фиг. 3 приведена динамика нагрузки очистного сооружения по фосфорным соединениям в течение суток. Часовой коэффициент неравномерности притока $P_{\text{общ}}$ составляет 3,0, в то время как часовой коэффициент неравномерности притока сточных вод был 1,75. Количество $P_{\text{общ}}$ на 1 жителя было в пределах от 0,97 до 1,51, в среднем – 1,25 г/сутки.

В ы в о д ы

I. При совместной химико-биологической обработке бытовых сточных вод с длительным временем пребывания железосодержащего активного ила в аэрационной камере достигается 80 %-ная очистка от фосфора уже стехиометрическим дозированием железа.

2. При времени пребывания сточных вод в очистном сооружении около суток эффект очистки от фосфора не зависит от того, дозируется ли реагент непрерывно или один раз в сутки.

3. В аэротенках продленной аэрации происходит превращение $P_{\text{Общ}}$ в ортофосфаты, что способствует химическому осаждению фосфатов.

4. Добавление реагентов в камеру аэрации не снижает эффекта очистки стоков по БПК и одновременно увеличивает осаждаемость хлопьев ила во вторичном отстойнике.

Л и т е р а т у р а

I. G. A. R o h l i c h, P. D. U t t o m a r k. "Nutr. and Eutrophic: Limit.-Nutr. Controversy". Lawrence, Kans., 1972.

2. C. J e g g e. Neue Züricher Zeitung, 145, 1964.

3. E. A. T h o m a s. Fortschritte der Wasserchemie und ihrer Grenzgebiete, Н. 8, 1968.

4. G. S c h u s t e r. Fortschritte der Wasserchemie und ihrer Grenzgebiete, Н. 8, 1968.

5. Л. И. Г ю н т е р. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. М., 1973.

H. Mölder, P. Ennet

The Effect of the Dosage of Chemicals
on Phosphorus Removal in Activated Sludge Plants

S u m m a r y

This paper deals with the problems of the dosage of chemicals for phosphorus removal in activated sludge process. Synthetic sewage and FeCl_3 as the chemical were used in a semiscale purification plant. The second part of the investigation was carried out at the package plant BIO-100 working with sludge mineralisation and a small load of sewage. Here $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ was used for phosphorus removal. The decrease of phosphate concentration in water was independent of the adding regime of chemicals (once a day or continually) and was consistently over 80 %. The required amount of Fe and Al will be calculated on the basis of stoichiometric relationship.

УДК 628.16.067.3

Я.Я. Кару

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЗАГРЯЗНЕНИЯ МИКРОСЕТКИ ПРИ ФИЛЬТРОВАНИИ ИСКУССТВЕННО ЗАМУТНЕННОЙ ВОДЫ

Возрастающее применение микрофильтров в различных областях очистки воды требует создания надежных формул расчета, позволяющих определить производительность и эффект очистки микрофильтра. Одной из важных проблем является также внедрение новых, менее дефицитных и недорогих микросеток, изготовленных в основном из синтетического волокна. Поэтому исследование параметров работы микросеток и создание на этой основе расчетных формул микрофильтров является вопросом актуальным.

Технологическая эффективность процесса микрофильтрации зависит от динамики образования пленки на микросетке. Учитывая, что микрофильтр работает при постоянной потере напора, можно данный процесс характеризовать функциями

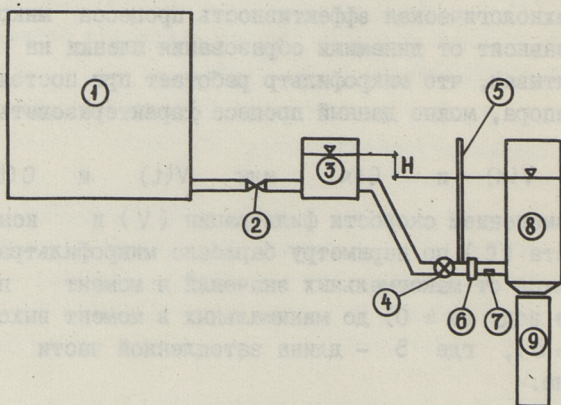
$$V(x) \text{ и } C(x) \text{ или } V(t) \text{ и } C(t),$$

т.е. изменением скорости фильтрации (V) и концентрации фильтрата (C) по периметру барабана микрофильтра. V и C изменяются от максимальных значений в момент погружения сетки в воду ($x = 0$) до минимальных в момент выхода из воды ($x = S$), где S — длина затопленной части периметра барабана.

Функции $V(t)$ и $C(t)$ позволяют учесть разную технологическую эффективность отдельных участков барабана микрофильтра и создать на этой основе расчетные формулы микрофильтров [1, 4].

Определение этих функций требует экспериментальных исследований. Эксперименты следует проводить на опытной установке, позволяющей задавать и по мере необходимости оперативно менять исходные условия процесса микрофильтрации (применяемую микросетку, загрязняющее вещество и его концентрацию в исходной воде, продолжительность цикла фильтрации, температуру воды).

Ниже в качестве примера приведены некоторые результаты таких исследований. Эксперименты были проведены на микросетке из никеля с размером ячеек в 40 микрон. В качестве исходной воды использовалась искусственно замутненная вода, содержащая глину (фракции, не осевшие после отстаивания в продолжение одного часа) и активный ил, соответственно 25 и 75 % по весу. Средняя температура воды в течение всего цикла опытов составляла $+6^{\circ}\text{C}$. Выбор данного загрязняющего вещества объясняется стремлением моделировать вес, величину и форму частиц природного загрязнения. Предварительные результаты исследований показали, что из всех доступных нам искусственных загрязнителей данная смесь наиболее соответствовала выбранным критериям моделирования.



Фиг. 1. Принципиальная 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 фильтра; 7 - отверстие для взятия анализов
 фильтрата; 8 - сливной бачок с заменяемым водосливом;
 9 - мерный цилиндр.

Опытная установка, схема которой приведена на фиг. I, сконструирована для определения вышеприведенных зависимостей, а также гидравлического сопротивления чистой микросетки. Она позволяет при помощи заменяемых водосливов 8 создать на микросетке различные потери напора, определить объем фильтрата при помощи мерного цилиндра 9 и, открывая отверстие 7, получить в любой момент времени необходимый объем фильтрата для определения его концентрации. Чтобы обеспечить постоянную концентрацию исходной воды, бак I оборудован лопастным смесителем. Фильтр 6 представляет собой микросетку, закрепленную между двумя пластмассовыми шайбами с просветом $\phi = 31$ мм (равному внутреннему диаметру трубы), и установленную перпендикулярно оси трубы. Площадь фильтра составляет $7,54 \text{ см}^2$. После окончания опыта фильтр вынимался и промывался, что давало возможность начинать каждый последующий опыт при чистом фильтре. Для удаления из опытной системы воздуха установка оборудована воздухоотделителем 5 в виде вертикальной стеклянной трубки.

Методика проведения опытов заключается в следующем. В блок фильтра 6 устанавливался чистый фильтр. При закрытом положении пробкового крана 4 система справа закрывалась чистой и слева исходной водой до соответствующих уровней водосливов в бачках 3 и 8. Затем, открыв пробковый кран, начинаем фильтрование суспензии через чистый фильтр под постоянным напором. Скорость фильтрации в начальный момент времени ($t = 0$) соответствует скорости фильтрации через чистую сетку при данном напоре H . Таким образом, условия опыта соответствуют реальным условиям работы микросетки на микрофильтре.

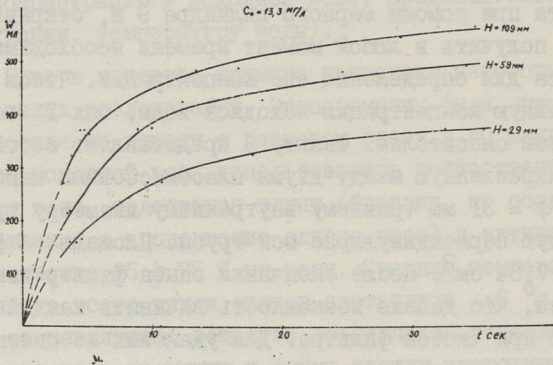
Опыты были проведены при различных начальных концентрациях и потере напора. Измеряемыми величинами являлись объем фильтрата W , проходящий к данному моменту времени через фильтр, и концентрация фильтрата C_t в момент времени t . В качестве примера на фиг. 2 приведена зависимость $W(t)$ при начальной концентрации $C_0 = 13,3 \text{ мг/л}$. Исходя из приведенной зависимости, была определена переменная скорость фильтрации по формуле

$$V_t = \frac{dW}{\omega_{\phi} dt},$$

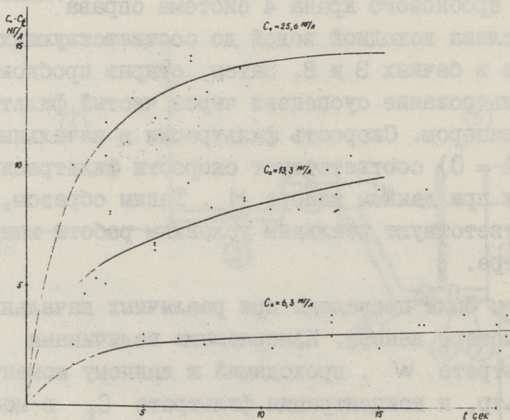
где ω_{ϕ} - площадь микросетки.

Средняя скорость фильтрации к моменту времени t определяется как

$$V_{\kappa} = \frac{1}{t} \int_0^t V(t) dt = \frac{W}{\omega_{\phi} \cdot t}.$$



Фиг. 2. График зависимости $W(t)$ при $C_0 = 13,3$ мг/л.



Фиг. 3. График зависимости $(C_0 - C_t)(t)$ при $C_0 = \text{const}$.

На фиг. 3 приведен график, характеризующий эффект очистки $(C_0 - C_t)$ в зависимости от времени фильтрации при различных начальных концентрациях C_0 . Каждая кривая

на фиг. 2 и 3 отражает результаты нескольких повторных опытов при данных величинах H и C_0 . Опыты показали, что концентрация фильтрата C_t в исследуемых пределах изменения H не зависела от потери напора на микросетке. Поэтому на графике фиг. 3 при $C_0 = \text{const}$ нанесены опытные точки, полученные при разных значениях потери напора H .

Исходя из закономерностей, представленных на фиг. 2 и 3, можно построить графики, определяющие взаимосвязь параметров V_t , C_0 , C_t , H и t . Наличие такого рода зависимостей позволяет определить скорость фильтрации и эффект очистки в любой момент времени данного цикла фильтрации при различных значениях H и C_0 . Если считать, что все показатели микрофильтрации остаются постоянными величинами по длине барабана микрофильтра, причем сетка постоянно полностью промывается, то расход и эффект очистки микрофильтра можно определить в виде

$$Q = \frac{\Omega_{\phi}}{t} \int_0^t V(t) dt$$

и

$$\varepsilon = \left\{ \frac{\Omega_{\phi}}{Q \cdot C_0 \cdot t} \int_0^t [V_t(C_0 - C_t)](t) dt \right\} \cdot 100 \%,$$

где Ω_{ϕ} - площадь фильтрации микрофильтра.

Проведенные опыты являются исходными для разработки методики экспериментального определения влияния пленки на пропускную способность и эффект очистки микрофильтра в процессе микрофильтрации. Эта методика может служить основой для разработки формул расчета микрофильтров, которые позволят характеризовать также технологическую эффективность различных микросеток и дать рекомендации для правильного выбора их в зависимости от исходных условий.

Л и т е р а т у р а

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

2. Х.Я. Л о н д. Исследование микрофльтрации для предварительной очистки питьевых вод. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Таллин, 1966.

