Ep. 6.7

686

ISSN 0136-3549
0203-9702

TALLINNA POLÜTEHNILISE INSTITUUDI

TOIMETISED

ТРУДЫ ТАЛЛИННСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

TRANSACTIONS OF TALLINN TECHNICAL UNIVERSITY

НЕУСТАНОВИВШИЕСЯ ПРОЦЕССЫ В СИСТЕМАХ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ

TALLINN 1989

Ep. 6.7

686

ALUSTATUD 1937

TALLINNA POLÜTEHNILISE INSTITUUDI TOIMETISED

ТРУДЫ ТАЛЛИННСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

TRANSACTIONS OF TALLINN TECHNICAL UNIVERSITY

УДК 628.34
532.621

НЕУСТАНОВИВШИЕСЯ ПРОЦЕССЫ В СИСТЕМАХ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ

Санитарная техника XXI

TALLINN 1988

Содержание

I. Пааль Л.Л., Вийес В.Р., Сууркаск В.А. Оперативная оценка качества воды рек..... 3

2. Кару Я.Я., Коппель Т.А., Педак Х.Н., Тийман А.Ю. Алгоритм управления работой скважинных насосов.. 7

3. Айтсам А.А., Даниель Э.Н., Сарв Л.Э. Изменение локальных параметров при постоянном замедлении течения жидкости в цилиндрических трубах..... I3

4. Айтсам А.А., Даниель Э.Н., Сарв Л.Э. О коэффициенте поверхностного трения при замедленных течениях..... 33

5. Пааль Л.Л., Кикас К.А. О разработке малых установок для очистки сточных вод от нефтепродуктов 43

6. Блонская В.А., Востриков В.Б., Мёльдер Х.А. Пути увеличения эффективности работы аэротенков на основе предэксплуатационных исследований.... 54

7. Сяэрекынно Ю.Я. О комплексном нормировании сбросов общегородских сточных вод в водные объекты..... 60

8. Сяэрекынно Ю.Я. Об экологических критериях оценки водопользователей как источников загрязнения водной среды..... 68

9. Айтсам А.А., Даниель Э.Н. Лийв У.Р. Связь между касательными напряжениями на стенке и структурой потока при замедленных течениях в цилиндрических трубах... 76

I0. Гросс М.Р. Эжекторные аэраторы в малой канализации..... 84

© Таллиннский политехнический институт, 1980

№ 686

TALLINNA POLÜTEHNILISE INSTITUUDI TOIMETISED

ТРУДЫ ТАЛЛИННСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

УДК 551

Л.Л. Пааль, В.Р. Вийес, В.А. Сууркаск

ОПЕРАТИВНАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОДЫ РЕК

Реки Эстонии - это малые реки, которые очень чувствительны к антропогенному воздействию. Сброс веществ загрязнения, изъятие части стока могут в них вызвать необратимые экологические сдвиги. Следовательно, нужна оперативная информация о современном состоянии рек и возможность осуществления быстрого прогноза трансформации качества воды вследствие воздействия различных неблагоприятных факторов на речную систему. Задача решается с использованием ЭВМ. В вычислительную машину вводятся данные по конкретным рекам:

- гидрологические характеристики;
- источники загрязнения, их расположение и мощность;
- данные об изъятии части стока;
- предельно допустимые концентрации по разным игредиентам;
- фоновые показатели.

Для расчета трансформации качества воды применяются математические зависимости типа: [1]

$$S = \frac{S_{ст} q}{H\sqrt{\pi v D_y x}} \exp\left(-k_1 \frac{x}{v}\right), \qquad (1)$$

где S - макс. концентрация веществ загрязнения;
H, v - глубина и скорость течения реки;
x - расстояние от источника загрязнения;
D_y - коэффициент смешения;
$S_{ст}, q$ - концентрация и расход веществ загрязнения;
k_1 - коэффициент окисления органического вещества.

Наиболее распространенной характеристикой загрязнения является $БПК_5$ и она принята расчетной.

Teaduslik Raamatukogu ENSV TA TALLINN АН ЭССР Научная библиотека

При помощи ЭВМ можно оперативно получить ответ на следующие интересующие нас вопросы:

- показатели качества воды в разных створах реки и при разных расходах воды в реке;
- оценка необходимой степени очистки для различных источников загрязнения с учетом обеспечения ПДК в реке;
- оценка минимальных остаточных расходов в реке для соблюдения нормативных показателей.

Любая принятая модель есть упрощение, и введенные исходные данные имеют определенную погрешность. Поэтому целесообразно расчетные данные как можно полнее сопоставить с натурными. Этой цели могут служить автоматические станции контроля качества воды.

Первой рекой, по которой есть довольно полная информация в памяти нашей ЭВМ является река Кейла.

В июне 1988 года мы проводили натурные исследования показателей качества воды в двух створах на расстоянии в 15 км и недалеко от устья реки. Взяты были пробы с последующим анализом и установлена автоматическая станция "AQUAMER" польского производства.

Одновременные, с учетом пробега, $БПК_5$ в двух створах позволяют нам принять в расчетах экспериментальный коэффициент K_1.

К сожалению, автоматическая станция не позволяет оценить $БПК_5$ и приходится применять косвенные оценки. Значение $БПК_5$ коррелируется с показателями, оцениваемыми при помощи автоматической станции: электропроводностью, растворенным кислородом, концентрацией сульфидов, цветом, pH, температурой, взвешенными веществами.

Следует найти регрессионные уравнения, позволяющие оценить величину $БПК_5$ по показателям автоматических станций. Для этого нужны длинные ряды наблюдений. Для реки Кейла такого ряда нет, но есть для близкой по характеру реки Ягала. По примеру Ягала составлено уравнение регрессии:

$$\Psi_1 = -0{,}2x_1 + 0{,}4x_2 + 0{,}03x_3 - 0{,}4x_4 + 0{,}1x_5, \qquad (2)$$

где Ψ_1 – $БПК_5$;

x_1 – растворенный кислород;
x_2 – сульфиды;
x_3 – цвет;
x_4 – pH;
x_5 – t°.

Связь между вышеприведенными показателями и электропроводностью требует дальнейших исследований.

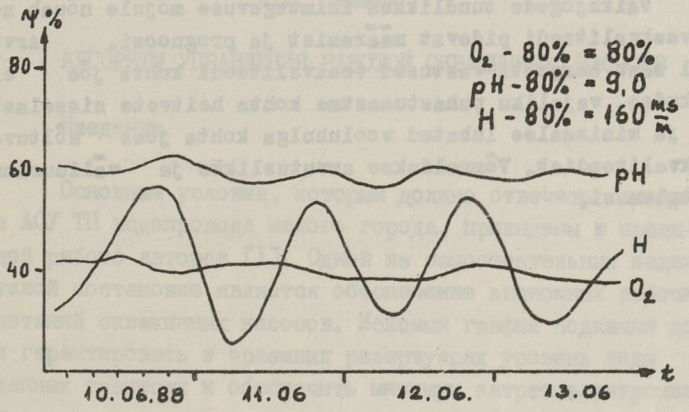

Рис. 1. Характер изменения электропроводности, pH и O_2 в створе Кейла–Йоа, измеренные автоматической станцией "AQUAMER".

В результате проведенных натурных исследований мы можем сделать следующие основные выводы:

I. Данные о поступлении веществ загрязнения занижены, расчетные концентрации ингредиентов ниже действительных.

2. Поступление веществ загрязнения имеет во многих случаях ярко выраженный нестационарный характер (см. рис. I). Здесь надо применять и нестационарные модели трансформации веществ загрязнений.

Литература

I. Паальль Л.Л. Инженерные методы расчета формирования качества воды водотоков. Таллинн, 1976.

L. Paal, V. Viies, V. Suurkask

Veekvaliteedi operatiivne hindamine

Kokkuvõte

Väikejõgede tundlikkus inimtegevuse mõjule nõuab nende veekvaliteedi pidevat määramist ja prognoosi. Arvuti abil saab kergesti vastused veekvaliteedi kohta jõe eri lõikudes, vajaliku puhastusastme kohta heitvete sisselaskudel ja minimaalse lubatud vooluhulga kohta jões sõltuvalt veekvaliteedist. Võrreldakse arvutuslikke ja väliuurimuste tulemusi.

L. Paal, V. Viies, V. Suurkask

Efficient Estimation of Water Quality

Abstract

Small rivers are very sensitive to human activity. Therefore efficient water quality estimation and prognosis is important. The computer techniques is used. One can easily have an information about water quality in different points of river, minimal allowed flow and required rate of waste purification.

№ 686

TALLINNA POLÜTEHNILISE INSTITUUDI TOIMETISED

ТРУДЫ ТАЛЛИННСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

УДК 532.54

Я.Я. Керу, Т.А. Коппель, Х.Н. Педак,
А.Ю. Тийман

АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ РАБОТОЙ СКВАЖИННЫХ НАСОСОВ

Введение

Основные условия, которым должно отвечать внедрение АСУ ТП водопровода малого города, приведены в предыдущей работе авторов [1]. Одной из самостоятельных задач в такой постановке является обеспечение экономных рабочих сочетаний скважинных насосов. Искомый график подкачки должен гарантировать в приемных резервуарах уровень воды в заданных границах и обеспечить минимум затрат электроэнергии.

Рассчитанные графики подачи и их реализующие рабочие сочетания насосов, являются рекомендуемыми, позволяя диспетчеру водопроводной сети принять решения, обоснованные как с точки зрения электроэнергии, так и качества воды.

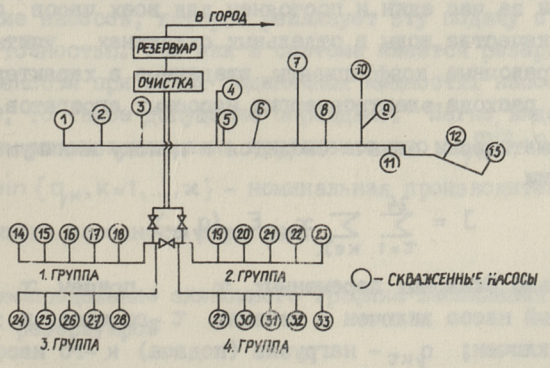

Рис. 1. Иллюстративное расположение скважинных насосов малого города.

Иллюстрированный вариант расположения скважинных насосов малого города приведен на рис. I.

Насосы можно сгруппировать. Все насосные агрегаты (НА) обеспечены микропроцессорной техникой для управления сбором информации, а также для управления исполнительными механизмами (включение - и выключение насосов к т.п.) и защитной автоматикой.

В следующих частях статьи рассмотрены основные понятия и описание алгоритмов, которые могут быть основой для разработки программного обеспечения управления работой скважинных насосов малого города.

I. Постановка задачи об определении экономного суточного графика работы скважинных насосов

Рассматриваемая задача заключается в определении наиболее экономных рабочих сочетаний скважинных насосов при заданном часовом графике суточного водопотребления. Искомые сочетания насосов должны обеспечивать в приемных резервуарах такой уровень воды, который не выходил бы из определенных границ, обусловленных противопожарным запасом и суммарным регулирующим объемом резервуаров.

Предполагается, что наименьший интервал коммутации насосных агрегатов равен одному часу, а тариф стоимости электроэнергии за час один и постоянен для всех часов суток. Различия качества воды в отдельных скважинах учитываются через поправочные коэффициенты, введенные в характеристики удельного расхода электроэнергии насосных агрегатов.

Математически задача сводится к поиску минимума целевой функции

$$J = \sum_{\tau=1}^{24} \sum_{k \in \mathcal{K}} x_{k\tau} E_{k\tau}(q_{k\tau}) \qquad (I)$$

относительно бинарных переменных $x_{k\tau}$, причем $x_{k\tau} = I$, если k-ый насос включен в течение τ-го часа, и $x_{k\tau} = 0$, если не включен; $q_{k\tau}$ - нагрузка (подача) k-го насоса во τ-ом часу; $E_{k\tau}(q_{k\tau})$ - электроэнергия, расходуемая k-ым насосом при нагрузке $q_{k\tau}$; $\mathcal{K}$ - множество допустимых агрегатов в данные сутки.

Минимизация целевой функции (I) представляет собой задачу комбинаторной оптимизации с количеством неизвестных $24 \cdot \varkappa$, где $\varkappa = |K|$. Ее решение требовало бы в наиболее неблагоприятном случае перебора всех допустимых сочетаний насосов, расчета для каждого отдельного сочетания распределения нагрузки между отдельными насосами, а также суммарного расхода электроэнергии.

Поскольку решение столь трудоемкой задачи в рамках системы диспетчерского управления нереально, следует искать возможность ее замены существенно простой задачей, решение которой, с практической точки зрения, было бы достаточно близко к оптимальному.

Разобьем рассматриваемую задачу на две последовательно решаемые подзадачи:

I) определение наиболее экономного графика подачи воды в резервуары;

2) поиск сочетания скважинных насосов, обеспечивающего реализацию этого графика с наименьшим расходом электроэнергии.