3. О.П. П а у л у с. Исследование рабочих режимов микрофильтров при предварительной механической очистке сточных вод. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Таллин, 1971.

4. F. O. M i x o n . Filtrability index and micro-screener design. Journal Water Pollution Control Federation, No. 11, 42, 1970.

J. Karu

Research of Filtration of Artificially Turbid Waters through a Microfabric

S u m m a r y

The paper deals with experimental determination of the connection between the velocity of filtration and the effect of purification on separate areas of microfilter.

The plan of the experimental installation, the method and the results of the experiments with artificially turbid waters and a filter fabric with the loop size of 40 micrometers are given.

УДК 532.621.643

А.М.Айтсам, Э.Г.Каск, У.Р.Лийв

УЧЕТ СИЛ СЖИМАЕМОСТИ ПРИ НЕСТАЦИОНАРНОМ
ТЕЧЕНИИ ЖИДКОСТИ ПО ТРУБОПРОВОДАМ

При решении нестационарных задач движения жидкости используются как жесткие, так и упругие математические модели.

В литературе до сих пор не очень четко определяются границы применимости вышеуказанных моделей. Критериями выводятся условия [2, 3]:

$$u \ll a \quad \text{и} \quad t \gg \frac{l}{a},$$

где a — скорость распространения звука в жидкости;
 t и l — характерное время и расстояние, на которых скорость жидкости $u = f(x, t)$ претерпевает заметное изменение.

Проведенный анализ, а также опытные данные показывают, что в этих условиях в недостаточной мере учитываются все силы, возникающие при неустановившемся течении жидкости.

Поэтому ниже делается попытка установить границы "сжимаемой" модели, а также введения соответствующих членов в уравнение, описывающее движение жидкости.

В работе [4] в рамках сжимаемых границ в трубопроводах

$$\left(\frac{\Delta p}{\gamma}\right)_D = (h_L)_D + h_c + h_s + h_i, \quad (I)$$

где $\left(\frac{\Delta p}{\gamma}\right)_D$ — мгновенный перепад давления;

$(h_L)_D$ - мгновенный перепад, расходуемый на преодоление механических потерь;

h_e - мгновенный перепад на преодоление сил сжимаемости;

h_s - мгновенный перепад на содержание уровня пульсации скоростей;

h_i - инерционный напор.

В монографии [5] выводятся ряд критериев несжимаемости, исходя из закона сохранения массы жидкости

$$\frac{1}{\rho} \frac{D\rho}{Dt} + \nabla \bar{u} = 0, \quad (2)$$

где ρ - плотность жидкости;

t - время;

\bar{u} - вектор скорости.

Для вывода условий сжимаемости жидкости предполагается, что распределение скорости \bar{u} и других параметров течения характеризуются масштабом длины L . Изменение модуля $|\bar{u}| = q$ имеет порядок величины U . Порядок величин производных по координатам от компонента скорости \bar{u} равен $\frac{U}{L}$.

Несжимаемость оценивается неравенством:

$$\left| \frac{1}{\rho a^2} \frac{\partial p}{\partial t} - \frac{1}{2a^2} \frac{Dq^2}{Dt} + \frac{\bar{u} \bar{F}}{a^2} \right| < \frac{U}{L}. \quad (3)$$

Второй и третий члены используются в газовой динамике и метеорологии для определения границ сжимаемости.

С точки зрения нестационарных течений особый интерес представляет первый член в (3). Предполагая, что в поле течения происходят колебания частотой n , скорость изменяет при этом знак за время порядка n^{-1} . Порядок производной величины $\frac{\partial p}{\partial t}$ равен $\rho L U n^2$ и исходя из условий малости по сравнению с $\frac{U}{L}$ имеем

$$\frac{n^2 L^2}{a^2} \ll 1. \quad (4)$$

Для конкретности задачи принимаем, что $n = 0,2-10$ Гц, а длина трубопровода L составляет от 1,0 до 50 м.

Записывая на осциллограмму опыты с разными длинами и диаметрами трубопроводов, по времени прохождения скачка давления в разных сечениях трубопровода определяется скорость звука в жидкости. Полученные при этом весьма близкие результаты представляются в таблице I.

Т а б л и ц а I

Расстояние между датчиками давления l (м)	2	3	6	10	25	50
Время прохождения звуковой волны t (с)	0,00225	0,0032	0,0068	0,0115	0,027	0,057
Скорость распространения возмущения c (м/с)	890	940	890	900	930	880

На основе полученных данных ниже в качестве расчетной величины c принимаем 900 м/с.

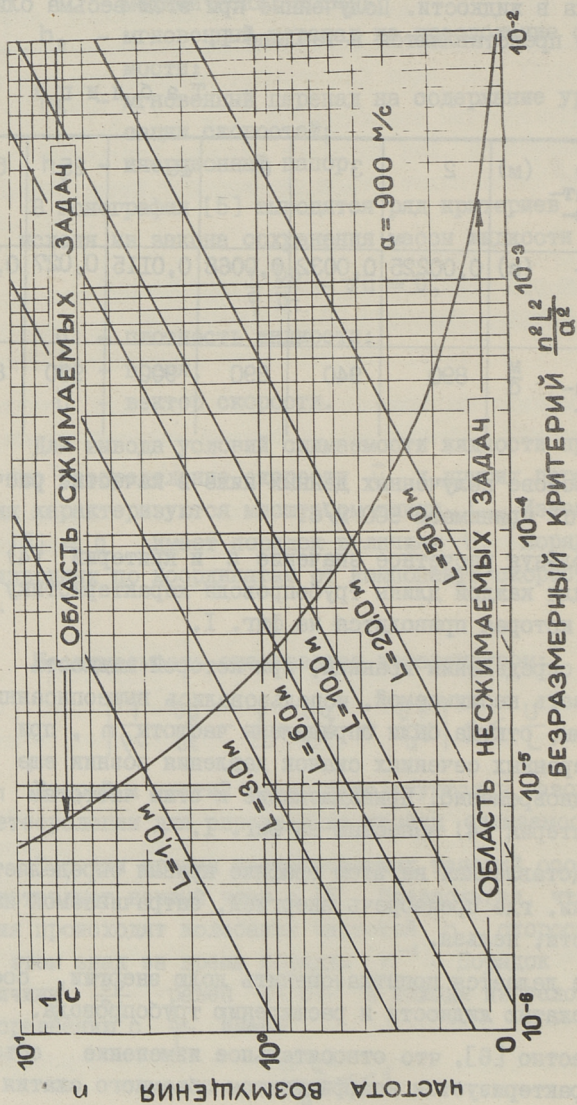
Используя расчетное значение c и критерий (4) составляем для каждой длины трубопровода характеристику $\frac{n^2 l^2}{c^2} = f(n)$, которая приводится на фиг. I.

Для определения границы, при которой жидкость можно рассматривать несжимаемой, использовались вышеописанные осциллограммы, откуда были определены частоты n , при которых в измеренных сечениях скачок давления возник еще практически одновременно. Принадлежащие к этим частотам n величины критерия (4) нанесены на фиг. I.

Представленная на этом графике кривая определяет границу задачи, где пренебречь энергией, затрачиваемой на сжатие жидкости, нельзя.

Ниже делается попытка оценить долю энергии, соответствующую сжатию жидкости и расширению трубопровода.

Известно [6], что относительное изменение объемного сжатия характеризуется коэффициентом объемного сжатия β при изменении объема на единицу давления, которое выражается в дифференциальной форме как



Фиг. 1.

$$\frac{dW}{dp} = -\beta W, \quad (5)$$

где W - объем жидкости;
 p - давление.

После интегрирования имеем

$$\ln W = -\beta p + c, \quad (6)$$

откуда

$$W = c_1 e^{-\beta p}. \quad (7)$$

Предполагая, что $p = p_0$ и $W = W_0$, где p_0 и W_0 начальные величины давления и объема, получаем

$$W = W_0 e^{-\beta(p-p_0)}. \quad (8)$$

Считая в первом приближении, что сжатие происходит по экспоненциальному закону, определяем изменение объема при сжатии жидкости

$$\Delta W = W_0 - W = W_0 [1 - \exp \beta (p - p_0)]. \quad (9)$$

Сжатие жидкости имеет место в течение времени половины фазы распространения возмущения

$$t = \frac{l}{a},$$

и следовательно, можно определить скорость сжатия рассматриваемого объема:

$$U_1 = \frac{\Delta W}{\omega t} = \frac{\Delta W a}{\omega l} = \left\{ 1 - \exp [\beta (p - p_0)] \right\} a. \quad (10)$$

С точки зрения физики явления скорость U_1 представляет скорость заполнения объема $\Delta W = W_0 - W$, возникающая за счет сжимаемости жидкости.

Так как деформируется не только жидкость, но и трубопровод, необходимо учесть также и изменение живого сечения трубопровода, а следовательно, и скорость U_1 .

Напряжение растяжения σ в стенке трубопровода определяется из:

$$\sigma = \frac{pd}{2\delta} \quad (11)$$

и

$$\sigma = \beta_{\text{тр}} \varepsilon, \quad (12)$$

где δ - толщина стенки;
 d - внутренний диаметр трубопровода;

$\beta_{\text{ТР}}$ - модуль упругости трубопровода;
 ε - относительное удлинение, которое выражается через удлинение периметра Δx

$$\varepsilon = \frac{\Delta x}{\pi d}. \quad (13)$$

Принимая во внимание (II), (12) и (13) напишем

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{\beta_{\text{ТР}}} = \frac{pd}{2\delta\beta_{\text{ТР}}} = \frac{\Delta x}{\pi d},$$

откуда

$$\Delta x = \frac{\pi d^2 p}{2\delta\beta_{\text{ТР}}}.$$

Учитывая последнее новая длина окружности определяется

$$\pi d + \Delta x = \pi d + \frac{\pi d^2 p}{2\delta\beta_{\text{ТР}}}$$

и новые живые сечения

$$\omega_2 = \frac{\pi}{4} \left(d + \frac{pd^2}{2\delta\beta_{\text{ТР}}} \right)^2. \quad (14)$$

Следовательно, изменяется скорость U_1 , определяемая по (10), принимая во внимание уравнение неразрывности

$$U_1 \omega_1 = U_2 \omega_2,$$

имеем

$$U_2 = \frac{\{1 - \exp[\beta(p - p_0)]\} a}{\left(1 + \frac{pd}{2\delta\beta_{\text{ТР}}}\right)^2}. \quad (15)$$

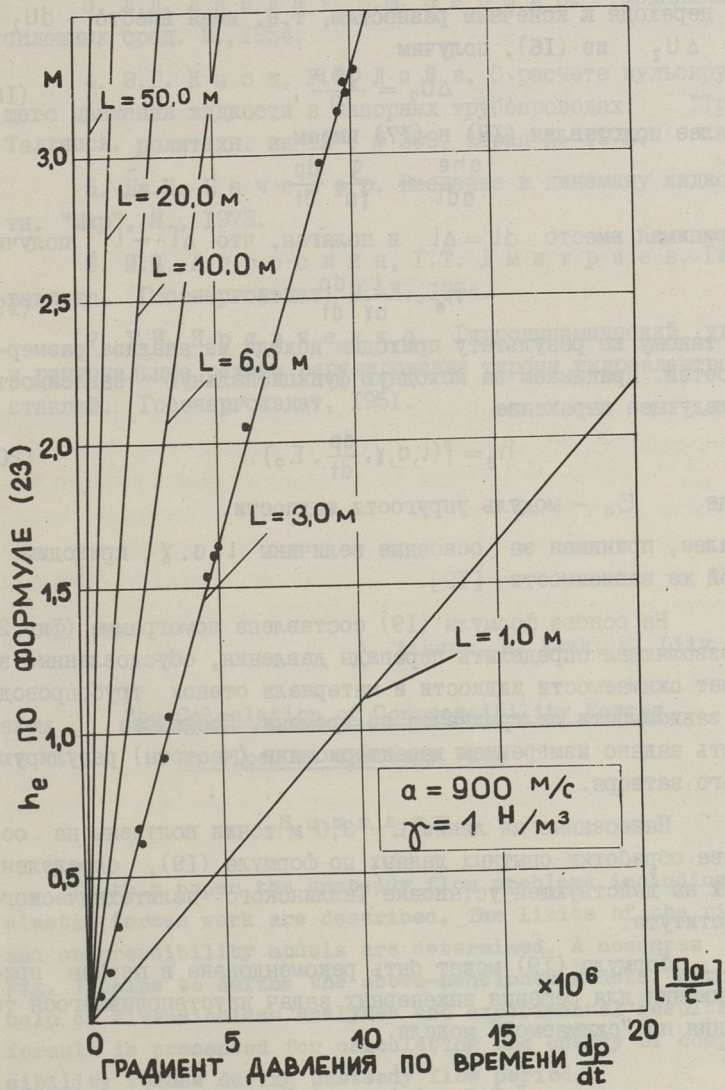
Для оценки величины изменения строится график $p = f(A)$, где $A = \left(1 + \frac{pd^2}{2\delta\beta_{\text{ТР}}}\right)^2$, позволяющий оценить с учетом конкретного трубопровода влияние этого фактора.