Основное допущение, вводимое при такой декомпозиции, заключается в том, что первая подзадача решается без учета каких-либо ограничений на выбор рабочих сочетаний насосов. В частности, предполагается, что для любой требуемой среднечасовой подачи (т.е. ординаты наиболее экономного часового графика подачи воды в резервуары) найдется такое сочетание насосов, которое реализует эту подачу с достаточной точностью. Так как в системе имеется резерв производительности при малых единичных мощностях насосных агрегатов, то такое допущение оправдано. Легко видеть, что точность реализации равна приблизительно $q_{\kappa}^{min}/2$, где $q_{\kappa}^{min} = \min\{q_{\kappa}, \kappa=1,\dots,\varkappa\}$ – номинальная производительность наименьшего насосного агрегата.

2. Определение экономного графика заполнения резервуаров

Введем следующие обозначения для i-го суточного периода планирования работы насосов:

τ – номер часового интервала суточного периода планирования, $\tau \in [1, 24]$;

$\hat{T}_{i\tau}$ – прогноз водопотребления из резервуара в час τ ;

$T_{i\tau}$ – фактическое (измеренное) водопотребление в час τ;

$\hat{P}_{i\tau}$ – планируемая суммарная подача насосов в час τ;

$P_{i\tau}$ – фактическая общая подача насосов в час τ ;

$W_i(\tau)$ – фактическое (измеренное) количество воды в резервуарах к концу τ-го часа;

$V_i(\tau)$ – планируемое количество воды в резервуарах к концу τ-го часа.

Отметим, что начало суточного периода планирования, как правило, не совпадает с началом астрономических суток.

Пусть остаток воды в резервуарах к концу μ-го часа i-х суток равен $W_i(\mu)$, а его желаемое значение к концу суток зафиксировано и равно V°. Соотношение, связывающее требуемую интегральную подачу насосов на интервале $\tau \in [\mu+1, 24]$ с начальным остатком и прогнозом интегрального водопотребления, имеет вид

$$W_i(\mu) - \sum_{\tau=\mu+1}^{24} \hat{T}_{i\tau} + \sum_{\tau=\mu+1}^{24} P_{i\tau} = V^\circ, \qquad (2)$$

откуда для интегральной подачи получаем

$$\sum_{\tau=\mu+1}^{24} \hat{P}_{i\tau} = V^\circ - W_i(\mu) + \sum_{\tau=\mu+1}^{24} \hat{T}_{i\tau}. \qquad (3)$$

В том случае, когда работу насосов планируют на весь суточный период, $\mu = 0$, $\tau \in [1, 24]$ и интегральная подача насосов равна

$$\sum_{\tau=1}^{24} \hat{P}_{i\tau} = V^\circ - W_i(0) + \sum_{i=1}^{24} \hat{T}_{i\tau},$$

где $W_i(0) = W_{i-1}(24)$.

Следует отметить, что поскольку производительность скважинных насосов не поддается плавному регулированию, то их фактическая суммарная подача, а следовательно, и фактический остаток воды в резервуарах будет отличаться от

запланированного. Вероятность такого расхождения особенно велика на стадии внедрения диспетчерской системы управления, характеризуемой отсутствием достоверного прогноза часового водопотребления.

Исходя из требуемой подачи воды $\hat{P}_i = \sum_{\tau=\mu+1}^{24} \hat{P}_{i\tau}$,

определим наиболее экономный график заполнения резервуаров на предстоящие $24-\mu$ часов при условии, что

$$\bar{V}_{min} \le V_i(\tau) \le \bar{V}_{max}, \ \forall \tau \in [\mu+1, 24]. \qquad (4)$$

В интересах страховки противопожарного запаса воды $\bar{V}_{tt}$ на случай неточного прогнозирования часового потребления целесообразно принять $\bar{V}_{min} = \beta V_{tt}$, $\beta \ge 1$. Обоснованное значение коэффициента β можно получить лишь после окончания опытного внедрения системы. Верхняя граница остатка воды определяется соотношением $\bar{V}_{max} = \beta \bar{V}_{tt} + \bar{V}_r$, где $\bar{V}_r$ - известный общий регулирующий объем резервуаров.

Известно, что с точки зрения энергопотерь в трубопроводах, наиболее экономной является равномерная подача воды в резервуары. То же справедливо и относительно суммарных энергозатрат при условии, что такая подача не влечет за собой дополнительных энергозатрат из-за работы насосных агрегатов в диапазоне нагрузок с малым КПД. В данном случае предположение о выполнении этих условий оправдано, т.к. каждый отдельный насосный агрегат играет достаточно маленькую роль и, кроме того, имеется их достаточный резерв. Поэтому в дальнейшем предполагается, что для реализации требуемой подачи имеется по крайней мере одно сочетание насосов, удовлетворяющее данному условию, причем здесь может идти речь лишь о реализации с некоторой точностью, указанной в п. I.

Рассмотрим два возможных случая

I. Регулирующий объем резервуаров достаточен для реализации равномерной подачи.

Для проверки допустимости использования равномерной подачи и работы насосов на временном интервале $\tau \in [\mu+1, 24]$, с часовой подачей

$$\hat{P}_{i\tau} = \hat{P}_i/(24-\mu), \quad \forall \tau \in [\mu+1, 24]$$

следует выписать ожидаемые остатки воды в резервуарах $V_i(\tau)$ по рекуррентной формуле:

$$V_i(\tau) = V_i(\tau-1) + \hat{P}_i/(24-\mu) - \hat{T}_{i\tau}, \qquad (5)$$

где $V_i(\mu) = W_i(\mu)$.

Если для вычисленных таким образом остатков выполняется неравенство (3), на всем интервале планирования, т.е. $\tau \in [\mu+1, 24]$, то равномерная подача является реализуемой (см. рис. 2, график 2).

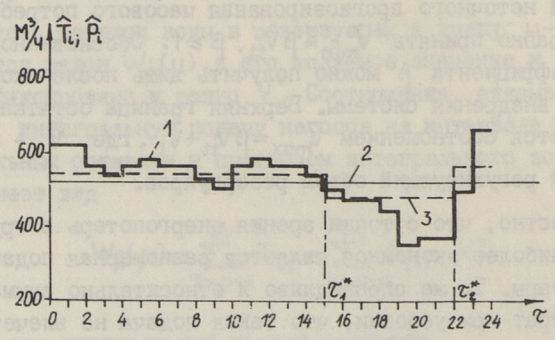

Рис. 2. Графики водопотребления и подачи воды (1-часовой график суточного водопотребления; 2 - график равномерной подачи воды; 3 - скорректированный экономный график подачи воды).

2. Регулирующий объем резервуаров не допускает равномерной подачи воды.

Если неравенство (4) не выполняется для какого-то аргумента $\tau \in [\mu+1, 24]$, то равномерная подача не реализуема. В этом случае надо найти минимальные необходимые поправки $\Delta\hat{P}_{i\tau}$ к графику равномерной подачи с ординатой $\hat{P}_{i\tau}/(24-\mu)$, выполняя требование, чтобы ожидаемые остатки, вычисленные по формуле (5), удовлетворяли неравенству (4). Приведем один простой способ определения поправок.

Так как равномерную подачу реализовать невозможно, то область определения функции $V_i(\tau)$ должна иметь по меньшей мере хотя бы одну "недопустимую" подобласть, в которой

либо $V_i(\tau) < \bar{V}_{min}$ (дефицит остатка), либо $V_i(\tau) > \bar{V}_{min} + \bar{V}_n$ (излишек остатка). Начиная с первой такой подобласти (относительно возрастания аргумента) зафиксируем в нем экстремум с наименьшим аргументом. Обозначим это значение через τ^*, а соответствующий ему остаток - $V(\tau^*)$. Избыток или дефицит воды в конце τ^*-го часа равен:

$$\Delta V(\tau^*) = \begin{cases} V(\tau^*) - \bar{V}_{min}, & \text{если } V(\tau^*) < \bar{V}_{min} \\ V(\tau^*) - (\bar{V}_{min} + \bar{V}_2), & \text{если } V(\tau^*) > \bar{V}_{min} + \bar{V}_2. \end{cases}$$

Нетрудно заметить, что $\Delta V(\tau^*)$ можно устранить, если подачу в интервале $\tau \in [\mu+1, \tau^*]$ исправить на величину

$$\Delta \hat{P}_{i\tau} = - \Delta V(\tau^*)/(\tau^* - \mu).$$

Так как интегральная подача воды на всем интервале планирования должна при этом остаться неизменной, то для аргументов $\tau \in [\tau^*+1, 24]$ вводится поправка

$$\Delta \hat{P}_{i\tau} = \Delta V(\tau^*)/(24 - \tau^*).$$

Используя скорректированный график подачи с ординатами $\hat{P}'_{i\tau} = \hat{P}_{i\tau} + \Delta \hat{P}_{i\tau}$, вычислим новую функцию остатка. Если неравенство (4) для нее все еще не выполняется (в результате поправки в области определения функции $V_i(\tau)$ могут появиться новые недопустимые области при $\tau > \tau^*$), то аналогично вышесказанному следует найти поправки подачи для $\tau \in [\tau^*+1, 24]$.

На рис. 2 и 3 приведен пример, где наиболее экономный график подачи (3) для заданной кривой водопотребления (I) достигается двумя шагами корректировки графика равномерной подачи (2).

Следует отметить, что приведенный алгоритм, не гарантирует экономной подачи в тех случаях, когда функция $V(\tau)$ имеет несколько смежных отнотипных областей недопустимых значений остатка, так что при $\tau_2^* > \tau_1^*$, $V_i(\tau_2^*) < V_i(\tau_1^*)$ для областей дефицита, или $V_i(\tau_2^*) > V_i(\tau_1^*)$ для областей избытка. В таких случаях требуется дополнительное "сглаживание" полученного графика подачи по методу взвешенного среднего.

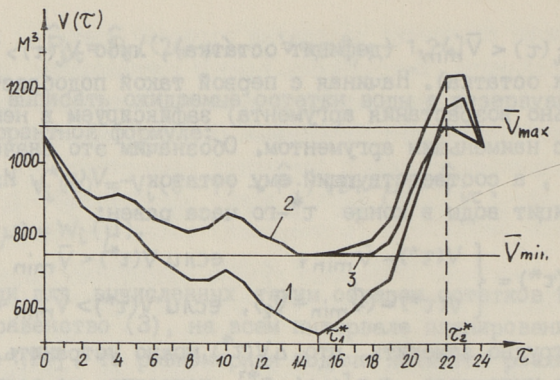

Рис. 3. Функция остатка (1 – для равномерного графика подачи воды, 2 – после ввода поправки для устранения минимума при аргументе τ_1^*; 3 – после ввода поправки для устранения максимума при аргументе τ_2^*).

3. Нахождение экономных сочетаний насосных агрегатов

После нахождения графика подачи надо определить наиболее экономные сочетания для реализации ν разных ординат $\hat{P}_n$, $n=1,\dots,\nu$ (индекс i в интересах простоты опущен) графика подачи. Это проблема сводится к минимизации ν целевых функций

$$J_n = \sum_{k\in K} x_{kn} E_{kn}(q_{kn}), \quad n = 1,\dots,\nu \tag{6}$$

при ограничениях

$$\hat{P}_n - \Delta Q \leq \sum_{k\in K} (q_{kn}) \leq \hat{P}_n + \Delta Q. \tag{7}$$

Чтобы избежать ситуаций, где подачу $\hat{P}_n$ невозможно реализовать ни одним из сочетаний НА, обоснованно задать

$$\Delta Q = q^+_{min} / 2, \quad q^+_{min} = \min\{q^+_k \mid k\in K\}, \tag{8}$$

где q^+_k – верхняя граница интервала нагрузки k-го насоса, определяемая из эксплуатационных данных его работы в разных сочетаниях.

Таким образом, поставленную задачу можно, в принципе, решать в два этапа: сперва находятся допустимые сочетания,

удовлетворяющие ограничению (7), а затем выбирается из них наиболее экономное. Несмотря на внешнюю простоту, данный алгоритм решения, учитывая малые вычислительные мощности, является чрезмерно трудоемким. Так например, образование множества допустимых сочетаний требует оценки распределения нагрузок между насосами для всех тех сочетаний, чья подача либо явно не уступает требуемой, либо явно не превосходит ее. Для получения же такой оценки надо выполнить по крайней мере приближенный гидравлический расчет сети подачи с учетом действительных рабочих характеристик НА.

С учетом всего вышесказанного предлагается следующий (упрощенный) подход к проблеме выбора рабочих сочетаний

I. Статистическим анализом данных суточного водопотребления устанавливаются вероятностные пределы вариации ординат графика подачи

$$\hat{P}^{-} \leq \hat{P}_n \leq \hat{P}^{+}.$$

2. Определяются классы условно-эквивалентных НА на интервале $[\hat{P}^{-}, \hat{P}^{+}]$. Цель их образования - сокращение числа сочетаний в том естественном предположении, что среди НА найдутся взаимозаменяемые.

Это позволяет рассматривать вместо конкретных фактических сочетаний их условные классы. В один класс в таком случае попадут прежде всего однотипные, расположенные на небольшом расстоянии друг от друга НА, установленные на скважинах с близкими отметками уровня воды. Поскольку взаимозаменяемость на практике не может быть абсолютной, то предварительно должны задаваться границы, определяющие допустимые вариации в распределении нагрузок и в суммарном расходе электроэнергии. Это приводит к мысли о возможности использования кластерного анализа [3] при определении классов условно-эквивалентных НА.

Разумеется, состав этих классов весьма постоянен и не требует частого пересмотра. Пересмотр необходим, например, после замены НА, а также в случае существенных изменений отметок уровня воды в скважинах.

3. Определяется множество допустимых условных сочетаний, а также соответствующие им энергозатраты на всем интервале вероятностной подачи $[\hat{P}^{-}, -\hat{P}^{+}]$. Это есть множество

$$\bar{C} = \{\ell \mid \hat{P}^- \le q_\ell \le \hat{P}^+\} \subset C,$$

где C - множество всех условных сочетаний,

q_ℓ - суммарная подача ℓ-го сочетания, $\ell = 1,\dots,\eta$,

$\eta = |C|$.

Несмотря на резкое уменьшение величины η в результате перехода к условно-эквивалентным классам, оно все же велико. Так, при 8 классах эквивалентности с 4-мя НА в каждом, число одних только m-сочетаний, $m = 12$, составляет 25 872. Поэтому целесообразным является решение данной задачи вне диспетчерской системы управления, тем более, что в пересчете результатов потребность возникает весьма редко.

4. Для реализации суммарных подач $\hat{P}_n$, $n = 1,\dots,\nu$, выделяется множество допустимых условных сочетаний. Сначала выделяется множество

$$\bar{C}_n = \{\ell_n \mid \bar{P}_n - \Delta Q \le q_{\ell_n} \le \hat{P}_n + \Delta Q\} \subset C.$$

Затем из $\bar{C}_n$ исключаются:

- сочетания, не позволяющие включение всех тех НА, для которых превышено максимально допустимое время простоя;

- сочетания, которые не могут быть реализованы без использования НА либо уже остановленных, либо останавливаемых для ремонта в предстоящий интервал планирования.

Данные о таких НА должны содержаться в базе данных диспетчерского управления.

Далее остается выбрать из оставшихся сочетаний наиболее экономное, если такое имеется, и подставить в него конкретные НА. В интересах сокращения излишних включений - выключений следует выполнить подстановку таким образом, чтобы в формируемом рабочем сочетании сохранялось максимальное число уже включенных НА. Исключение составляют те НА, которые установлены на скважинах с низкой оценкой качества воды. Такие НА подлежат устранению из рабочего сочетания при первой возможности.

Следует отметить, что минимизация затрат на коммутацию НА и очистку воды может рассматриваться и в качестве самостоятельной дополнительной цели. Такая постановка, ра-

зумеется, влечет за собой необходимость оценки этих затрат и приводит к усложнению целевых функций (6). Условные сочетания, выбранные вышеописанным образом, могут при этом оказаться не лучшим базисом для поиска рабочего сочетания.

Литература

I. Кару Я.Я., Коппель Т.А., Сарв Л.Э., Тийман А.Ю. Разработка АСУ ТП водопровода небольшого города // Тр. Таллиннск. политехн. ин-та. 1988. № 661. С. 16-24

2. Евдокимов А.Г., Тевяшев А.Д. Оперативное управление потокораспределением в инженерных сетях. Харьков: Вища школа, 1980.

3. Классификация и кластер /Под ред. Дж. Ван Райдена. М., 1980.

J. Karu, T. Koppel, H. Pedak, A. Tiiman

Puurkaevupumpade juhtimise algoritm

Kokkuvõte

Artiklis analüüsitakse puurkaevupumpade optimaalse tööskeemi määramist sõltuvalt vee taseme muutusest reservuaarides. Töö tulemusena on leitud puurkaevupumpade ökonoomseim töögraafik.

J. Karu, T. Koppel, H. Pedak, A. Tiiman

An Algorithm for Operating Bore-well Pumps

Abstract

The optimum working scheme for the bore-well pumps depending on the change of the water level in the reservoirs has been dealt with. An economical working algorithm for the pumps has been determined.

№ 686

TALLINNA POLÜTEHNILISE INSTITUUDI TOIMETISED

ТРУДЫ ТАЛЛИННСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

УДК 532.517

А.А. Айтсам, Э.Н. Даниель, Л.Э. Сарв

ИЗМЕНЕНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ ПОСТОЯННОМ ЗАМЕДЛЕНИИ ТЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТИ В ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ТРУБАХ

Во многих работах [1, 2] показано, что в нестационарном потоке жидкости касательные напряжения на стенке трубы отличаются от своих квазистационарных значений. Во многих случаях в теоретических и экспериментальных работах, профили скорости не доведены до стенки и так же не определяются касательные напряжения и коэффициенты гидравлических потерь. Эти данные могли бы дать ценную информацию об особенностях структуры нестационарных потоков [3].

Так как в нестационарных течениях изменяется турбулентная структура, то необходимо включение в систему дифференциальных уравнений и величин, характеризующих структуру турбулентности [4].

Вместе с тем, многочисленные экспериментальные данные по исследованию структуры турбулентных потоков говорят о том, что структура этих течений при стационарных и нестационарных течениях совпадает в пристеночной области. Можно считать, что определяющую роль в формировании закономерностей турбулентных течений играет именно пристеночная область и эта закономерность принимается определяющей и для нестационарного движения жидкости. Но в то же время, имея в виду, что и при нестационарных замедленных течениях каскадный процесс передачи энергии от крупных вихрей к мелким вихрям приводит к изменениям скорости диссипаций, в том числе к потерям энергии, которые должны быть больше, чем в установившихся течениях и обусловлены не только процессами в пристеночной зоне.

Экспериментальное подтверждение характеристик при замедленных течениях может дать нам ценную информацию для решения практических задач.

В лаборатории гидравлики ТПИ были проведены экспериментальные исследования для определения коэффициента нестационарного поверхностного трения при разных замедлениях течения жидкости. Течение жидкости на протяжении всего процесса является турбулентным. Опытная установка, а также предварительные результаты одного режима приведены в работе [5].

Разные замедления течения жидкости в трубах двух диаметров (60 и 34 мм) были получены с помощью программно-управляемого клапана. Исследовались 5 разных режимов замедленного движения жидкости. Измерительный комплекс позволяет записывать и обрабатывать одновременно нестационрный расход жидкости Q и касательное напряжение на стенке $\tau_{он}$ при начальном давлении 0,1 МПа. Изменение расходов разных режимов в течение эксперимента в трубопроводе ∅ 60 мм приведены на рис. 1, закрытие клапана начинается со стационарного течения жидкости.

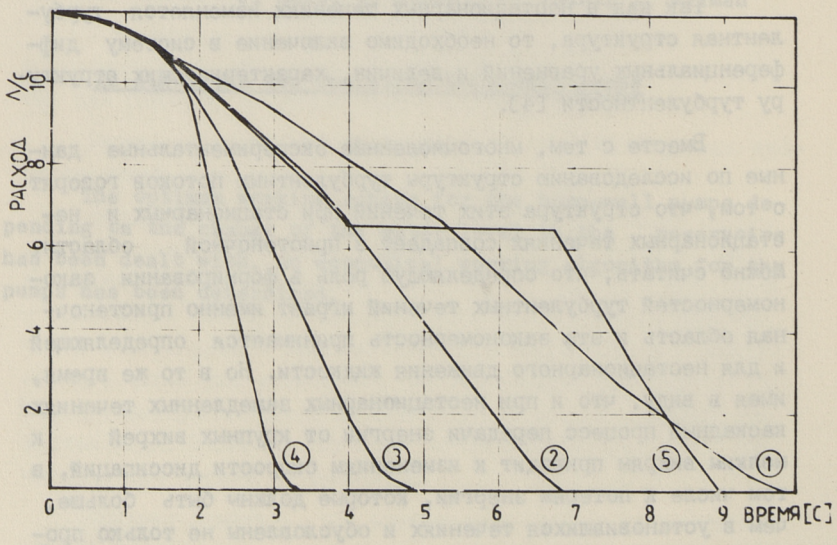

Рис. 1. Изменение расхода течения жидкости при разных режимах закрытия клапана в трубопроводе диаметром 60 мм.

На рис. 2, 3 приведены реализации изменения во времени расхода и (ансамблю из 30 опытов) нестационарного касательного напряжения для этих же режимов.

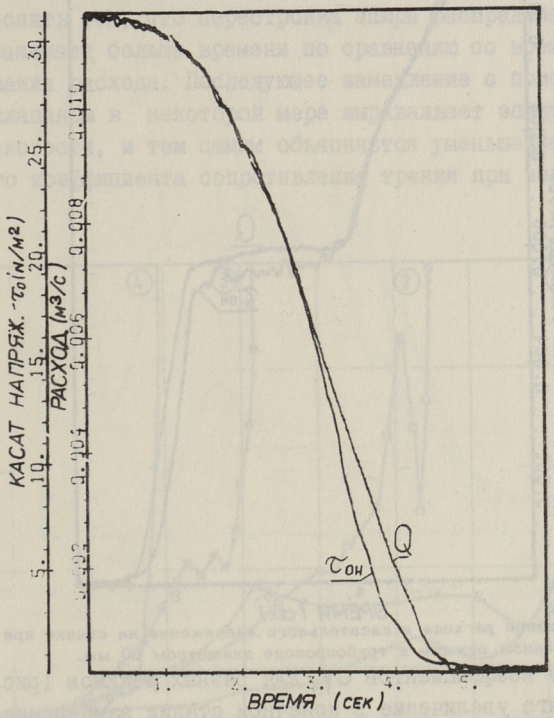

Рис. 2. Изменение касательного напряжения на стенке и нестационарного расхода при закрытии клапана в течение 8 с при диаметре трубопровода 60 мм ($-\frac{dv}{dt} = 0{,}82$ м/с^2).

Как видно, расход и касательное напряжение на стенке трубопровода изменяются одинаково. Только в конце замедления видно уменьшение касательного напряжения.

При переходном замедленном движении (рис. 3), где расход жидкости в середине эксперимента поддерживается постоянным в течение 3 секунд наблюдается уменьшение касательного напряжения при постоянном расходе, а дальнейшее закрытие клапана вызывает уменьшение касательного напряжения на стенке раньше, чем возникает уменьшение расхода жидкости.

При помощи полученных экспериментальных данных в работе вычислены для приведенных режимов коэффициенты неста-

ционарного поверхностного трения по формуле 2 в [5].

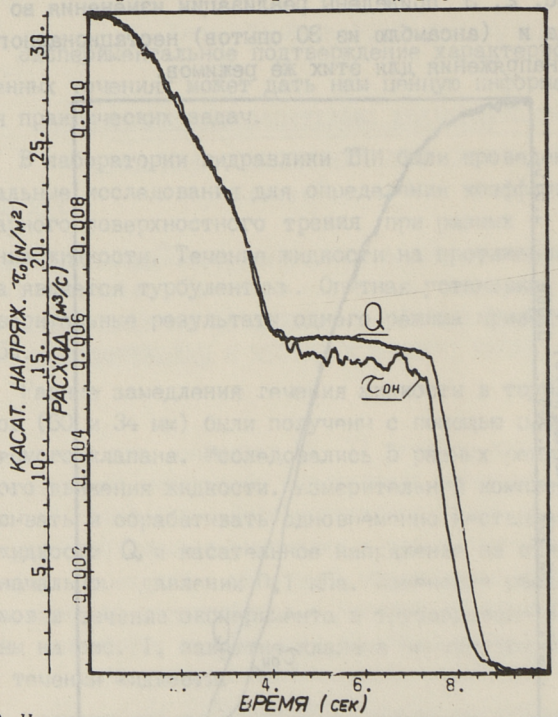

Рис. 3. Изменение расхода и касательного напряжения на стенке при переходном режиме в трубопроводе диаметром 60 мм.