Часто технологические системы требуют большой жесткости трубопровода и следовательно, большой толщины стенок δ в этом частном случае практически $U_1 = U_2$.

Связанный со скоростью U_2 мгновенный перепад давления, вызванный сжимаемостью жидкости, может быть определен из зависимости

$$h_e = \frac{\rho \Delta U_2}{g}. \quad (16)$$

Представляя формулу (2) в виде, где течение происходит в трубопроводе [7]:



Фиг. 2.

$$\frac{u u_2}{dl} = \frac{1}{a^2} \frac{y}{\gamma} \frac{dp}{dt} \quad (17)$$

и переходя к конечным разностям, т.е. имея вместо $du_2 = \Delta U_2$ из (16), получим

$$\Delta U_2 = \frac{g h_e}{a}, \quad (18)$$

далее подставляя (18) в (17) имеем

$$\frac{g h_e}{a dl} = \frac{g}{\gamma a^2} \frac{dp}{dt}.$$

Принимая вместо $dl = \Delta l$ и полагая, что $\Delta l \rightarrow l$, получим

$$h_e = \frac{l}{a \gamma} \frac{dp}{dt}. \quad (19)$$

К такому же результату приходим исходя из анализа размерностей. Принимаем за исходную функциональную зависимость следующее выражение

$$h_e = f(l, a, \gamma, \frac{dp}{dt}, E_0), \quad (20)$$

где E_0 - модуль упругости жидкости.

Далее, принимая за основные величины l, a, γ , приходим к той же зависимости [19].

На основе формулы (19) составлена номограмма (фиг.2), позволяющая определить перепады давления, обусловленные за счет сжимаемости жидкости и материала стенок трубопровода в зависимости от градиента по времени. Последнее может быть задано измерением характеристики (частоты) регулирующего затвора.

Нанесенные на линии $L = 3,0$ м точки получены на основе обработки опытных данных по формуле (19), определенных на действующей установке Таллинского политехнического института.

Формула (19) может быть рекомендована в первом приближении для решения инженерных задач неустановившегося течения по "сжимаемой" модели.

Л и т е р а т у р а

И. Р. Р. Ч у г а е в. Гидравлика. "Энергия", 1970, с. 264-275.

2. А.С.М о н и н, А.М. Я г л о м. Статистическая гидромеханика. I часть М., 1965.

3. Л.Д. Л а н д а у, Е.М. Л и в ш и ц. Механика сплошных сред. М., 1954.

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

5. Дж.К. Б а ч е л о р. Введение в динамику жидкости. "Мир", М., 1973.

6. И.И. А г р о с к и н, Г.Т. Д м и т р и е в. Гидравлика. Госэнергоиздат. М.-Л., 1954.

7. Г.И. К р и в ч е н к о. Гидродинамический удар и рациональные режимы регулирования турбин гидроэлектростанций. Госэнергоиздат, 1951.

A. Aitsam, E. Kask, U. Liiv

The Calculation of Compressibility Forces
in Pipes at Unsteady Flow

S u m m a r y

In this paper the unsteady flow problems including the elastic forces work are described. The limits of the rigid and compressibility models are determined. A nomogram in Fig. 1 helps to define the above-mentioned models. With the help of dimensionless analyses and experimental results a formula is presented for calculating the energy of compressibility forces during unsteady flow period.

УДК 628.512; 628.8; 699.87

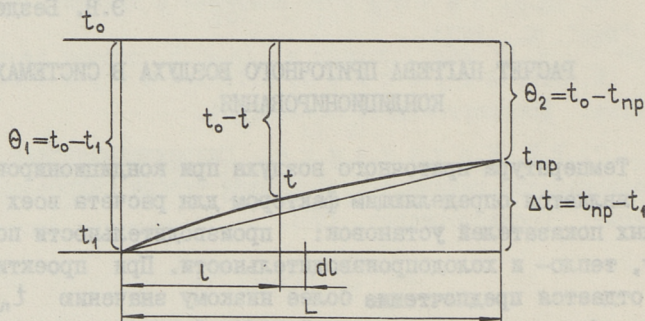
Э.В. Бездеткина

РАСЧЕТ НАГРЕВА ПРИТОЧНОГО ВОЗДУХА В СИСТЕМАХ
КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ

Температура приточного воздуха при кондиционировании t_{np} является определяющим фактором для расчета всех основных показателей установок: производительности по воздуху, тепло- и холодопроизводительности. При проектировании отдается предпочтение более низкому значению t_{np} с целью обеспечения максимальной рабочей разности температур, что способствует снижению воздухопроизводительности и общему повышению экономичности систем. Минимальная температура приточного воздуха ограничена реальными процессами ассимиляции тепла и влаги в помещении. Применение пониженных температур зависит от способа подачи воздуха, конструкции воздухораспределителя, его положения по высоте помещения, скорости выпуска воздуха [1]. При выборе температуры приточного воздуха необходимо учитывать самопроизвольное повышение ее в результате действия ряда факторов: теплообмена с окружающей средой; температурного эквивалента работы вентилятора; охлаждения в результате расширения воздуха; нагрева, обусловленного аэродинамическим сопротивлением воздухопровода. В настоящее время суммарное действие этих факторов ориентировочно принимается в расчетах равным $1 \div 2$ °С. Цель данной работы состоит в том, чтобы уточнить аналитические зависимости для определения каждого из названных факторов и количественно оценить их влияние на температуру приточного воздуха.

Рассмотрим с количественной стороны явление теплообмена приточного воздуха с начальной температурой t_1 с

окружающей средой, имеющей температуру t_0 , превышающую t_1 (фиг. 1). Задача сводится к определению повышения температуры приточного воздуха $\Delta t = t_{np} - t_1$ при граничных условиях первого рода. При этом следует иметь в виду, что нагрев воздуха в летнее время имеет особенно большое значение, так как это связано с дополнительным расходом дорогостоящего холода.



Фиг. 1. Повышение температуры приточного воздуха вдоль воздухопровода.

В настоящее время определение повышения температуры рекомендуется производить по общим формулам теплопередачи, считая распределение линейным. При этом указывается, что при отношении температурных напоров в начале и конце воздухопровода $\frac{\theta_1}{\theta_2} = \frac{t_0 - t_1}{t_0 - t_{np}} < 2$ ошибка не превышает 4% [2]. Однако на практике воспользоваться этим условием не всегда предоставляется возможность ввиду отсутствия данных о величине θ_2 . Поэтому целесообразно введение симплекса, характеризующего условия теплообмена, с помощью которого можно было бы судить о возможности линеаризации и определить повышение температуры.

Пусть имеем воздухопровод с периметром P полной длиной воздухопровода L , коэффициентом теплопередачи от приточного воздуха в окружающую среду $k, \frac{Bm}{m^2 \cdot K}$. Начало отсчета поместим непосредственно за вентилятором. Тогда количество тепла, передаваемого путем внешнего теплообмена на участке dl , составляет

$$dQ_1 = \kappa P(t_0 - t) dl = \kappa PL(t_0 - t) d\bar{l}, \quad (1)$$

где $\bar{l} = \frac{l}{L}$ - безразмерная координата, характеризующая положение рассматриваемого сечения по длине воздухопровода.

Количественное изменение тепла приточного воздуха равно

$$dQ_2 = Gcdt = -Fv\rho cd(t_0 - t); \quad (2)$$

где G - массовый расход воздуха, кг/с;

F - площадь поперечного сечения воздухопровода, м²;

v - скорость приточного воздуха, м/с;

ρ - массовая плотность, кг/м³;

c - массовая теплоемкость воздуха, равная 1012 $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$.

Приравнявая уравнения (1) и (2), получаем

$$\frac{d(t_0 - t)}{t_0 - t} = -\frac{\kappa PL}{Fv\rho c} \cdot d\bar{l} = -\frac{4\kappa L}{d_2 v \rho c} \cdot d\bar{l} = -a d\bar{l}, \quad (3)$$

где $d_2 = \frac{4F}{P}$ - гидравлический диаметр, м;

$a = \frac{4\kappa L}{d_2 v \rho c}$ - безразмерный симплекс.

После интегрирования имеем

$$\ln \frac{\theta_2}{\theta_1} = -a\bar{l} \quad \text{или} \quad \frac{\theta_2}{\theta_1} = e^{-a\bar{l}}, \quad (4)$$

т.е. развитие теплообмена вдоль воздухопровода, как и следовало ожидать, происходит по экспоненциальной зависимости.

Тогда повышение температуры приточного воздуха по сравнению с начальной равно

$$\Delta t = \theta_1 (1 - e^{-a}) \quad (5)$$

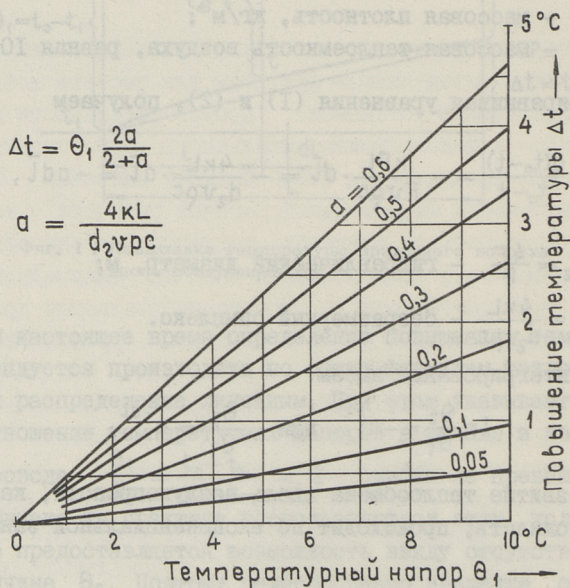
и в любом сечении воздухопровода

$$\Delta t_{\bar{l}} = \theta_1 (1 - e^{-a\bar{l}}). \quad (6)$$

Показателем экспоненты является безразмерный симплекс a , учитывающий конструкцию, сечение, длину воздухо-

провода, расход воздуха в нем и условие теплообмена. Однако экспоненциальный характер повышения температуры мало отличается от линейного для условий вентиляции. Поэтому действительное распределение температур заменяют линейным. Для практических расчетов возможность линеаризации температур удобно определять из условия $\alpha < 0,7$ при погрешности не более 4%. Для линейного распределения температур

$$\Delta t = \Theta_1 \frac{2\alpha}{2+\alpha} \quad (7) \quad \text{и} \quad \Delta t_{\bar{L}} = \Theta_1 \frac{2\alpha\bar{L}}{2+\alpha\bar{L}}. \quad (8)$$



Фиг. 2. Зависимость нагрева приточного воздуха от Θ_1 и α .