Анализ коэффициентов C_{fH} для разных режимов (рис. 4) показывает его увеличение в конечной стадии замедления, вызванной резким торможением жидкости в пристенной области, ядро потока в то же время продолжает движение вперед. Для наглядности целесообразно произвести сравнение коэффициента C_{fH} с соответствующим квазистационарным коэффициентом поверхностного трения для разных режимов, как это сделано в [5]. Соответствующие данные, приведенные на рис. 5, показывают, что относительный коэффициент больше единицы во всех режимах замедления, исключая режим № 4, где происходит некоторое уменьшение относительного коэффициента поверхностного трения в начальной стадии с последовательным резким увеличением отношения. Из этих графиков можно заключить, что чем быстрее уменьшается расход, тем больше разница между нестационарным коэффициентом поверхностного трения с квазистационарным. Необходимо при этом отметить, что при переходном ре-

жиме (5) отношение $C_{fн}/C_{fкb}$ не доходит до единицы за 3,0 секунды периода постоянного значения расхода, что можно объяснить тем, что перестройка эпюры распределения скорости занимает больше времени по сравнению со временем регулирования расхода. Последующее замедление с помощью управления клапаном в некоторой мере выравнивает эпюру распределения скорости, и тем самым объясняется уменьшение относительного коэффициента сопротивления трения при переходном режиме.

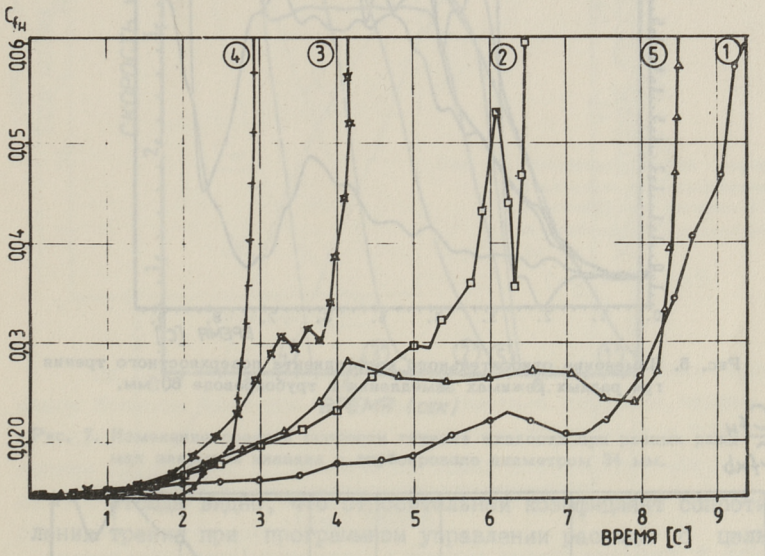

Рис. 4. Коэффициенты нестационарного поверхностного трения для разных режимов закрытия клапана в трубопроводе диаметром 60 мм.

Для определения влияния хода клапана при замедленных течениях была проведена серия опытов, имеющая целью определить коэффициент поверхностного трения при равномерном закрытии клапана, как это показано в [5]. При линейном законе перемещений клапана во времени образуется нелинейное изменение расхода в трубопроводе.

В соответствии с этим на рис. 6 приведены изменения относительного коэффициента поверхностного трения для двух режимов замедления: линейного перемещения штока клапана (○) и регулируемого по программе (□) с полным закрытием клапана в течение 8–10 секунд.

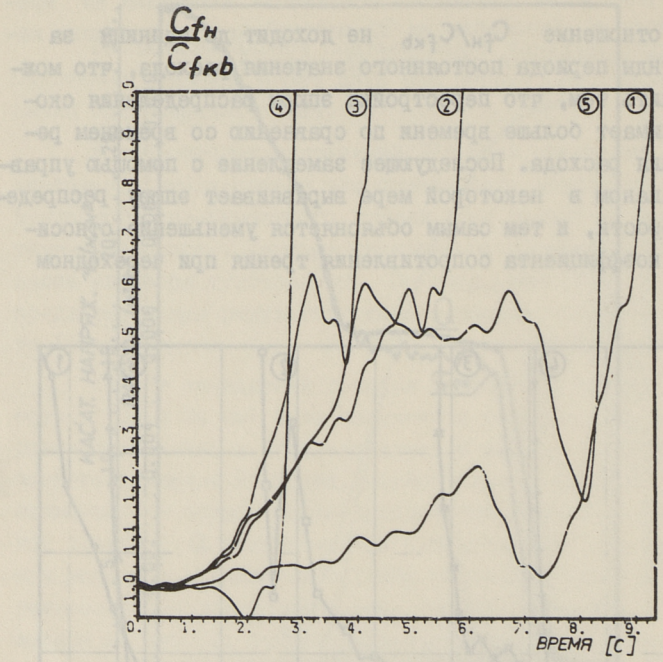

Рис. 5. Изменение относительного коэффициента поверхностного трения при разных режимах замедлении в трубопроводе 60 мм.

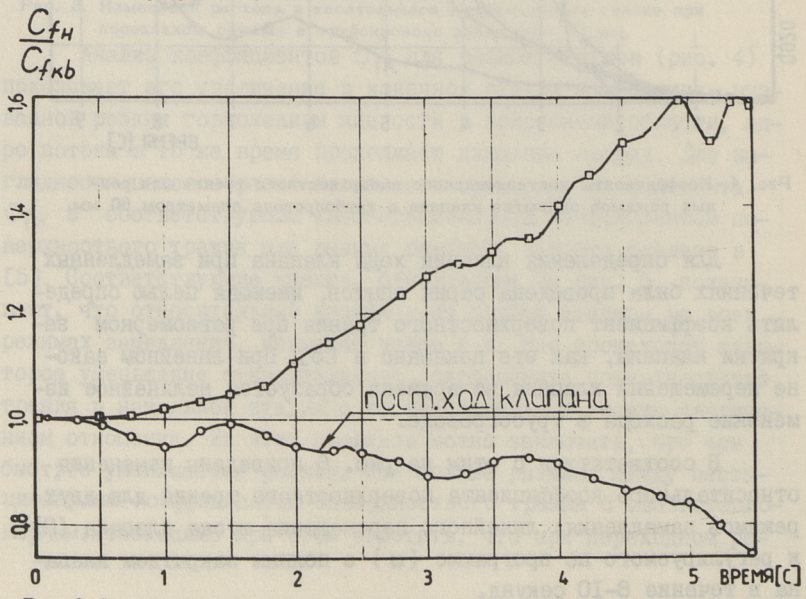

Рис. 6. Изменение относительного коэффициента поверхностного трения при регулируемом и постоянном ходе клапана в трубопроводе 60 мм.

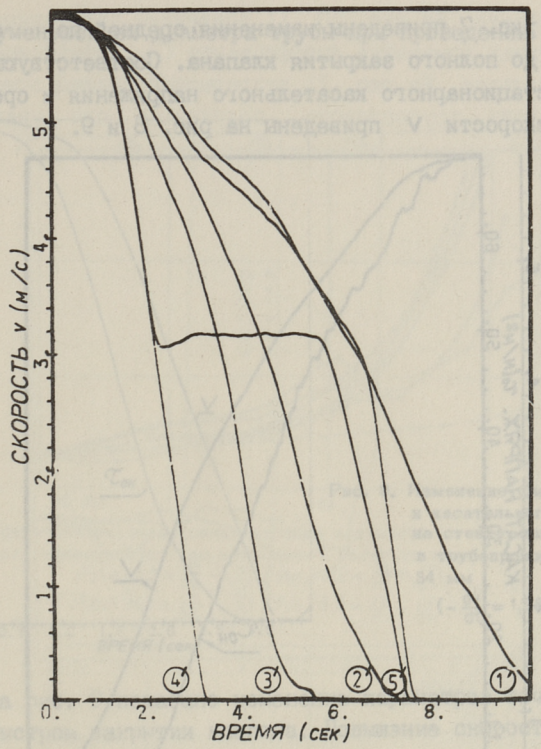

Рис. 7. Изменение средней скорости течения жидкости при разных режимах закрытия клапана в трубопроводе диаметром 34 мм.

Отсюда видно, что относительный коэффициент сопротивления трения при программном управлении расхода с целью линейного изменения мгновенной средней скорости всегда больше единицы. Эксперимент с постоянным ходом клапана и связаннсе с этим же нелинейное изменение средней скорости показывает, что относительный коэффициент сопротивления трения всегда меньше единицы.

Программа исследования замедленного течения включала также определения влияния масштабного эффекта на величину коэффициента поверхностного трения. Проведены серии экспериментов с трубой диаметром 34 мм, при этом опытная установка, а также измерительная секция и ее расположение остались неизменными. Эксперименты проводились при тех же самых начальных условиях, что и предыдущие серии, когда диаметр трубы был 60 мм.

На рис. 7 приведены изменения средней по сечению скорости до полного закрытия клапана. Соответствующие изменения нестационарного касательного напряжения и средней по сечению скорости V приведены на рис. 8 и 9.

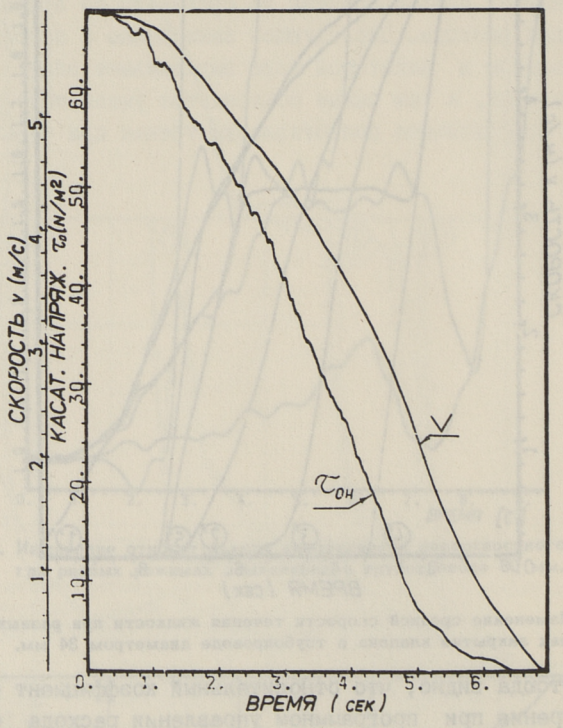

Рис. 8. Изменение средней скорости и касательного напряжения на стенке при замедленном режиме 2 (рис. 7) в трубопроводе диаметром 34 мм ($-\frac{dv}{dt} = 0{,}85$ м/с^2).

Сравнение полученных результатов с замедлениями при трубе диаметром 60 мм показывает, что уже в течение замедлений касательные напряжения на стенке ведут себя иначе, при этом видно, что расхождение между средней скоростью и касательными напряжениями увеличивается с увеличением замедления течения. В конечной стадии замедлений можно определить сходство изменения величины $\tau_{0н}$ во всех приведенных замедлениях течения жидкости в трубах с обоими диаметрами.

Такое значение обусловлено более равномерным распределением эпюры скоростей при закрытии клапана, и это свя-

зано с уменьшением диаметра трубы при проведении экспериментов.

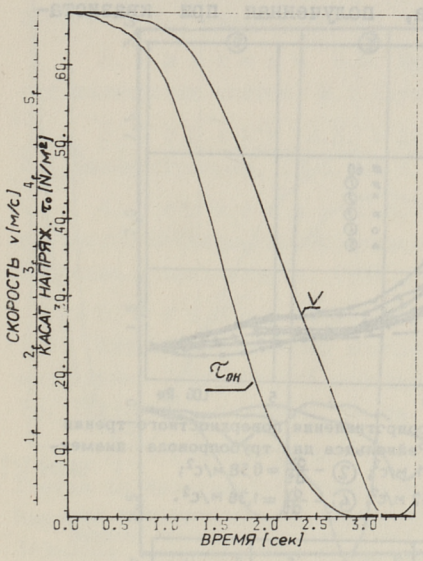

Рис. 9. Изменение средней скорости и касательного напряжения на стенке при режиме 4′ в трубопроводе диаметром 34 мм $(-\frac{dv}{dt} = 1{,}98\ м/с^2)$.

На рис. 9 показано изменение параметров течения при самом быстром закрытии клапана. Повышение скорости закрытия привело к возникновению гидравлического удара с появлением кавитаций. По реализации можно определить, что после полного закрытия клапана возникает в пределах 0,2 с обратное течение около стенки.

На основании полученных результатов изменения v и $\tau_{0н}$ для диаметра трубы 34 мм были вычислены коэффициенты поверхностного трения для рассматриваемых режимов. Приведенная на рис. II возможность увеличения и уменьшения касательного напряжения и тем самым относительного коэффициента поверхностного трения на стенке трубопровода при замедленных течениях отмечалась уже в [6].