На фиг. 2 показана зависимость нагрева приточного воздуха от симплекса α и начального температурного напора Θ_1 , которая позволяет лучше понять значение теплоизоляции. С помощью симплекса α легко могут быть определены необходимые теплотехнические качества изоляции по известному Θ_1 и допустимому изменению температуры $\Delta t_{\text{гон}}$.

Известно, что перемещение воздуха в вентиляторе сопровождается его одновременным нагревом. Величина нагрева может быть так велика, что пренебрежение ею при теплотехнических расчетах систем, особенно высоконапорных, может привести к недопустимым отклонениям от расчетных параметров для помещений с жестким температурным режимом. Существующие рекомендации относительно нагрева воздуха в вентиляторах не достаточно полно учитывают физические параметры перемещаемого воздуха [3].

Вследствие большой скорости протекания процесса диссипация энергии в окружающую среду незначительна и процесс изменения состояния воздуха в вентиляторе рассматривается как адиабатный, для которого при повышении давления увеличение температуры воздуха по сравнению с начальной выражается известной зависимостью

$$\Delta t_{\text{вен}} = T_1 \left[\left(\frac{H_2}{H_1} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} - 1 \right].$$

Однако экспериментальные данные свидетельствуют о том, что фактическая величина температурного эквивалента работы вентилятора всегда превосходит полученную из расчетного соотношения для адиабатного протекания процесса. Особенно велико несоответствие при использовании вентиляторов среднего и высокого давлений. Причина вышеописанного явления заключается в том, что нагрев воздуха в вентиляторе происходит не только в результате его сжатия до развиваемого вентилятором давления, но и за счет движения воздуха с большой скоростью с образованием закрученного потока.

Уточнение температурного эквивалента работы вентилятора производится из условия полного перехода подводимой к воздуху энергии в теплоту

$$\frac{VH}{\eta_b} = V \rho c \cdot \Delta t_{\text{вен}}, \quad (9)$$

откуда

$$\Delta t_{\text{вен}} \approx 10^{-3} \frac{H}{\eta_b \rho}. \quad (10)$$

На перемещение воздуха по воздухопроводу затрачивается энергия, определяемая потерей давлений в нем, величина

которой пропорциональна аэродинамическому сопротивлению. Эта энергия преобразуется в теплоту. Кроме теплового эффекта потеря давления обуславливает также расширение воздуха, сопровождающееся понижением его температуры.

Рассмотрим температурный режим приточного воздуха при давлении H_1 и температуре T_1 в начале воздухопровода и H_2 и T_2 в конце. Средние скорости воздуха в сечении равны. В подавляющем большинстве процессы изменения состояния являются политропными. В воздухопроводе также осуществляется политропный процесс расширения с показателем политропы $1 < n < \kappa$, характеризуемый подводом тепла за счет преодоления сил аэродинамического сопротивления и уменьшением внутренней энергии воздуха в результате расширения.

Исходя из первого закона термодинамики, тепло политропного процесса равно

$$q_1 + q_2 = i_2 - i_1 + A. \quad (II)$$

Оно состоит из теплоты, обусловленной потерей давления [4]

$$q_1 = \frac{H_1 - H_2}{\rho}, \quad (I2)$$

и теплоты процесса внутреннего теплообмена, совершаемого по политропе,

$$q_2 = c_v \frac{n - \kappa}{n - 1} \cdot \Delta t_p. \quad (I3)$$

Изменение энтальпии в любом термодинамическом процессе равно

$$i_2 - i_1 = c_p \cdot \Delta t_p. \quad (I4)$$

Располагаемая работа политропного процесса определяется по известной формуле

$$A = RT_1 \frac{n}{n-1} \left[1 - \left(\frac{H_2}{H_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right], \quad (I5)$$

где R - газовая постоянная, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$.

после подстановки соответствующих значений в уравнение (II) и его преобразования с помощью известных соотношений термодинамики получим, что результирующее изменение температуры приточного воздуха при перемещении его по воздухопроводу в область более низкого давления составляет

$$\Delta t_p = \frac{\Delta H}{H_1} \cdot \frac{n-1}{n} \cdot T_1 - \left[1 - \left(\frac{H_1 - \Delta H}{H_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right] T_1 = \Delta t_n - \Delta t_o, \quad (16)$$

где Δt_n — нагрев воздуха, соответствующий потере давления $\Delta H = H_1 - H_2$;

Δt_o — охлаждение воздуха в результате работы расширения.

Δt_n и Δt_o величины одного порядка малости, поэтому их результирующая оказывается величиной еще более высокого порядка малости, в результате чего она не может оказать сколь-нибудь заметного влияния на изменение температуры приточного воздуха.

Анализ всех рассмотренных факторов, влияющих на нагрев приточного воздуха показывает, что наибольшую роль играет теплообмен с окружающей средой и температурный эквивалент работы вентилятора, действие которых в летний период совпадает, представляя значительную величину. Нагрев воздуха, обусловленный аэродинамическим сопротивлением воздухопровода, полностью компенсируется охлаждающим эффектом расширения воздуха, совершаемого в результате потери давления. Поэтому при проектировании систем кондиционирования для более обоснованного выбора температуры приточного воздуха необходимо учитывать температурный эквивалент работы вентилятора и нагрев воздуха в результате теплообмена, который определяют по участкам воздухопровода до наиболее удаленного от вентилятора ответвления.

Л и т е р а т у р а

И. Б. В. Б а р к а л о в. Рабочая разность температур в системах кондиционирования воздуха. "Водоснабжение и санитарная техника", 1955, № 2.

2. М. А. М и х е е в, И. М. М и х е е в а. Основы теплопередачи. "Энергия", М., 1973.

3. В. М. Рубан. Нагрев воздуха в вентиляторах. "Холодильная техника", 1971, № 3.

4. F. S o d e c, W. M o o d. Einfluß der Kanalreibung auf die Temperatur eines strömenden Gases. "Klima- und Kälteingenieur", 1973, Nr.7.

E. Bezdetkina

The Calculation of Air Heating of
the Conditioning Device

S u m m a r y

The paper indicates the importance of correct choice of air temperature inducing the conditioning devices and some other factors influencing air heating. The paper makes more exact the analytical connexions existing between these factors.

Р.Х.Хаавель, Т.А.Коппель, У.Р.Лийв

СИСТЕМА ДЛЯ НАКОПЛЕНИЯ И ОБРАБОТКИ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В состав гидротехнической практики экспериментального исследования входят задачи обработки больших массивов экспериментальных данных.

Процесс обработки очень трудоемкий и связан с затратами труда и времени, могут возникнуть дополнительные ошибки в процессе обработки. Самым мощным средством обработки является ЭЦВМ, но к сожалению, в большинстве имеющихся в эксплуатации в настоящее время ЭЦВМ не предусмотрено возможности связать их с протекающими во времени процессами, где обычно носителем информации является аналоговая величина.

Поэтому в последние годы стали использовать в гидродинамических исследованиях возможность регистрировать аналоговые величины в цифровом виде на магнитных лентах [1].

С целью преодоления вышеуказанных трудностей предлагается система X-I для регистрации аналоговых величин в цифровом виде на магнитной ленте ЭЦВМ "Минск-22", построенной в лаборатории гидротехники Таллинского политехнического института.

При проектировании систем цифровой регистрации аналоговых величин для конкретных задач исходят в основном из необходимой разрядности кодирования и необходимой частоты квантования.

Эффективность системы регистрировать колебания с различными частотами определяется по теореме отчетов Котельникова, по которому период стробирования определяется формулой [2]

$$\Delta t = \frac{1}{2f},$$

где f - верхняя предельная частота спектра кодируемого случайного процесса.

Для системы X-I было выбрано частотой квантования от 800-2000 Гц и следовательно, $\Delta t_{\text{мин}} = 500$ мкс, которое дает $f = 1$ кГц.

Обыкновенно в гидродинамических исследованиях нужно одновременно зарегистрировать несколько характеристик течения и поэтому было выбрано 6 каналов синхронной записи на магнитную ленту.

В общем случае оптимальность выбора разрядности отсчетов (s) определяется задачей статистического анализа. Известно, что при корреляционном анализе центрированных стационарных случайных процессов такой оптимальностью цифрового представления исходных данных является разрядность $s = 5$ бит [2].

При регистрации нестационарных процессов разрядность регистрируемых величин должна превышать названную величину. В связи с необходимостью экономии объема памяти ЭЦВМ и из некоторых технических рассуждений выбрана разрядность 6 бит.

Основной погрешностью системы X-I является шум квантования, который составляет 1,6 %, что не превышает погрешностей нами использованных датчиков (~2 %).

Система X-I позволяет записывать информацию на магнитную ленту и использовать эту ленту для расчетов в ЭЦВМ без перезаписи ленты и без дополнительных переходных устройств ЭЦВМ.

После чтения записанной магнитной ленты в ЭЦВМ информация будет располагаться в оперативной памяти следующим образом:

Канал	Момент времени	Величина напряжения в разряде
I	T_1	$I \div 6$
II	T_1	$7 \div I2$
III	T_1	$I3 \div I8$

у	T_1	$25 \div 30$
УІ	T_1	$31 \div 36$

В следующей ячейке находятся результаты измерений в таком же порядке в момент времени T_2 и т.д. Здесь $T = T_2 - T_1 = \dots = T_n - T_{n-1}$, период стробирования в канале. Нулевой разряд можно использовать в качестве дополнительного однобитового канала. Максимальная длина регистрируемого процесса определена способностью "Минск-22" считывать массивы без переадресации на магнитной ленте и равняется 4096 отсчету по каждому каналу (например, при использовании частоты стробирования по каналу I кГц, максимальная длительность процесса около четырех секунд).

В связи с тем, что при регистрации во времени протекающего процесса существуют требования на стабильность частоты стробирования и синхронизации устройства регистрации с процессами, а не наоборот, пришлось отказаться от стандартного используемого способа записи информации на ленту.

При регистрации процессов устраивает только вариант, где информация записывается с постоянной частотой, определяемой точным генератором и где номера зон записываются только до начала регистрации процесса. Также необходимы остановы лент между записанными зонами, что невозможно при обычном режиме записи синхро- и маркеримпульсов. Несмотря на сделанные изменения в процедуре записи информации, формированные таким образом ленты считываются на ЭЦВМ без сбоев, т.е. надежность записи, сохранения и чтения информации соответствуют требованиям, предъявляемым системам ЭЦВМ.

Общая блок-схема устройства управления и кодирования информации изображена на фиг. I.

Система работает следующим образом.

При поступлении запускающего импульса от устройства, управляющего регистрируемым процессом, в пульт управления регистрирующего устройства начинается движение магнитной ленты на НМЛ. Одновременно вводится в нулевое состояние счетчик тактов и регистры. После временной задержки (25 мкс для стабилизации скорости движения магнитной ленты) запус-

кается находящийся в блоке управления генератор стробирующих импульсов и дается разрешение записи на ленту. Первый импульс от генератора стробирующих импульсов вводит восьмиразрядный круговой счетчик тактов в состояние "1". Вследствие этого коммутатор дает входной сигнал первого канала в цифровом виде, который записывается в промежуточный регистр. В блоке формирования контрольной суммы определяется парность содержимого промежуточного регистра и результат записывается в соответствующий разряд регистра контрольной суммы (4-разрядный, находящийся в блоке формирования контрольной суммы). Затем записывается на магнитную ленту одновременно с синхроимпульсом результат от промежуточного регистра. Второй импульс от стробирующего генератора вводит счетчик тактов в положение "2".

На вход промежуточного регистра поступает напряжение второго канала и повторяется процесс, как и при измерении напряжения первого канала. Таким образом записываются на ленту все шесть каналов. Когда счетчик тактов достигает положения "7", в промежуточный регистр перезаписывается содержимое регистра контрольной суммы. После этого состояние промежуточного регистра анализируется на парность и в соответствующий разряд промежуточного регистра записывается результат анализа. Затем содержимое промежуточного регистра вместе с синхроимпульсом записывается на магнитную ленту.

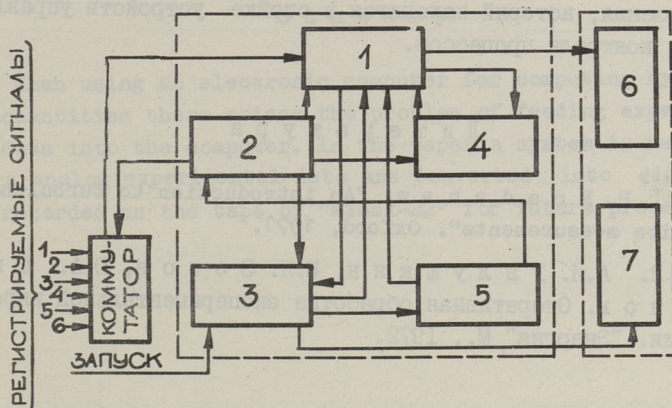
Когда счетчик тактов снова занимает положение "0", на магнитную ленту записывается только маркеримпульс. Этим завершается полный цикл информации.

Система работает в таком режиме 10 мкс. Затем регистрация процесса прекращается при положении "0" счетчика тактов и на ленту записывается дважды номер зоны вместе с синхро- и маркеримпульсами (номер зоны можно установить при помощи переключателей на пульте управления).

После записи номера зоны начинается с состояния "0" счетчика тактов снова запись результатов на магнитную ленту в том же порядке, как описано раньше.

Процесс продолжается до тех пор, пока регистрируемая схема задержки, определяющая длительность регистрируемого процесса, не выдаст команды прекращения записи, что оста-

УСТРОЙСТВО УПРАВЛЕНИЯ И КОДИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ НМЛ



Фиг. 1. Блок-схема системы X-1.

1 - промежуточный регистр; 2 - счетчик тактов;
3 - пульт управления; 4 - блок формирования контрольной
суммы; 5 - блок управления; 6 - блок головок; 7 - блок
управления движением магнитной ленты.

навликает ленту, блокирует генератор стробирующих импульсов и запись на магнитную ленту. После остановки ленты и после изменения номера зоны система готова к регистрации следующего процесса, используемая для обработки информация находится в интервале от записи номера зоны до конца массива. Запись до номера зоны в ЭЦВМ не считается, от данного участка необходимы только синхро- и маркеримпульсы для управления системы считывания ленты в ЭЦВМ.

Система позволяет работать и в шаговом режиме без записи результатов на магнитную ленту, чтобы сделать возможным калибровку датчиков и коммутатора, а также и проверку работоспособности системы в целом. При этом состояние промежуточного регистра и счетчика тактов индуцируется на пульте управления.

Имеется возможность вручную управлять движением ленты, в том числе и стирать заранее записанную информацию на ленте, что необходимо при работе с остановками ленты между зонами при записи.

Устройство управления и перекодирования информации выполнено на стандартных ячейках ЭЦВМ "Минск-22". Система имеет автономное питание от сети переменного тока.

Конструктивно схемы помещены в шкаф НМЛ, кроме пульта управления, который находится в стойке устройств управления и контроля процессом.

Л и т е р а т у р а

1. P. V r a d s h a w. "An introduction to turbulence and its measurements". Oxford, 1971.

2. А.И. Г а л у ш к и н, Ю.Я. З о т о в, Ю.А. Ш и - к у н о в. Оперативная обработка экспериментальной информации. "Энергия", М., 1972.

A Storage and Processing System for
Experimental Data of Hydraulic Research

S u m m a r y

When using an electronic computer for computing hydraulic quantities there arises the problem of feeding experimental data into the computer. In the paper a system is described where analog experimental data are converted into digital and recorded on the tape of "Minsk-22" for future processing.

УДК 681.121.8

Э.Г.Каск, Т.А.Коппель, В.К.Корсен,
У.Р.Лийв, М.П.Росманн

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ РАСХОДОМЕРЫ С КОДИРОВАННЫМ
ВЫХОДНЫМ СИГНАЛОМ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ БЫСТРОПЕРЕМЕННЫХ
СКОРОСТЕЙ В ТРУБОПРОВОДАХ

В настоящее время имеется целый ряд технологических систем и энергетических устройств, применяющихся в авиации, металлургии, энергетике и химической технологии, где определяющими режимами являются нестационарные режимы.

Знание протекания этих режимов и умение надежно рассчитывать соприкасающиеся с этими нестационарными процессами явления, необходимо как для проектирования, так и для разработки новых высокоэкономических систем. Поэтому проведение исследований нестационарного течения и разработка методики расчета представляют чрезвычайно актуальную для инженерной практики задачу.

Одной из интересующих при этом важных физических характеристик потока — быстропеременная скорость течения жидкости.

К приборам, позволяющим измерять нестационарные потоки, предъявляются требования малой инерционности и высокой динамической точности. Эти параметры выражаются через частные характеристики, которые определяют максимальную частоту колебаний потока, измеряемую без существенных амплитудных и фазовых искажений.

Ниже описываются освоенные в лаборатории гидротехники Таллинского политехнического института электромагнитные расходомеры, предназначенные для измерения быстропеременных

скоростей течения жидкости. В этих приборах подбором однородного магнитного поля и т.н. точечных электродов в датчиках расхода обеспечена независимость показаний от эпюры скоростей при осесимметричных эпюрах скоростей [1].

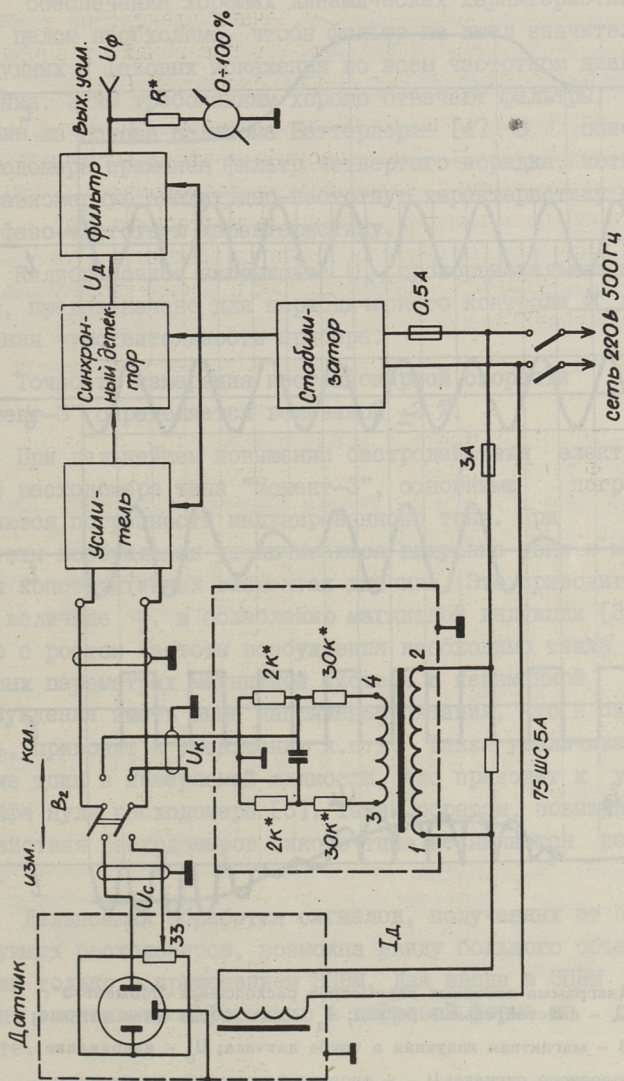
На фиг. 1 приведена блок-схема прибора "Момент-3" с несущей частотой 500 Гц. Такая несущая частота выбрана с целью обеспечения заданного быстродействия расходомера (0-150 Гц). Хотя индукционные помехи, вызывающие нестабильность нуля датчика, в первом приближении пропорциональны частоте возбуждения [2], удалось создать датчик с удовлетворительной стабильностью нуля.

На фиг. 2 приведены диаграммы основных величин того же расходомера.

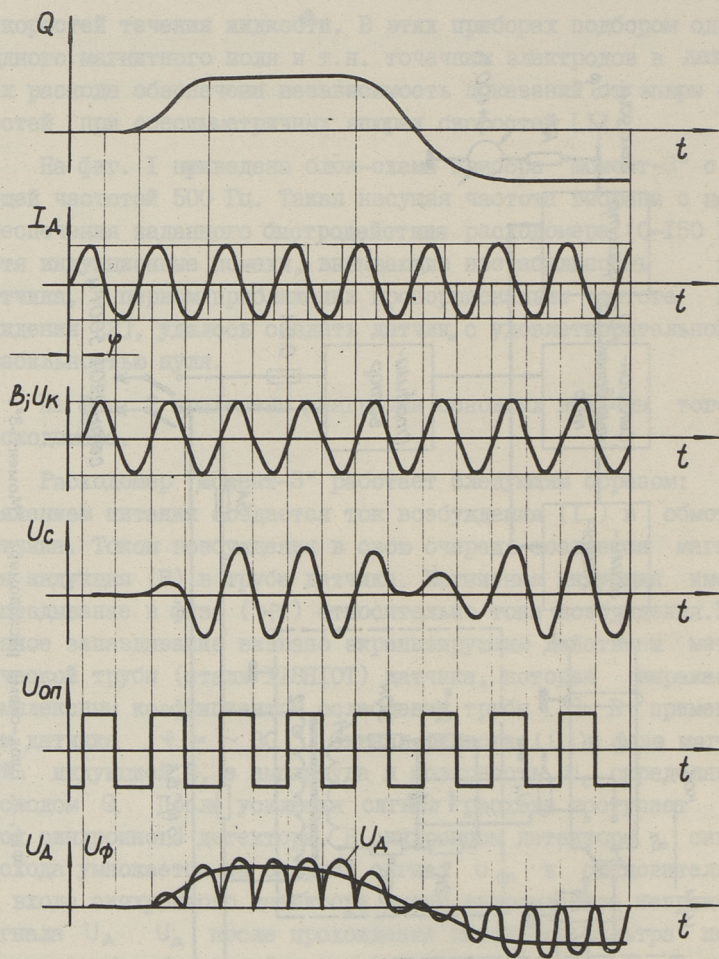
Расходомер "Момент-3" работает следующим образом: напряжением питания создается ток возбуждения (I_D) в обмотках датчика. Током возбуждения в свою очередь создается магнитная индукция (B) в трубе датчика. Магнитная индукция имеет запаздывание в фазе (φ) относительно тока возбуждения. Указанное запаздывание вызвано экранизирующим действием металлической трубы (сталь X18H10T) датчика, которая выражается комплексным коэффициентом ослабления трубы [3]. В применяемом датчике $\varphi = \sim 30^\circ$. Сигнал расхода (U_c) в фазе магнитной индукцией B , а амплитуда и полярность U_c определяются расходом Q . После усиления сигнал расхода поступает на вход синхронного детектора. В синхронном детекторе сигнал расхода умножается на опорный сигнал $U_{оп}$ и следовательно, на входе синхронного детектора имеем выпрямленное напряжение сигнала U_d . U_d после прохождения выходного фильтра имеет форму (U_ϕ), близкую форме действительного расхода Q .