Можно сказать, что при наших начальных условиях в замедленных течениях жидкости в трубе ∅ 34 мм коэффициенты $C_{fн}$ во всех режимах, исключая 4, меньше соответствующих при квазистационарном режиме. Опять же, как и при ∅ 60 мм, в конечной стадии замедлений возникает резкое увеличение коэффициента $C_{fн}$, связанное с торможением жидкости в при-

стенной области. На рис. 10, 11 приведены полученные при разных режимах изменение коэффициента $C_{fн}$ в зависимости от числа Рейнольдса. На рис. 11 непрерывной линией отмечена линия гладкого трубопровода, полученная при квазиста-

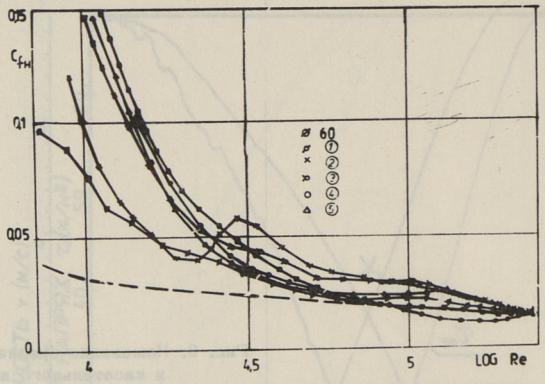

Рис. 10. Изменение коэффициента сопротивления поверхностного трения в зависимости от числа Рейнольдса для трубопровода диаметром 60 мм. ① $-\frac{dv}{dt}=0{,}41$ м/с²; ② $-\frac{dv}{dt}=0{,}58$ м/с²; ③ $-\frac{dv}{dt}=0{,}82$ м/с²; ④ $-\frac{dv}{dt}=1{,}36$ м/с².

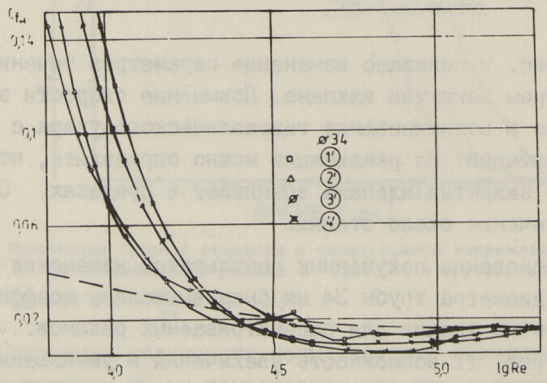

Рис. 11. Изменение коэффициента сопротивления поверхностного трения в зависимости от числа Рейнольдса для замедлений в трубопроводе диаметром 34 мм. ①' $-\frac{dv}{dt}=0{,}59$ м/с²; ②' $-\frac{dv}{dt}=0{,}85$ м/с²; ③' $-\frac{dv}{dt}=1{,}2$ м/с²; ④' $-\frac{dv}{dt}=1{,}98$ м/с².

ционарном приближении. Можно сказать, что имеется совпадение в изменении формы кривых с уменьшением числа Рейнольдса с 60 000. Относительный коэффициент поверхностного трения в трубе ⌀ 34 мм приведен на рис. 12.

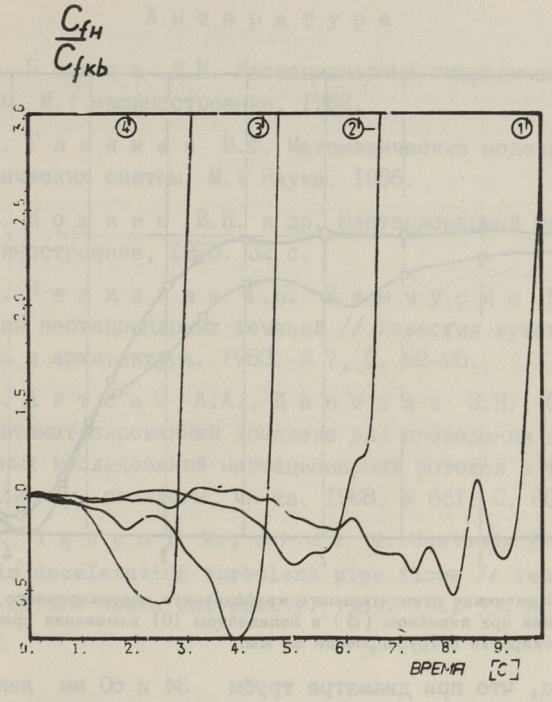

Рис. 12. Изменение относительного коэффициента поверхностного трения при разных замедлении в трубопроводе диаметром 34 мм.

Вызывают интерес изменения относительного коэффициента при режиме 4 и 4′ (рис. 5, I2), при обоих режимах в начальной стадии замедлений C_{fH}/C_{fKb} меньше единицы, затем скачкообразно увеличивается, при этом время увеличения C_{fH}/C_{fKb} при трубе диаметром 34 мм начинается гораздо позже, чем при большом диаметре, и в связи с этим приходим к выводу, что при трубе с большим диаметром можно создать режимы, при равномерном замедлении, дающие нам коэффициент сопротивления трения меньше соответствующих при квазистационарном течении.

В доказательство того, что коэффициент поверхностного трения зависит от перераспределения скоростей эпюры, можно привести рис. I3. Здесь рассматриваются два режима с нелинейным изменением средней скорости (○) и с линейным изменением средней скорости (□) в течение 5 с до полного закрытия клапана в трубе диаметром 34 мм. Можно сде-

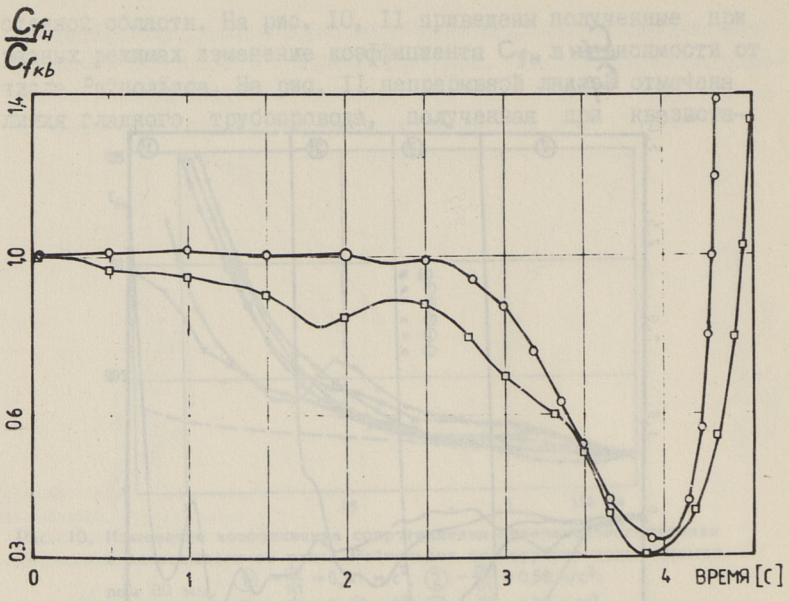

Рис. 13. Изменение относительного коэффициента поверхностного трения при линейном (□) и нелинейном (0) изменении средней скорости в трубопроводе 34 мм.

лать вывод, что при диаметре трубы 34 и 60 мм линейное изменение дает нам всегда коэффициент $C_{fн}$ меньше соответствующего при квазистационарном, и в таком случае совпадает с экспериментальными результатами, полученными другими авторами.

Рассматривая изменения касательных направлений и расхода при разных диаметрах трубопроводов можно предположить, что при замедлении в трубах относительно маленьких по диаметру пристенные слои потока быстрее реагируют на изменение продольного градиента давления, чем центральная зона, и в связи с этим приводят к резкому перестроению профиля скорости.

Если же инерционные силы небольшие, скорости в пристенной области меньше соответствующей квазистационарной.

При рассмотрении коэффициента $C_{fн}$ надо отметить, что в данном приближении не учитывается перестроение профиля скорости во времени, не учитываются те изменения процессов, которые происходят внутри течения жидкости.

Литература

I. Попов Д.Н. Нестационарные гидродинамические процессы. М.: Машиностроение, 1982.

2. Гликман Б.Ф. Математические модели пневмогидравлических систем. М.: Наука, 1986.

3. Кошкин В.К. и др. Нестационарный теплообмен. М.: Машиностроение, 1973. 32 с.

4. Мелконян Г.И. Панчурин Н.А. Вопросы теории нестационарных течений // Известия вузов. Строительство и архитектура. 1983. № 7, С. 92-95.

5. Айтсам А.А., Даниэль Э.Н., Сарв Л.Э. Автоматизированный комплекс для проведения экспериментальных исследований нестационарных потоков в трубе // Тр. Таллиннск. политехн. ин-та. 1988. № 661. С. 60-71.

6. Iguchi M., Ohmi M. Unsteady frictional losses in decelerating turbulent pipe flows // Technology Reports of the Osaka University. 1983. Vol. 33, N 1728. P. 349-358.

A. Aitsam, E. Daniel, L. Sarv

Lokaalsete suuruste muutus konstantse aeglustusega vedelike voolamisel silindrilistes torudes

Kokkuvõte

Artiklis vaadeldakse konstantse aeglustusega vedelike voolamist eri sulgemisrežiimidel. Kasutades mõõdetud suurusi, nagu nihkepinge seinal, vooluhulk ja rõhk viiel sulgemisrežiimil, arvutatakse vastavad takistustegurid toru läbimõõdule 34 ja 60 mm. Arvutused näitavad, et nihkepinge muutus seinal oleneb suurel määral aeglustuse suurusest. Märgitakse, et takistusteguri muutuse seaduspärasused voolamise aeglustusel on lineaarse keskkiiruse ja mittelineaarse keskkiiruse muutudes samas ajavahemikus erinevad.

A. Aitsam, E. Daniel, L. Sarv

Some Results of Constantly Decelerated Flow in Cylindrical Pipes

Abstract

In the present paper constantly decelerated flows with various deceleration constants are described. Wall shear stress, mean velocity and pressure in five experimental series are measured. Tubes of 34 and 60 mm diameter have been used in the research. Some computational results concerning friction factor are given.

№ 686

TALLINNA POLÜTEHNILISE INSTITUUDI TOIMETISED

ТРУДЫ ТАЛЛИННСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

УДК 532.542

А.А. Айтсам, Э.Н. Даниель, Л.Э. Сарв

О КОЭФФИЦИЕНТЕ ПОВЕРХНОСТНОГО ТРЕНИЯ ПРИ ЗАМЕДЛЕННЫХ ТЕЧЕНИЯХ

Пока нестационарные турбулентные течения решаются приближенными способами с использованием наряду с экспериментальными данными некоторой аналогии между ламинарными и турбулентными течениями. Зильке [1] приводит аналитическое уравнение для определения касательных напряжений в нестационарных замедленных течениях и является это функцией от среднего по сечению скорости. Это уравнение показывает, что коэффициент сопротивления трения зависит от истории изменения средней по сечению скорости, а также от ускорения течения.

Рассмотрим задачу с определением изменения относительного коэффициента местного сопротивления трения ламинарного течения при постоянных замедлениях течения. Определяем следующие величины:

$$t^{+} = \frac{\nu t}{R^2}$$ – безразмерное время

$$V = \frac{2}{R^2}\int_0^R U_x r\,dr$$ – средняя по сечению скорость.

Касательное напряжение определяется по зависимости:

$$\tau_0 = -\mu \left(\frac{\partial V}{\partial r}\right)_{r=R}.$$

Известно, что

$$\tau_0 = \lambda \rho V^2/8 \qquad (1)$$

и при ламинарном течении

$$C_{f_{kb.c}} = \lambda_{kb.c} = \frac{64}{Re}, \qquad (2)$$

где

$$Re = \frac{2VR}{\nu} \qquad (3)$$

В работе [I] определялось нестационарное касательное напряжение на стенке $\tau_{он}$ по следующей зависимости

$$\tau_{он} = \frac{4\mu}{R} V + \frac{2\mu}{R} \int_0^t W(x) \frac{dV(t-x)}{dt} dx . \qquad (4)$$

На основе этой формулы в работе [2] приводится уравнение для квазистационарного подхода

$$\tau_{сн} = \frac{\lambda_{кв.с} V^2}{8} + \frac{2\mu}{R} \int_0^t W(x) \frac{dV(t-x)}{dt} . \qquad (5)$$

Используя формулы (5) и (I), получаем в безразмерном виде коэффициент поверхностного трения:

$$C_{fн} = \frac{64}{Re} \left[1 + \frac{1}{2V} \int_c^{t^+} \frac{dV(t_1^+)}{dt_1^+} W(t^+ - t_1^+) dt_1^+ \right] \qquad (6)$$

и отношение

$$\frac{C_{fн}(t^+)}{C_{fкв.с}} = 1 + \frac{1}{2V} \int_0^{t^+} \frac{dV(t_1^+)}{dt_1^+} W(t - t_1^+) dt_1^- , \qquad (7)$$

где $$W = \sum_{k=1}^{\infty} e^{-z_k^2 t^+} \quad \text{и} \quad z_k - J_2(z) = 0 .$$

Имея в виду, что нами получены экспериментальные результаты изменения касательного напряжения на стенке при замедленных течениях при постоянной градиента замедлений, рассматриваемого в [2], определяем следующие величины:

$$\frac{dV}{dt^+} = -c \quad \text{и} \quad V = V_0 - ct^+$$

при этом формула (7) упрощается к виду:

$$\frac{C_{fн}(t^+)}{C_{fкв.с}} = 1 - \frac{c}{2(V_0 - ct^+)} z(t^+) \qquad (8)$$

или

$$\frac{C_{fн}(t)}{C_{fкв.с}} = 1 - \frac{\alpha}{2(1-\alpha t^+)} , \qquad (9)$$

где

$$z(t^+) = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{z_k^2} (1 - e^{-z_k^2 t^+})$$

и

$$\alpha = \frac{c}{V_0} = \frac{-\frac{dV}{dt^+}}{V} = -\frac{R^2}{\nu V_0} \frac{dV}{dt^+} .$$

Если $t^+ \leq 0{,}2$, тогда $z(t^+)$ можно определить

$$z(t^+) = 0{,}564\sqrt{t^+} - 1{,}25t^+ + 0{,}705t^+\sqrt{t^+}$$

при коротком промежутке времени может $z(t^+)$ определяться как

$$z(t^+) \cong 0{,}564\sqrt{t^+}$$

и

$$\frac{C_{fн}(t^+)}{C_{fкb.c}} = 1 - \frac{0{,}282\alpha}{1-\alpha t^+}\sqrt{t^+} \,. \qquad (10)$$

В работе [2] приведены экспериментальные результаты изменения расхода и касательного напряжения, полученные при нестационарных течениях с постоянными замедлениями.