Усилитель сигнала имеет симметричный вход с входным сопротивлением порядка 100 МОм и компенсацию емкости сигнального кабеля. Это обеспечит независимость показаний прибора от электропроводности жидкости даже при очень низких электропроводностях (например, дистиллированная вода).

Фильтр предназначен для подавления несущей частоты (т.е. частоты возбуждения) и согласования выхода прибора с нагрузкой. Для лучшего совпадения формы выходного напряжения фильтра U_ϕ с формой кривой действительного расхода Q , т.е.



Фиг. 1. Блок-схема расходомера "Момент-3".



Фиг. 2. Диаграмма основных параметров расходомера "Момент-3":
 Q - действительный расход; I_D - ток возбуждения датчика;
 B - магнитная индукция в трубе датчика; U_C - напряжение полезного сигнала; $U_{оп}$ - опорное напряжение синхронного детектора; $U_Д$ - выходное напряжение синхронного детектора;
 $U_ф$ - выходное напряжение фильтра; U_K - калибровочный сигнал расходомера.

для обеспечения хороших динамических характеристик прибора в целом необходимо, чтобы фильтр не имел значительных амплитудных и фазовых искажения во всем частотном диапазоне измерения. Этим требованиям хорошо отвечают фильтры, рассчитанные на основе полинома Баттерворта [4]. В описываемом расходомере применен фильтр четвертого порядка, который имеет равномерную амплитудно-частотную характеристику и линейную фазо-частотную характеристику.

Калибровочное напряжение U_k , пропорциональное току датчика, предназначено для периодического контроля и корректирования чувствительности прибора.

Точность измерения нестационарной скорости прибором "Момент-3" определяется величиной $\pm 2\%$.

При дальнейшем повышении быстродействия электромагнитного расходомера типа "Момент-3", основными погрешностями являются погрешности индуцированноно типа. При повышении частоты возбуждения увеличиваются вихревые токи в металлических конструктивных элементах датчика. Это приводит к большой величине φ , и ослаблению магнитной индукции [3]. Кроме того с ростом частоты возбуждения необходимо также при неизменных параметрах магнитной системы и неизменной амплитуде возбуждения иметь выше напряжение питания, что, в свою очередь, приводит к уменьшению к.п.д. Также увеличиваются вихревые токи в измеряемой жидкости, что приводит к увеличению дрейфа нуля расходомера [5]. Таким образом, повышение быстродействия расходомеров такого типа не является перспективным.

Дальнейшая обработка сигналов, полученных от быстродействующих расходомеров, возможна ввиду большого объема информации только с применением ЭЦВМ. Для ввода в ЭЦВМ целесообразно записывать информацию в цифровой форме на магнитной ленте.

С этой целью к описанным расходомерам может быть подключена система, разработанная в Таллинском политехническом институте (см. настоящий сборник стр. 37) Для этого с каждого канала (число которых может достигать шести) в заданные моменты времени берется сигнал, который записывается в аналоговую память (конденсатор памяти). После этого выходы

ячеек аналоговой памяти по очереди подключаются к входу аналого-цифрового преобразователя Ф 733/2, который совершает одно преобразование за 60 мкс. В связи с этим вся система способна работать со скоростью 1000 циклов измерений в секунду по каналу.

Ячейки аналоговой памяти выполнены на базе операционного усилителя К1УТ401, а в качестве коммутирующего элемента работает полевой транзистор КП301. Ячейки могут быть одновременно использованы для нормализации сигналов. При работе прибора "Момент-3" и аналогичных приборов без фильтра на выходе следует синхронизировать напряжение возбуждения датчика с частотой записи.

Л и т е р а т у р а

1. Дж. Ш е р к л и ф. Теория электромагнитного измерения расхода. "Мир", М., 1965.

2. Л.М. К о р с у н с к и й. Электромагнитные гидрометрические приборы. Изд. гос. ком. стандартов, мер и изм. приборов СССР, 1964.

3. Г. К а д е н. Электромагнитные экраны. ГЭИ, М.-Л., 1957.

4. А.Е. З н а м е н с к и й, П.Н. Т е п л ю к. Активные фильтры. "Связь", М., 1970.

5. М.П. Р о с м а н н. Повышение чувствительности электромагнитного расходомера путем применения специальной формы магнитного поля. Метрологические исследования в области измерения расхода и количества веществ. Труды Всесоюзной конференции, Казань-Москва, 1971, с. 197.

E. Kask, T. Koppel, V. Korsen,
U. Liiv, M. Rosmann

Electromagnetic Flowmeter with Digital Output
for Measuring Unsteady Mean Velocity in
Pipes

S u m m a r y

The article describes the flowmeter "Moment-3" for measuring unsteady mean velocity over cross section in pipes. The flowmeter has small inertia and a great dynamical accuracy.

Потери напора в частях микросетей и фильтровальных
элементах определяют начальные условия работы любой фильтро-
вальной установки. Применительно к бароанним гранитно-
вым микросетям она определяет начальную скорость филь-
трата при вытравливании сетки в фильтровую воду. При гидрав-
лических расчетах сетки обычно рассматриваются как местные
сопротивления, потеря напора в которых определяется из фор-
мулы

$$H_c = \xi_c \frac{v^2}{2g} = \lambda_c \frac{l_c}{R_c} \frac{v^2}{2g} \quad (1)$$

- где ξ_c и λ_c - коэффициенты сопротивления;
 v - средняя скорость потока в стоячей сетке;
 l_c - эквивалентная длина местного сопротивле-
ния;
 $R_c = \frac{r_c}{2}$ - гидравлический радиус трубки;
 l_c - длина трубки;
 r_c - номинальный диаметр трубки.

Для микросетей в микросетях и фильтровальных
элементах место локальной резонансной частоты, при которой коэффици-
ент гидравлического трения определяется как $\lambda_c = \frac{1}{Re_c}$. где
 Re_c - число Рейнольдса.

При этом коэффициент ξ_c характеризует форму сетки
проточной трубки и является постоянной величиной при ста-
циональном ламинарном потоке. Можно предположить, что для

УДК 628.16.067.3

Я.Я. Кару

РАСЧЕТ ПОТЕРИ НАПОРА В ЧИСТЫХ МИКРОСЕТКАХ И
ФИЛЬТРОВАЛЬНЫХ ТКАНЯХ ИЗ СИНТЕТИЧЕСКОГО
МОНОВОЛОКНА

Потеря напора в чистых микросетках и фильтровальных тканях определяет начальное условие работы любой фильтровальной установки. Применительно к барабанным гравитационным микрофильтрам она определяет начальную скорость фильтрации при погружении сетки в фильтруемую воду. При гидравлических расчетах сетки обычно рассматриваются как местные сопротивления, потери напора в которых определяются по формуле

$$H_c = \xi_c \frac{v_a^2}{2g} = \lambda_c \frac{l_{эк}}{R_2} \frac{v_a^2}{2g}, \quad (I)$$

где ξ_c и λ_c — коэффициенты сопротивления;

v_a — средняя скорость потока в ячейках сетки;

$l_{эк}$ — эквивалентная длина местного сопротивления;

$R_2 = \frac{f_a}{\chi_a}$ — гидравлический радиус ячейки;

f_a — площадь ячейки;

χ_a — смоченный периметр ячейки.

Как правило, в микросетках и фильтровальных тканях имеет место ламинарный режим течения, при котором коэффициент гидравлического трения определяется как $\lambda_c = \frac{B_1}{Re}$, где Re — число Рейнольдса.

При этом коэффициент B_1 характеризует форму сечения проточных каналов и является постоянной величиной при сформировавшемся ламинарном потоке. Можно представить, что ячей-

ки микросеток образуют проточные каналы, при которых толщина ткани l намного меньше длины начального участка канала l_n , в котором происходит формирование равномерного ламинарного течения. Поэтому следует считать, что при микросетках и фильтровальных тканях величина B_1 является переменной величиной и дополнительные потери энергии на формирование равномерного потока можно учитывать коррективом кинетической энергии α .

Эквивалентную длину $l_{эк}$ можно в первом приближении определить в виде

$$l_{эк} = B_2 \cdot d,$$

где B_2 - постоянная величина для данной сетки, учитывающая фактическую длину проточных каналов.

В таком случае уравнение (I) можно представить как

$$H_c = \frac{B}{Re} \frac{d}{R_2} \frac{v_j^2}{2g}, \quad (2)$$

где $B = B_1 \cdot B_2$ - переменный коэффициент, учитывающий как геометрическое строение сетки, так и эпюру скорости в ячейке.

Если будет известна закономерность изменения коэффициента B , можно определить потери напора в микросетках и фильтровальных тканях. При определении числа Рейнольдса для сеток за среднюю скорость потока обычно принимают среднюю скорость течения в ячейках - v_j и за характерный линейный размер - гидравлический радиус ячейки R_2 . Следовательно, мы имеем

$$Re = \frac{v_j \cdot R_2}{\nu}. \quad (3)$$

Взаимосвязь параметров геометрической структуры сетки можно выразить формулами [2]:

$$A = (1 - N_1 \cdot d_1)(1 - N_2 \cdot d_2), \quad (4)$$

$$n = N_1 \cdot N_2, \quad (5)$$

$$f_j = \frac{A}{n}, \quad (6)$$

$$d_1 = \frac{1}{N_2} - d_2 = h_2 - d_2, \quad (7)$$

$$d_2 = \frac{1}{N_1} - d_1 = h_1 - d_1, \quad (8)$$

где A - коэффициент свободного сечения сетки;
 n - число ячеек в единице площади сетки;
 d_1 и d_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 , d_2 определяются в результате исследования образцов сеток под микроскопом. Из вышеизложенного следует, что смоченный периметр определяется как

$$\chi_{я} = 2(d_1 + d_2) = 4\sqrt{d_1 \cdot d_2} = 4\sqrt{\frac{A}{n}}$$

и гидравлический радиус как

$$R_2 = \frac{f_{я}}{\chi_{я}} = \frac{A}{4n\sqrt{\frac{A}{n}}}$$

Кроме того, известно, что средняя скорость в ячейках сетки определяется через скорость потока на подходе к сетке v_0 в виде $v_{я} = \frac{v_0}{A}$. Подставляя формулу (3) вместе с приведенными значениями R_2 и $v_{я}$ в (2) и преобразуя, получим

$$H_c = \frac{B16ndv}{v_0} \frac{v_0^2}{A^2 \cdot 2g} = \frac{B}{Re_c} \frac{v_0^2}{A^2 \cdot 2g} \quad (9)$$

Следовательно, число Рейнольдса выражается здесь как

$$Re_c = \frac{v_0}{16ndv} \quad (10)$$

Формулу (9) можно представить в виде

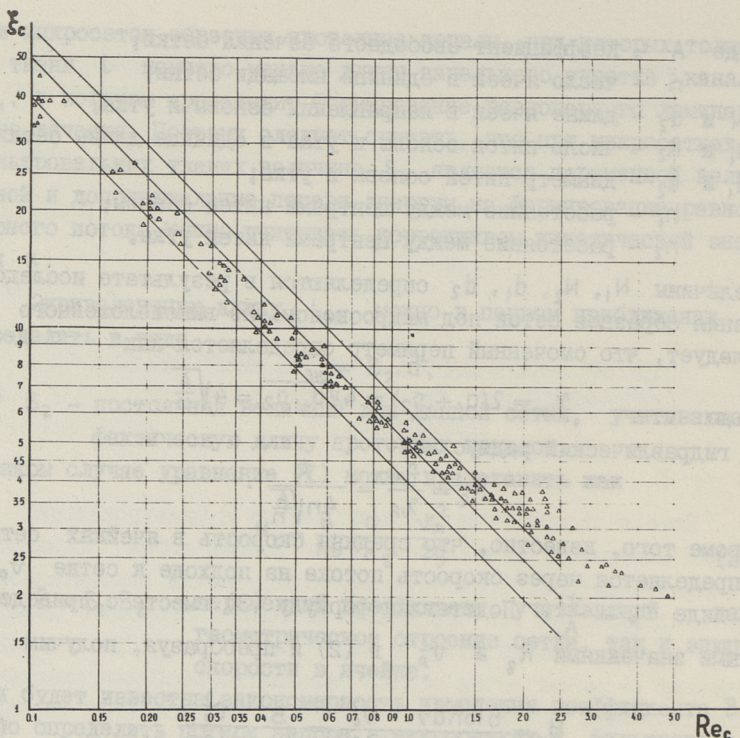
$$H_c = \frac{8nd}{A^2} \cdot \frac{Bv}{g} v_0, \quad (11)$$

причем величина $\frac{8nd}{A^2}$ характеризует плотность сетки и является постоянной величиной. В дальнейшем назовем эту величину коэффициентом плотности и выразим через

$$K = \frac{8nd}{A^2} \text{ [м}^{-1}\text{]}, \quad (12)$$

если n определяется в м^{-2} , а d - в м.

Таким образом, потеря напора в сетке может определяться в виде формулы



Фиг. 1. Обработка опытных данных в виде зависимости

$$\xi_c = f(Re_c) = \frac{B}{Re_c}$$

с нанесенными линиями $B = \text{const.}$

$$H_c = \frac{KB\gamma}{g} V_0. \quad (I3)$$

Экспериментальные исследования, проведенные с 14 различными микросетками и фильтровальными тканями, позволили выразить гидравлическое сопротивление этих перегородок в виде общезначимой зависимости $\xi_c = f(Re_c) = \frac{B}{Re_c}$ (фиг. I), причем число Рейнольдса определялось по формуле (10), а коэффициент местного сопротивления в виде зависимости

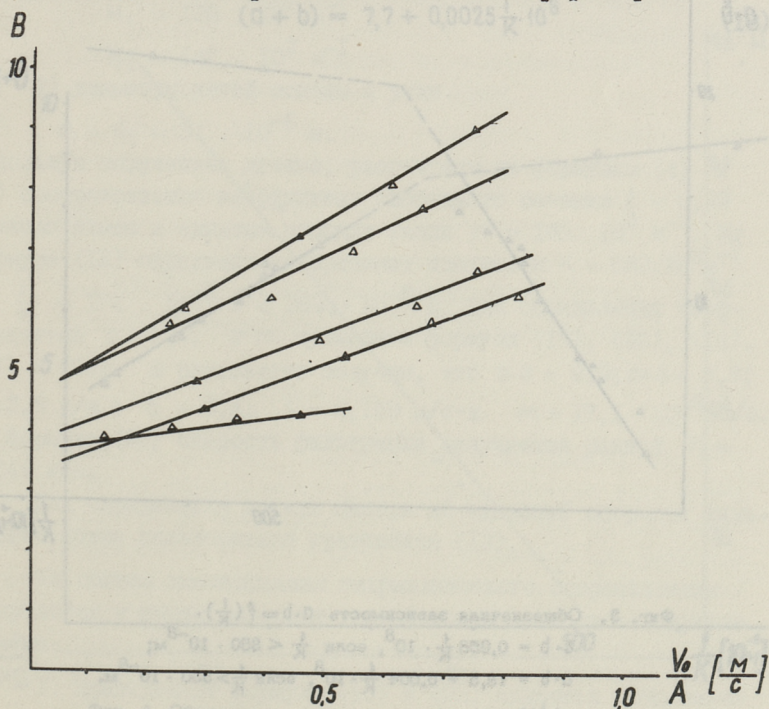
$$\xi_c = \frac{H_c \cdot 2g}{V_0^2} = \frac{H_c \cdot A^2 \cdot 2g}{V_0^2}. \quad (I4)$$

Опыты проводились на установке, схема которой приведена в статье Кару Я.Я. "Исследование процесса загрязнения микросетки при фильтровании искусственно замутненной воды"

(см. настоящий сборник). Методика испытаний состояла в том, что при помощи заменяемых водосливов на сетке создавались различные напоры и измерялись соответствующие объемы фильтрата. В результате для каждой сетки были получены зависимости $V_0(H_c)$, явившиеся исходными для дальнейшей обработки. Опыты проводились на чистой воде при средней температуре $t^\circ = +6^\circ \text{C}$, причем исследовались фильтровальные перегородки с размером ячеек от 20 до 76 микрон, изготовленные полотняного, саржевого и галунного способов переплетения.

По вышеприведенным результатам экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы.

I. Ламинарный режим течения сохраняется при $Re_c \leq 1,5$. Не нарушая точности практических расчетов этот предел можно довести до $Re_c \leq 4$, который охватывает практически весь возможный диапазон применения сеток на микрофильтрах.



Фиг. 2. Зависимость $V = f\left(\frac{V_0}{A}\right)$ для различных микросеток и фильтровальных тканей.

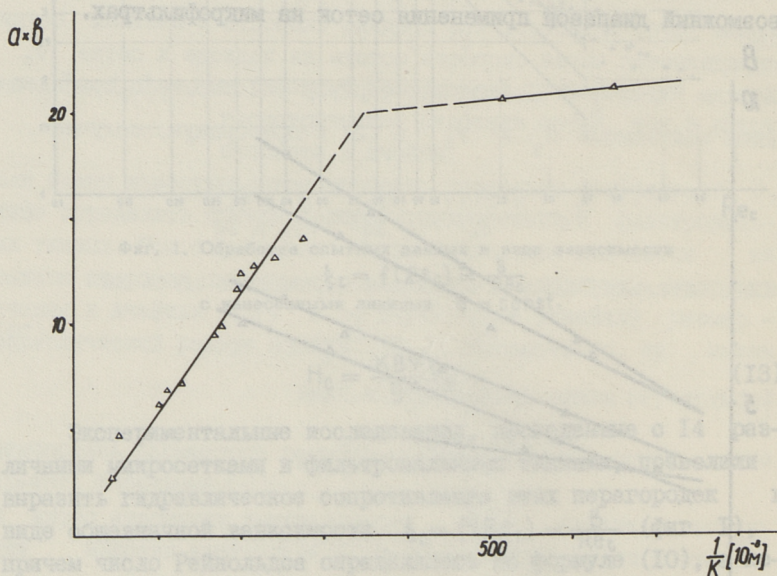
2. В условиях приближенных расчетов можно принимать $B = \text{const}$.

Для выявления закономерности изменения показателя B составлены зависимости $B = f\left(\frac{V_0}{A}\right)$, которые для каждой сетки выражаются в виде $B = a \frac{V_0}{A} + b$. На фиг. 2 приведены некоторые из этих зависимостей. Коэффициенты a и b зависят от плотности сетки. Данные закономерности приведены на фиг. 3 и 4 в виде функции

$$a \cdot b = f\left(\frac{1}{K}\right) \quad \text{и} \quad (a + b) = f\left(\frac{1}{K}\right).$$

При составлении этих зависимостей коэффициенты a и b определены для каждой сетки на основе графиков $B = a \frac{V_0}{A} + b$.

Приведенные на фиг. 3 и 4 зависимости можно представить как



Фиг. 3. Общезначная зависимость $a \cdot b = f\left(\frac{1}{K}\right)$.

$$a \cdot b = 0,058 \frac{1}{K} \cdot 10^8, \quad \text{если} \quad \frac{1}{K} < 350 \cdot 10^{-8} \text{ м};$$

$$a \cdot b = 18,5 + 0,004 \frac{1}{K} \cdot 10^8, \quad \text{если} \quad \frac{1}{K} > 350 \cdot 10^{-8} \text{ м}.$$

линейные функции, условно разделяя все сетки на две группы, исходя из коэффициента плотности, т.е. сетки, при которых $\frac{1}{K} < 350 \cdot 10^{-8}$ м и сетки, при которых $\frac{1}{K} > 350 \cdot 10^{-8}$ м. В таком случае зависимости $a \cdot b = f(\frac{1}{K})$ и $(a+b) = f(\frac{1}{K})$ можно представить следующим образом:

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

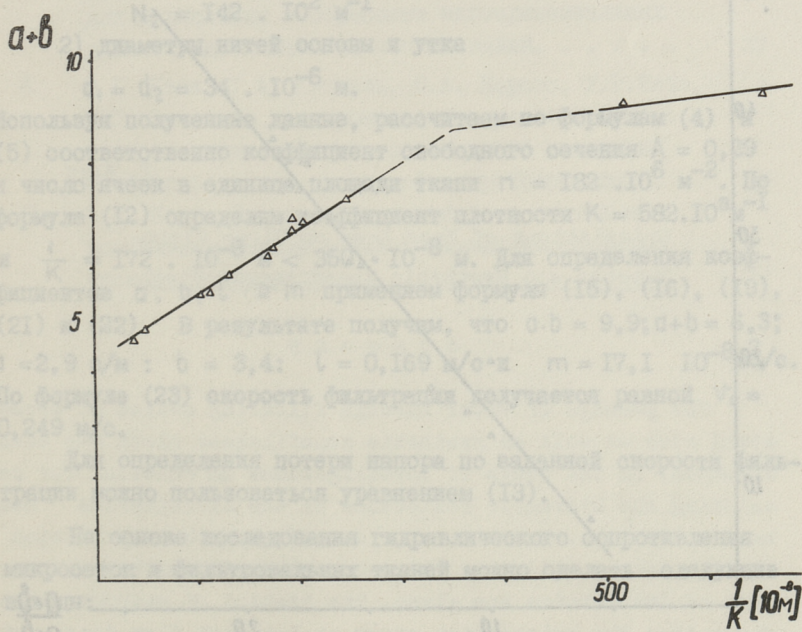
$$a \cdot b = 0,058 \frac{1}{K} \cdot 10^8, \quad (15)$$

$$(a + b) = 4,2 + 0,0125 \frac{1}{K} \cdot 10^8 \quad (16)$$

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

$$a \cdot b = 18,5 + 0,004 \frac{1}{K} \cdot 10^8 \quad (17)$$

$$(a + b) = 7,7 + 0,0025 \frac{1}{K} \cdot 10^8 \quad (18)$$



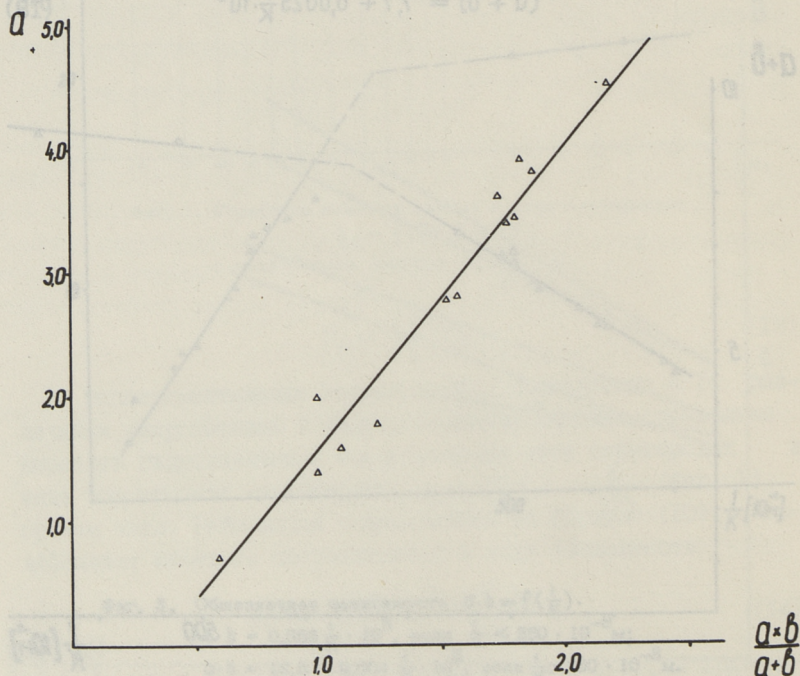
Фиг. 4. Общезначная зависимость $(a+b) = f(\frac{1}{K})$.
 $(a+b) = 4,2 + 0,0125 \frac{1}{K} \cdot 10^8$, если $\frac{1}{K} < 350 \cdot 10^{-8}$ м;
 $(a+b) = 7,7 + 0,0025 \frac{1}{K} \cdot 10^8$, если $\frac{1}{K} > 350 \cdot 10^{-8}$ м.