В принципе формула (10) может решаться и в том случае, когда нет необходимости знать конкретный закон изменения средней скорости.

Используя полученные в результате экспериментов законы изменения средней, по сечению скорости были вычислены соотношения по зависимости (7).

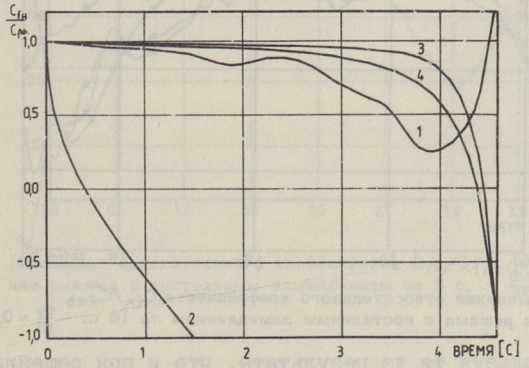

Рис. 1. Изменение относительного коэффициента поверхностного трения $C_{fн}/C_{fкb}$, полученное при использовании формул 7 и 12.

На рис. I кривой 2 приведен полученный результат расчета с использованием формулы 7, которая показывает, что использование аналогии нестационарных ламинарных течений с турбулентными, с учетом предыстории течения, не дает удовлетворительных результатов. Для сравнения кривая I получена непосредственно из экспериментов.

Однако при помощи квазистационарного подхода, как это сделано в [3] формулы (5) и (I) можно переписать:

$$\frac{C_{fн}}{C_{fkb.c}} = 1 + \frac{16\nu}{\lambda_{kb.c} R V^2} \int_0^t W(x) \frac{dV_м(t-x)}{dt} dx$$

и

$$C_{fkb} = \lambda_{kb.c} \frac{0{,}316}{Re^{0{,}25}}$$

для гладких труб.

Отсюда

$$\frac{C_{fн}}{C_{fkb.c}} = 1 + \frac{0{,}00322}{V^{1{,}75} \cdot R^{0{,}75}} \int_0^t W(x) \frac{dV_м(t-x)}{dt} . \qquad (II)$$

Обозначая в безразмерном виде и предполагая, что $\frac{dV}{dt^+} = -c$ и $V = V_0 - ct^+$, получаем

$$\frac{C_{fн}}{C_{fkb.c}} = 1 - \frac{0{,}00322\, c}{2(V_0 - ct^+)^{1{,}75} \cdot R^{0{,}75}} z(t^+) . \qquad (I2)$$

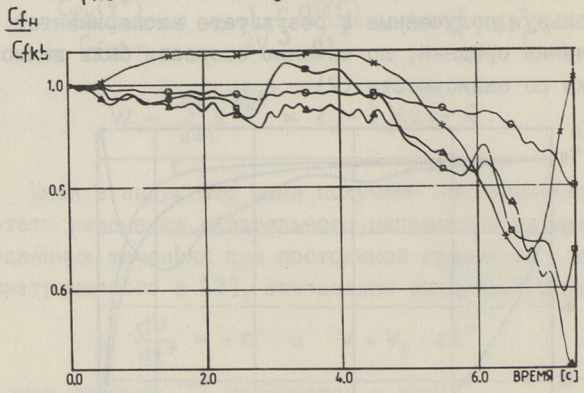

Рис. 2. Изменение относительного коэффициента $C_{fн}/C_{fkb}$ для режима с постоянным замедлением за 10 с. – $\frac{dv}{dt} = 0{,}59$ м/с^2.

Используя те же результаты, что и при решении формулы (7), вычислили относительный коэффициент поверхностного трения, приведенный на рис. I.

Отношение $\frac{C_{fн}(t^+)}{C_{fkb.c}}$, вычисленное при помощи формулы (I2), отмечено на рис. I, 3 и 4. Кривая 4 получена при подставлении экспериментальных данных в формулу (I2).

Во многих работах отмечается влияние нестационарности на коэффициент сопротивления трения [3].

На рис. 2–5 приведены результаты, полученные с помощью эмпирических формул Карстенса и Дейли с использовани-

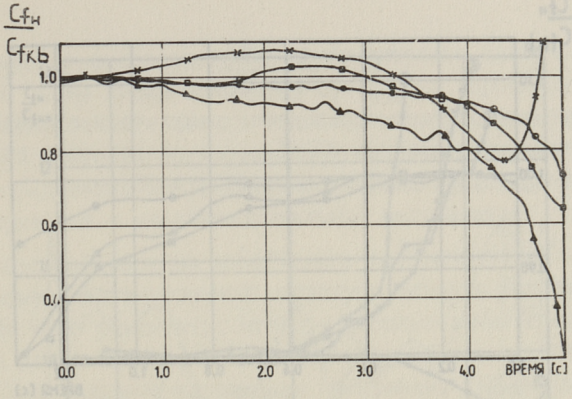

Рис. 3. Изменение относительного коэффициента $C_{fн}/C_{fкb}$ для режима с постоянным замедлением за 7 с. $-\frac{dv}{dt} = 0{,}85$ м/с^2.

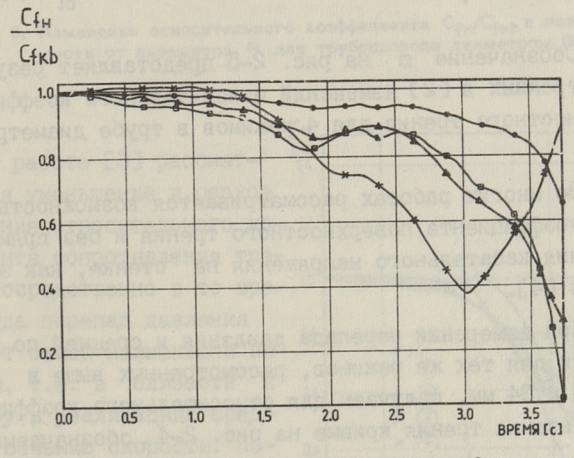

Рис. 4. Изменение относительного коэффициента $C_{fн}/C_{fкb}$ для режима с постоянным замедлением за 5 с. $-\frac{dv}{dt} = 1{,}16$ м/с^2.

ем в них при расчетах экспериментальных данных настоящей работы [2]. Формулы, по которым были вычислены отмеченные на рис. 2–5 относительные коэффициенты сопротивления трения [3], следующие:

$$\circ \quad \frac{\lambda_н}{\lambda_{кb}} = 1 + 0{,}2245 \frac{2D}{\lambda_{кb} \cdot c V^2} \frac{dV}{dt}$$

$$\triangle \quad \frac{\lambda_н}{\lambda_{кb}} = 1 + 0{,}62 \frac{2D}{\lambda_{кb} \cdot c V^2} \frac{dV}{dt} .$$

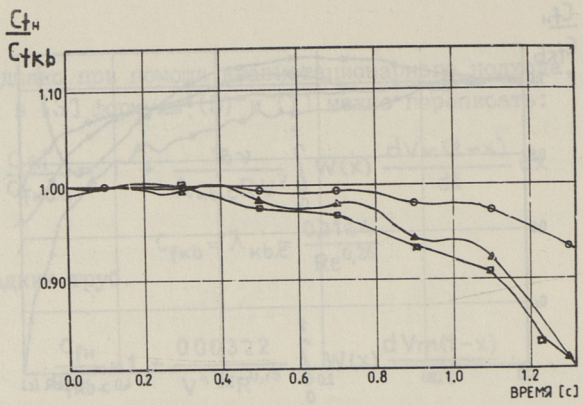

Рис. 5. Изменение относительного коэффициента $C_{fн}/C_{fkb}$ для режима с постоянным замедлением за 3 с. – $\frac{dv}{dt} = 1{,}98$ м/с^2.

Обозначение □ на рис. 2–5 представляет результаты рассмотренных в [2] изменений относительного коэффициента поверхностного трения для 4 режимов в трубе диаметром 34 мм.

Во многих работах рассматривается возможность получения коэффициента поверхностного трения и без прямого определения касательного напряжения на стенке, как это сделано в [4].

При измерении перепада давления и средней по сечению скорости для тех же режимов, рассмотренных выше в трубопроводе ⌀ 34 мм, получаем для относительного коэффициента сопротивления трения кривые на рис. 2–4 , обозначаемые × .

Полученные результаты показывают, что в начальной стадии замедлений при всех рассмотренных режимах замедленного течения все формулы дают удовлетворительные результаты. При этом наилучшие результаты можно получить, используя формулу Дейли.

При сравнении полученных выше результатов с относительным коэффициентом поверхностного трения, когда используется перепад давления, можно заметить, что увеличение коэффициента начинается гораздо раньше, чем это имеет место при использовании результатов изменения касательного напряжения на стенке.

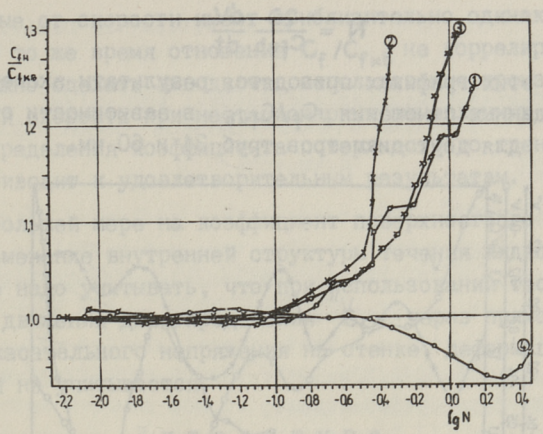

Рис. 6. Изменение относительного коэффициента $C_{fн}/C_{fкб}$ в зависимости от параметра N для трубопровода диаметром 60 мм.

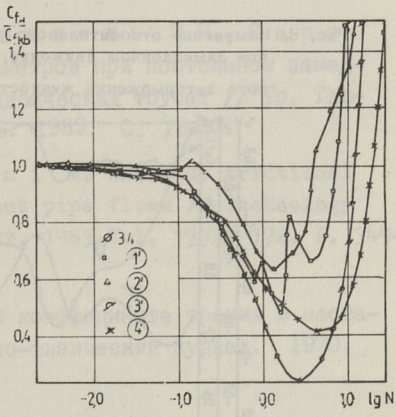

Рис. 7. Изменение относительного коэффициента $C_{fн}/C_{fкб}$ в зависимости от параметра N для трубопровода диаметром 34 мм.

В работе [3] рассматривается уменьшение и резкое увеличение относительного коэффициента сопротивления трения непосредственно в то время, когда перепад давления обладает самой наименьшей величиной, т.е. в близости к перегибу в реализациях средней по сечению скорости. Поскольку приведенные на рис. 2 – 5 результаты получены при постоянных замедлениях, то влияние перегиба на результаты не заметно, но в то же время налицо результаты, которые довольно хорошо согласуются с ранее опубликованными в [3].

Центральным вопросом исследования нестационарных течений является вопрос об "определяющей" параметра, описывающей нестационарное течение.

На рис. 6, 7 приведены изменения относительного коэффициента поверхностного трения в зависимости от параметра нестационарности, вычисляемого по формуле:

$$N = \frac{2D}{C_{fkb}} \frac{dV}{dt}$$

На этих графиках приводятся результаты экспериментальных данных отношения C_f/C_{fkb} в зависимости от параметра N для двух диаметров труб 34 и 60 мм.