Для определения коэффициентов a и b в отдельности, составим дополнительную зависимость, которую также можно выразить в виде линейной функции (фиг. 5)

$$a = 2,4 \frac{a \cdot b}{a + b} - 0,8. \quad (19)$$

Таким образом, коэффициенты a и b учитывают влияние плотности ткани на ее гидравлическое сопротивление и определяются при помощи трех линейных функций, изображенных на фиг 3-5. Подставляя уравнение $B = a \frac{V_0}{A} + b$ в формулу (13), получим квадратное уравнение для расчета V_0 в виде

$$V_0^2 + \frac{bA}{a} V_0 - \frac{A}{K \cdot a} \frac{g \cdot H_c}{\gamma} = 0. \quad (20)$$



Фиг. 5. Общезначная зависимость $a = 2,4 \frac{a \cdot b}{a + b} - 0,8.$

Обозначив

$$\frac{b \cdot A}{2a} = l \left[\frac{M}{C} \right] \quad (21)$$

и

$$\frac{A}{K \cdot a} = m \left[\frac{M^2}{C} \right], \quad (22)$$

получим расчетную формулу для определения скорости фильтрации при заданной потере напора в виде

$$v_0 = \sqrt{l^2 + m \cdot \frac{g \cdot H_c}{\gamma}} - l \left[\frac{M}{C} \right], \quad (23)$$

где H_c определяется в м, g - в м/с^2 и γ - в $\text{м}^2/\text{с}$. В качестве примера определим начальную скорость фильтрации воды на микрофилт্রে, оборудованном фильтровальной тканью Asit-m - Nybolt 325-44. Потеря напора на микрофилт্রে была 10 см, температура воды $t^\circ = 15^\circ\text{C}$ ($\nu = 1,14 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$). Под микроскопом определим:

1) число ниток основы и утка в единице длины ткани

$$N_1 = 128 \cdot 10^2 \text{ м}^{-1}$$

$$N_2 = 142 \cdot 10^2 \text{ м}^{-1}$$

2) диаметры нитей основы и утка

$$d_1 = d_2 = 34 \cdot 10^{-6} \text{ м.}$$

Используя полученные данные, рассчитаем по формулам (4) и (5) соответственно коэффициент свободного сечения $A = 0,29$ и число ячеек в единице площади ткани $n = 182 \cdot 10^6 \text{ м}^{-2}$. По формуле (12) определим коэффициент плотности $K = 582 \cdot 10^3 \text{ м}^{-1}$ и $\frac{1}{K} = 172 \cdot 10^{-8} \text{ м} < 350 \cdot 10^{-8} \text{ м}$. Для определения коэффициентов a , b , l и m применяем формулы (15), (16), (19), (21) и (22). В результате получим, что $a \cdot b = 9,9$; $a + b = 6,3$; $a = 2,9 \text{ с/м}$; $b = 3,4$; $l = 0,169 \text{ м/с}$ и $m = 17,1 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$. По формуле (23) скорость фильтрации получается равной $v_0 = 0,249 \text{ м/с}$.

Для определения потери напора по заданной скорости фильтрации можно пользоваться уравнением (13).

На основе исследования гидравлического сопротивления микросеток и фильтровальных тканей можно сделать следующие выводы:

I. Приведенные формулы (13) и (23) являются общезначимыми и позволяют определить гидравлическое сопротивление как металлических микросеток, так и фильтровальных тканей из синтетического моноволокна.

2. Формулы (13) и (23) действительны в условиях ламинарного режима течения, который сохраняется при $Re_c \leq 4$.

3. Максимальная ошибка расчетов при $Re_c \leq 4$ не превышает 10 %.

4. Следует считать целесообразным проведение дополнительных исследований с более крупными сетками ($\frac{1}{k} > 350 \cdot 10^{-8} \text{ м}$) для уточнения закономерностей изменения коэффициентов a и b в этой области.

Л и т е р а т у р а

1. Ю.М. Кузьмин. Сетчатые установки в водоочистных сооружениях. Изд. Стройиздат. М.-Л., 1966.

2. И.В. Пискарев. Фильтровальные ткани. Изд. АН СССР. М., 1963.

J. Karu

Calculations of Head Loss on Clean Micro- Fabrics and Synthetic Monofilament Cloth

S u m m a r y

The passage of water through filtering medium of woven steel wire as well as synthetic monofilament cloth has been examined. On the basis of investigations an equation for calculating the hydraulic resistance of the microfabrics has been worked out. Equations for determining the calculation coefficients considering the parameters of geometrical structure of the fabrics are given. The testing of methods has shown that the calculation error at laminary flow does not exceed 10 per cent.

С о д е р ж а н и е

1.	Х.А. Мельдер, П.О. Эннет. Влияние дозирования реагента на эффективность удаления фосфора а аэротенках.	3
2.	Я.Я. Кару. Исследование процесса загрязнения микросетки при фильтровании искусственно замутненной воды.	13
3.	А.М. Айтсам, Э.Г. Каск, У.Р. Лийв. Учет сил сжимаемости при нестационарном течении жидкости по трубопроводам	19
4.	Э.В.Бездеткина. Расчет нагрева приточного воздуха в системах кондиционирования	29
5.	Р.Х. Хаавель, Т.А.Коппель, У.Р. Лийв. Система для накопления и обработки экспериментальных данных гидравлических исследований.	37
6.	Э.Г. Каск, Т.А. Коппель, В.А. Корсен, У.Р.Лийв, М.П. Росманн. Электромагнитные расходомеры с кодированным выходным сигналом для измерения быстропеременных скоростей в трубопроводах	45
7.	Я.Я. Кару. Расчет потери напора в чистых микросетках и фильтровальных тканях из синтетического моноволокна	53

Таллинский политехнический институт. Труды ТПИ № 380. СБОРНИК
СТАТЕЙ ПО САНИТАРНОЙ ТЕХНИКЕ X. Редактор Х.Тибар. Техн.
редактор В.Ранник. Сборник утвержден коллегией Трудов ТПИ
26 февр. 1975 г. Подписано к печати 3 апреля 1975г. Бумага 60х90/16.
Печ. л. 4,0 + 0,25 прилож. Уч.-изд. л. 3,2. Тираж 350. МВ- 04501.
Ротапринт ТПИ, Таллин, ул. Коскла, 2/9. Зак. №338. Цена 32 коп.

Сборник статей
по
САНИТАРНОЙ ТЕХНИКЕ
X

УДК 628.34:628.35

Влияние дозирования реагента на эффективность удаления фосфора в аэротенках. Мельдер Х.А., Эннет П.О. "Труды Таллинского политехнического института", 1975, № 380, с. 3-12.

В данной статье рассматривается дозирование химикатов для удаления фосфора симультанным методом. Первая часть работы проводилась на полупроизводственной опытной установке и использованием искусственной сточной жидкости, в качестве реагента использовался раствор хлористого железа. Вторая часть работы была проведена на действующем очистном сооружении типа БИО-100, которое работало в режиме малой нагрузки. Для удаления фосфора использовался сульфат алюминия. Эффект уменьшения концентрации фосфора в воде не зависел от режима дозирования реагента (один раз в сутки или непрерывно) и был более 80 %. Требуемая доза железа и алюминия определялась из стехиометрического уравнения реакции.

Таблиц - 3, фигур - 3, библиография - 5 названий.

УДК 628.16.067,3

Исследование процесса загрязнения микросетки при
фильтровании искусственно замутненной воды. Кару Я.Я.
"Труды Таллинского политехнического института", 1975
№ 380, с. 13-18.

В настоящей статье рассматривается вопрос эксперимен-
тального определения изменения скорости фильтрации и эф-
фекта очистки в отдельных участках поверхности микрофилт-
ра. Приводится схема опытной установки, методика испытаний
и результаты опытов при фильтровании искусственно заму-
тненной воды с применением микросетки в 40 микрон.

Фигур - 3, библиография - 4 названия.

УДК 532.621.643

Учет сил сжимаемости при нестационарном
течении жидкости по трубопроводам. Айтсам А.М.,
Каск Э.Г., Лийв У.Р. "Труды Таллинского поли-
технического института", 1975, № 380, с. 19-27.

В статье рассматриваются области применения границ
"сжимаемой" и "несжимаемой" модели при неустановившемся те-
чении жидкости в трубопроводах, который иллюстрируется со-
ответствующей номограммой.

Для определения энергии, затрачиваемой на сжатие жид-
костного столба, представляется формула и номограмма в за-
висимости от длины трубопровода.

Таблиц - I, фигур - 2, библиография - 7 названий.

УДК 628.512, 628.8; 699.87

Расчет нагрева приточного воздуха в системах кондиционирования. Бездеткина Э.В. "Труды Таллинского политехнического института", 1975, № 380, с. 29-36.

В статье указывается важность правильного выбора температуры приточного воздуха в системах кондиционирования и факторы, влияющие на его самопроизвольный нагрев, а также уточняются аналитические зависимости для определения этих факторов.

Фигур - 2, библиография - 4 названия.

УДК 681.327.6

Система для накопления и обработки экспериментальных данных гидравлических исследований. Хаавель Р.Х., Кошпель Т.А., Лийв У.Р. "Труды Таллинского политехнического института", 1975, № 380, с. 37-43.

При использовании ЭЦВМ для обработки опытных данных гидравлических исследований возникает проблема ввода данных в ЭЦВМ. В статье описывается система для регистрации синхронно шести аналоговых величин в цифровом виде на магнитной ленте ЭЦВМ "Минск-22".

Фигур - 1, библиография - 2 названия.

УДК 681.121.8

Электромагнитные расходомеры с кодированным выходным сигналом для измерения быстропеременных скоростей в трубопроводах. Каск Э.Г., Кошпель Т.А., Лийв У.Р., Росманн М.П. "Труды Таллинского политехнического института", 1975, № 380, с. 45-51.

В статье представляется описание расходомера "Момент-3" для измерения нестационарной средней по сечению скорости в трубопроводах. Этот расходомер имеет малую инерционность и высокую динамическую точность.

Фигур - 2, библиография - 5 названий.

Расчет потери напора в чистых микросетках и фильтровальных тканях из синтетического моноволокна. Кару Я.Я. "Труды Таллинского политехнического института", 1975, № 380, с. 53-62.

На основе анализа процесса течения воды в микросетках и опытов по фильтрованию с применением разных образцов металлических микросеток и фильтровальных тканей из синтетического моноволокна выведена формула для расчета гидравлического сопротивления в названных сетках. Приводятся формулы для определения расчетных коэффициентов на основе параметров геометрического строения тканей. Проверка методики показала, что максимальная ошибка расчетов в условиях ламинарного режима течения не превышает 10%.

Фигур - 5, библиография - 2 названия.

Цена 32 коп.