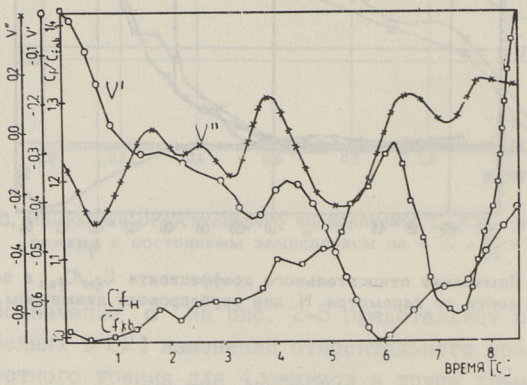

Рис. 8. Изменение относительного коэффициентов $C_{fн}/C_{fkb}$, V' и V'' при замедленном движении, в трубопроводе ø 60 мм до полного заторможения жидкости за 10 с. $-\frac{dv}{dt} = 0{,}41$ м/с^2.

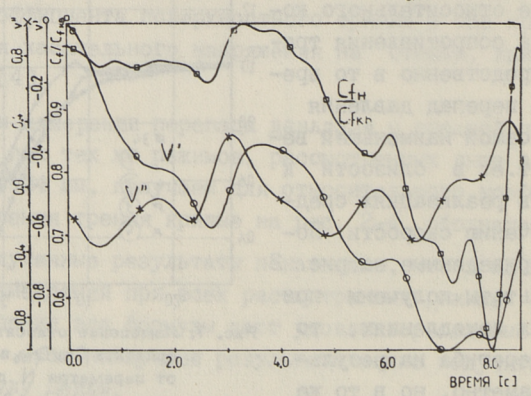

Рис. 9. Изменение относительного коэффициентов $C_{fн}/C_{fkb}$, V' и V'' при замедленном движении до полного заторможения жидкости за 10 с, в трубопроводе ø 34 мм. $-\frac{dv}{dt} = 1{,}98$ м/с^2.

Как отмечается в работе [4] коэффициент поверхностного трения зависит от первой и второй производной средней скорости. На рис. 8 и 9 приведены изменения отношения C_f/C_{fkb}; производные V' и V'' для разных диаметров трубопровода. Как показывают результаты, первые и вторые

производные от скорости имеют приблизительно одинаковый характер. В то же время отношение $C_f/C_{fкb}$ не коррелируется. Отсюда можно сделать вывод, что использование производных от средней скорости при нестационарных замедленных течениях для определения коэффициента поверхностного трения не всегда приводит к удовлетворительным результатам.

В большей мере на коэффициент поверхностного трения влияет изменение внутренней структуры течения жидкости. В том числе надо учитывать, что при использовании теоремы количества движения для определения C_f, через прямое определение касательного напряжения на стенке, деформация эпюр скоростей не учитывается.

Литература

1. Zielke W. Frequency-dependent friczion in Transient pipe flow // Trans. ASME. 1968. D90, N 1. P. 120-127.

2. Айтсам А.А., Даниель Э.Н., Сарв Л.Э. Изменение локальных параметров при постоянном замедлении течения жидкости в цилиндрических трубах // Тр. Таллиннск. политехн. ин-та. № 686. 1989. С. 19-32.

3. Iguchi M., Ohmi M. Unsteady frictional losses in decelerating turbulent pipe flows // Technology Reports of the Osaka University. 1983.Vol. 133,N 172. P. 349-358.

4. Денисов С.В. О коэффициенте трения в нестационарных течениях // Инженерно-физический журнал. 1970. № I. С. II8-I23.

A. Aitsam, E. Daniel, L. Sarv

Takistustegurist aeglustuval voolamisel

Kokkuvõte

Vaadeldakse mittestatsionaarse voolamise käigus tekkivat takistusteguri muutust ning tema matemaatilise kirjeldamise võimalust. Uuritakse takistusteguri sõltuvust mittestatsionaarsest tegurist N, kiiruse esimesest ja teisest tuletisest. Märgitakse takistusteguri olulist mõjustatust vedeliku aeglustuva voolamise käigus tekkivate järkude kiirusepüüride deformatsioonidest.

A. Aitsam, E. Daniel, L. Sarv

Friction Factor in Decelerating Flow

Abstract

In this paper some results about friction factor and its mathematical descriptions in unsteady flow are presented. The dependence of friction factor on parameter N, the first and second derivatives of velocity are investigated.

№ 686

TALLINNA POLÜTEHNILISE INSTITUUDI TOIMETISED

ТРУДЫ ТАЛЛИНСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

УДК 628.33

Л.Л. Пааль, К.А. Кикас

О РАЗРАБОТКЕ МАЛЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ НЕФТЕПРОДУКТОВ

При разработке нового типа малогабаритных установок для очистки сточных вод от отходов нефтепродуктов был использован метод патентных исследований [1] для определения технического уровня и закономерностей развития данного вида техники. Целью проведенных работ было обоснование технико-экономических показателей как характеристик технического уровня объекта разработки. Поскольку разработка технического задания относится к начальной стадии предпринятой работы, были рассмотрены все виды малых очистных установок, а также все технологические способы для выделения нефтепродуктов из воды, кроме биологических.

В ходе предварительного поиска были определены страны, являющиеся ведущими в области очистки сточных вод от нефтепродуктов: СССР, ФРГ, Япония, США, Великобритания и Франция. Время поиска было определено в 5 лет, учитывая высокий темп развития техники. Релевантными считали документы, посвященные общим вопросам конструкции очистных установок, технологической последовательности очистки и содержащие конкретные технико-экономические показатели.

Важнейшим показателем очистной установки является степень очистки C , выраженная по содержанию нефтепродуктов в очищенной воде (мг/л). В каталогах приводят также производительность Q (максимальная пропускная способность, $м^3/ч$), масса, габариты и др. Малыми считаем установки, для которых производительность $Q \leq 5\ м^3/ч$. Чтобы сравнить между собой установки, работающие по разным принципам, мы перешли на удельные массо-габаритные показатели. Удельный объем V_E в $м^3/м^3 \cdot ч^{-1}$ показывает, сколько габаритного объема требуется для данной установки на единицу произво-

дительности. Чем меньше значение удельного габарита, тем компактнее установка. Очень важной является удельная материалоемкость M_{ε} (кг/м^3.ч$^{-1}$). Чем меньше данный показатель, тем меньше и материала требуется для осуществления конструкции и технологии в установке. Количество энергии, требуемое для работы установки с номинальной производительностью - удельные энергозатраты (потребление энергоэнергии, пара, сжатого воздуха), не определено из-за отсутствия данных в большинстве источников.

Обобщение разных информационных материалов, отобранных для последующего анализа, подтвердило наши предположения, что общим аспектам очистки сточных вод от нефтепродуктов уделяют мало внимания. Обсуждением общих аспектов занимаются при описании новых альтернативных методов разделения. В течение последних пяти лет основное внимание в патентотехнической и научной литературе уделяют конкретным вопросам техники и технологии очистки.

Для удаления нефтепродуктов из воды используют все известные методы: механические, физико-химические, химические, биологические. Часто выдвигают отдельно электрохимические и мембранные методы очистки. Большое количество методов и многообразие установок объясняется сложным составом и физико-химическими свойствами стоков, а также возрастающими требованиями водоохранных органов. Мы не уделяли должного внимания методам применения коагулянтов, в связи с опасностью образования в воде новых токсичных соединений.

Надо отметить, что в Советском Союзе существуют самые высокие требования к качеству очистки при спуске нефтесодержащих сточных вод в водоемы [2]. Во многих странах считают качество очистки достаточным, если в воде осталось 5-20 мг/л нефтепродуктов. В нашей стране встречаются уже сейчас ситуации, когда к качеству очищенной воды предъявляются те же требования, что и к водоему: культурно-бытового водопользования - ПДК менее 0,1-0,3 мг/л, рыбохозяйственного назначения - менее 0,1 мг/л [3].

Повышение требований к качеству очистки наблюдается при появлении технических решений, позволяющих достичь такой прогресс. К началу 80-х годов был технически решен вопрос об очистке нефтесодержащих стоков до уровня 100 мг/л.

В Советском Союзе начали выпускать коалесцирующие сепараторы типа СКМ [4]. Нефтесодержащие воды поступают через фильтр предварительной очистки и встроенный подогреватель в корпус сепаратора. Там сперва происходит гравитационное отстаивание и затем воду пропускают через коалесцирующие элементы. Сепараторы снижают содержание нефтепродуктов в воде до уровня 100 мг/л.

Часто на судах устанавливали сепараторы ТЕ западногерманской фирмы "Ховальдтсверке-Дойче-Верфт" (HDW) [4, 5]. В верхней части вертикальной однокорпусной установки всплывают крупные капли нефти. Мелкие капли отделяются между близкостоящими друг к другу коническими тарелками, приваренными к центральной вертикально расположенной выпускной трубе.

К середине 80-х годов в промышленно развитых странах было освоено производство фильтрующих сепараторов. Они обеспечивают степень очистки 15 мг/л, соответствующую требованиям международной конвенции МАРПОЛ 73/78. В СССР выпускают установки УСА, в состав которых входят центробежные сепараторы типа СДК [4]. Засыпанные в ротор сепаратора гранулы полипропилена, задерживая на своей поверхности капли нефтепродукта, способствуют их укрупнению и таким путем повышению эффективности разделения.

Дочерняя фирма "Фрам-Европа" (Нидерланды) американской компании "Фрам" выпускает трехступенчатые сепараторы типа CPS, способные очищать нефтесодержащие воды от остаточного содержания нефти не более 5-10 мг/л [5]. Отличительной чертой является применение пакета волнообразных олеофильных пластмассовых или металлических перфорированных пластин. Многократное изменение направления движения водонефтяной смеси в пакете пластин способствует сталкиванию, укрупнению и выделению частиц нефти. В качестве недостатка установки отмечается быстрый выход из строя коалесцирующих элементов, проектный ресурс которых 500 ч [6].

Названная выше фирма HDW усовершенствуя свою продукцию, в 1985 г. начала выпускать однокорпусные безнасосные коалесцирующие сепараторы типа TPC, обеспечивающие остаточное нефтесодержание в очищенных судовых водах не более 5 мг/л [7]. Уже сейчас серийно выпускают маломощные уста-

новки типа VIA , имеющие на выходе фильтр активированного угля и обеспечивающие по данным изготовителей остаточную концентрацию нефтепродуктов в очищенной воде менее I,7 мг/л [8].

Для количественного прогнозирования наиболее вероятного значения основных потребительских свойств малых очистных установок мы применяли метод гистограмм [9]. Метод базируется на построении гистограмм по каждому показателю объектов, выбираемых по данным коньюктурной информации за последние 3-7 лет. Известно, что патентная информация обладает периодом упреждения I0-I5 лет, а реклама появляется за 5-7 лет до промышленного выпуска объекта. Поэтому последнюю можно считать с большей вероятностью связанной с началом производства. Основным источником информации о технико-экономических показателях объектов-аналогов служили промышленные и фирменные каталоги библиотеки Всесоюзного центра информации по оборудованию (ВЦИО). В статистическом анализе использованы данные около 50 очистных установок.

До настоящего времени нефтяные сепараторы судов являются основными представителями группы малых очистных установок. Они разделяются на сепарирующие - в очищенной воде не более I00 мг/л нефтепродуктов и фильтрующие - не более I5 мг/л. Такие предельные значения установлены международными законами по охране морских вод. Относительно мало фирм представляет более точные данные об очистной способности выпускаемой ими техники. В связи с вышесказанным на рис. I приведена не гистограмма, а интегральная кривая распределения F анализируемых сепараторов по степени очистки C. Можно ожидать, что наиболее вероятное значение степени очистки у установок, выпускаемых через 3-5 лет, будет I0-I5 мг/л. Учитывая увеличение частоты появления сообщений в научной литературе о возможностях очистки экспериментальными установками нефтесодержащие стоки до ПДК, можно считать более реальной оценку C = 2-I0 мг/л. На такие показатели ориентируются и при проектировании новых объектов в СССР по данным производственной литературы [2].

Частотное распределение величин производительности очистных установок изображено гистограммой на рис. 2, где $\Delta N/N$ - частота появления параметра (производительности установки)

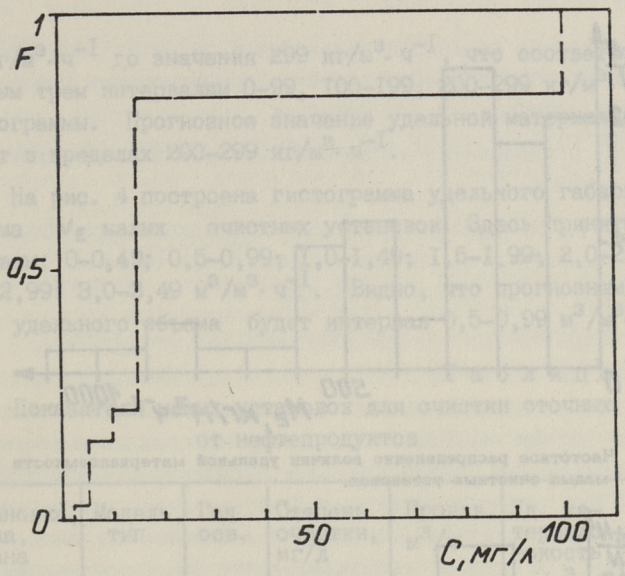

Рис. 1. Распределение малых очистных установок по степеням очистки (<2, 2-5, <10, <15, <100 мг/л).

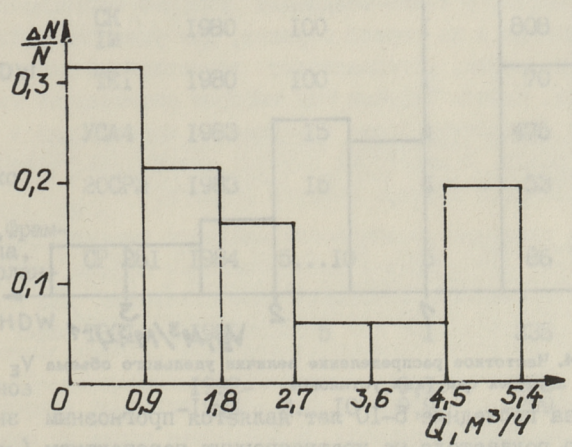

Рис. 2. Частотное распределение величин производительности Q малых очистных установок.

в промежутке и Q_i - производительность (пропускная способность) в $м^3/ч$. Наиболее вероятным (модальным) является интервал величин производительности 0-0,9 $м^3/ч$, где были представлены установки начиная с производительности 0,I $м^3/ч$. Модальный интервал гистограммы, построенный по моделям, вы-

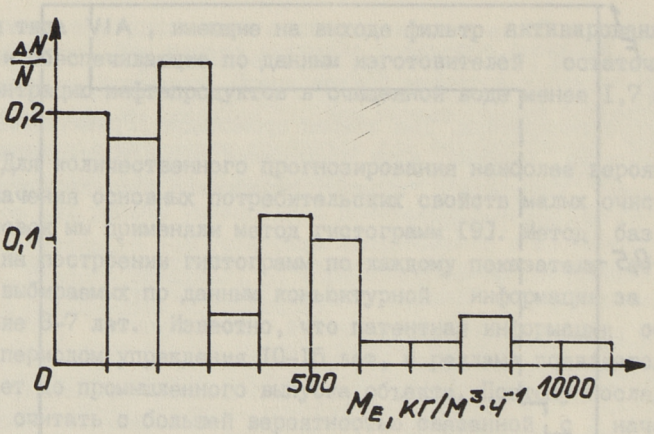

Рис. 3. Частотное распределение величин удельной материалоемкости M_E малых очистных установок.

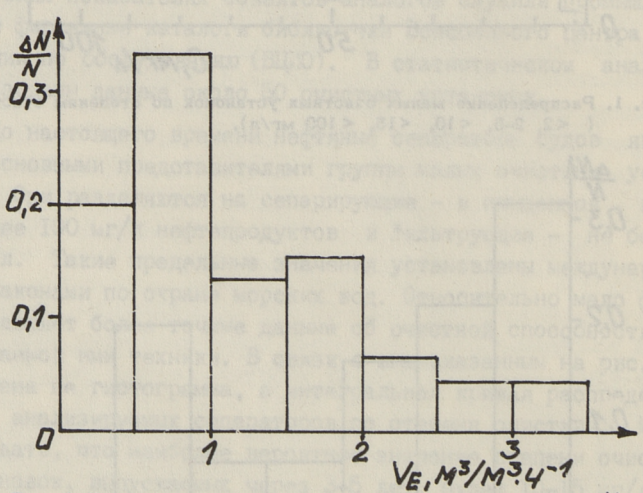

Рис. 4. Частотное распределение величин удельного объема V_E малых очистных установок.

пущенным за последние 5–10 лет является прогнозным значением этого показателя на краткосрочную перспективу (~5 лет). Таким образом прогнозное значение производительности малых очистных установок лежит в пределах 0,1–0,9 м³/ч.

На рис. 3 построена гистограмма малых очистных установок по показателю "удельная материалоемкость". Из гистограммы видно, что больше половины исследуемых установок имеют удельную материалоемкость от минимального значения

26 кг/м^3. ч$^{-1}$ до значения 299 кг/м^3. ч$^{-1}$, что соответствует первым трем интервалам 0-99, 100-199, 200-299 кг/м^3. ч$^{-1}$ гистограммы. Прогнозное значение удельной материалоемкости лежит в пределах 200-299 кг/м^3. ч$^{-1}$.

На рис. 4 построена гистограмма удельного габаритного объема V_ε малых очистных установок. Здесь приняты интервалы: 0-0,49; 0,5-0,99; 1,0-1,49; 1,5-1,99; 2,0-2,49; 2,5-2,99; 3,0-3,49 м^3/м^3. ч$^{-1}$. Видно, что прогнозным значением удельного объема будет интервал 0,5-0,99 м^3/м^3. ч$^{-1}$.

Таблица 1

Показатели малых установок для очистки сточных вод от нефтепродуктов

Установка, фирма, страна	Модель, тип	Год осв.	Степень очистки, мг/л	Произв. м^3/ч	Уд. материалоемкость, кг/м^3 ч$^{-1}$	Уд. объем $\frac{м^3}{м^3 \cdot ч^{-1}}$
СКМ СССР	СК 1М	1980	100	1	808	2,47
ТЕ, HDW ФРГ	ТЕ1	1980	100	1	70	0,17
УСА СССР	УСА4	1983	15	4	475	1,59
Сарекс США	20СРМ	1983	15	4	53	0,31
ФРАМ, Фрам-Европа, Нидерланды	СР 251	1984	5...10	5	86	0,36
ТРС, HDW ФРГ	ТРС1	1985	5	1	335	1,62
Прогноз		1992-1994	2...10	0,1...0,9	200-299	0,50...0,99

В табл. 1 представлены показатели лучших моделей отечественных и зарубежных малых установок разных поколений техники.

Из рассмотренных материалов следует, что удельные показатели по перечисленным параметрам с увеличением пропускной способности установок до 5 м^3/ч уменьшаются в 3-4 раза.

Основная тенденция дальнейшего развития установок – повышение эффективности очистки, проявляется в реализации средств трех типов:

1) продолжается усовершенствование классических методов очистки;

2) применение дополнительных физико-химических методов воздействия на обрабатываемые стоки с целью снижения устойчивости масляных эмульсий;

3) применение современных методов разделения с помощью функциональных мембран.

При усовершенствовании конструкции установок продолжаются поиски наиболее подходящих материалов и конструкционных решений, обеспечивающих повышение эффективности работы. Технологическая схема обработки нефтесодержащих сточных вод в установках состоит в большинстве случаев из трех ступеней. На стадии предварительной очистки удаляют свободно на поверхности воды плавающий слой и грубодисперсные частицы нефти, а также оседающие твердые частицы. На второй, а иногда и на первой ступени, для удаления всплывающих частиц нефти, устанавливают тонкослойный ламинарный отстойник. Работы ведутся над выбором оптимальных материалов и по разработке более совершенных конструкций и конфигураций полок. В некоторых случаях достигнута тонкослойными отстойниками степень очистки 10 мг/л.

Для снижения устойчивости масляных эмульсий применяют воздействие магнитными и электрическими полями, ультразвуком, озонирование и фотохимическое окисление. Два последних метода используют при доочистке нефтесодержащих сточных вод.

Сорбционные фильтры в последних ступенях являются обычно фильтрами насыщения. В настоящее время их стараются заменить на коалесцирующие фильтры. В таком случае упрощается эксплуатация установки и отпадает необходимость регенерации или замены фильтроматериалов. Степени очистки от нефтепродуктов на уровне ПДК многоступенчатыми установками достигнуты с использованием в качестве сорбента активированного угля. Иностранные фирмы ведут поиски более дешевых материалов. Имеются патенты на волокнистые материалы,

которые превышают по некоторым показателям активированный уголь.

С целью уменьшения удельных энергозатрат на очистку и улучшения массгабаритных показателей установок, каждый год растет количество устройств, где применяют функциональные мембраны. Ведущее место занимают ультрафильтрационные установки, обеспечивающие очистку сточных вод от любых эмульсий нефтепродуктов до степени менее 10 мг/л.

На основании проведенного анализа определены основные тенденции дальнейшего развития малых очистных установок ($Q \leq 5$ м^3/ч) для очистки сточных вод от нефтепродуктов. Повышение эффективности очистки достигается усовершенствованием классических методов и конструкций установок; воздействием на эмульсии нефтепродуктов физико-химическими методами; применением мембранной технологии для разделения. Методом математического прогнозирования определены наиболее вероятные технико-экономические показатели установок, выпускаемые через 3-5 лет: степень очистки С = 2-10 мг/л, производительность Q = 0,1-0,9 м^3/ч, удельная материалоемкость M_E = 200-299 кг/м$^3 \cdot$ ч$^{-1}$, удельный габаритный объем V_E = 0,50-0,99 м^3/м$^3 \cdot$ ч$^{-1}$.

Литература

1. ГОСТ 15.011-82. Порядок проведения патентных исследований / Государственный комитет СССР по стандартам. М., 1983. 23 с.

2. Таран В.М., Бланк Ю.И. Требования конвенции Марпол-73/78 к береговым приемным сооружениям. Опыт создания и реконструкции приемно-очистных сооружений нефтеналивных портов. Экспресс-информация; морской транспорт. Серия "Предотвращение загрязнения морской среды". М., 1986. Вып. 3.

3. Тарнопольская М.Г. Оценка состояния развития физико-химических методов глубокой очистки сточных вод в отечественных исследованиях по тезисам докладов УП Всесоюзного симпозиума // Тез. УП Всес. симп. по соврем. пробл. прогнозир., контр. кач. воды водоемов и озонир., Таллинн, 1985. Секц. 3.Глубокая очистка сточных вод. Таллинн, 1985. С. 9-13.

4. Средства очистки жидкостей на судах: Справочник / Под общей ред. И.А. Иванова. Л.: Судостроение, 1984. 272 с.

5. Fram separators. Fram Europe B.V., Netherlands. Production catalogue.

6. Кутыркин В.А., Садсков М.Х. Очистка танкеров от остатков нефтепродуктов. М.: Транспорт, 1987. 64 с.

7. Turbulo-Entöler. Typ TPC. Howaldtswerke Deutsche Werft.

8. VIA Wasser/Ölseparator. VIA GmbH Haupstverwaltung, Düsseldorf.

9. Методические рекомендации по проведению патентных исследований. Госком СССР по делам изобретений и открытий. М., 1983. 194 с.

L. Paal, K. Kikas

Õliste reovete puhastamiseks kasutatavate väikepuhastite väljatöötamisest

Kokkuvõte

Töös on määratud õliste reovete väikepuhastite ($Q \leq 5$ m^3/h) arengutendentsid patendiuuringu materjalide põhjal. Areng toimub seadmete puhastusvõime kasvu suunas, kusjuures suureneb nende kompaktsus ja väheneb kaal. Matemaatiliselt prognoositakse 3–5 aasta pärast tootmisse minevate seadmete põhiliste tehniliste näitajate tõenäoseimad väärtused. Kirjeldatakse võimalusi väikepuhastite täiustamiseks.

L. Paal, K. Kikas

The Elaboration of Small Oily Water Separators

Abstract

Main trends of development of small oily water separator ($Q \leq 5$ m^3/h) technology were established by patent research. New separators are becoming more compact and lightweight, whereas the content of residual oil in treated water is reduced. Mathematical prediction method was used to determine values of technical data of the separators, which will most probably be manufactured after 3–5 years. A short review of trends in improving the separators and the processes is presented.

№ 686

TALLINNA POLÜTEHNILISE INSTITUUDI TOIMETISED

ТРУДЫ ТАЛЛИННСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

УДК 628.356

В.А. Блонская, В.Б. Востриков,
Х.А. Мёльдер

ПУТИ УВЕЛИЧЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ АЭРОТЕНКОВ НА ОСНОВЕ ПРЕДЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В настоящее время в связи с необходимостью уменьшения антропогенной биогенной нагрузки на водоемы все большее внимание уделяется процессам биохимической очистки городских сточных вод методом симультанного осаждения.

В период с сентября 1987 г. по октябрь 1988 г. были проведены исследования симультанного метода биоочистки сточных вод г. Таллинна на полупроизводственной установке [1] , смонтированной при главной насосной станции канализации. Целью данного эксперимента была разработка предэксплуатационных параметров процесса неполной биохимической очистки для II очереди строящихся очистных сооружений канализации г. Таллинна.

Полупроизводственная установка [1] состояла из двух параллельных линий биоочистки пропускной способностью по I м^3/час: I линия - с симультанным удалением фосфора, II линия - контрольная.

Основные усредненные параметры процесса:

I линия

Рабочая доза ила - 3,2 г/л.
Концентрация растворенного кислорода в воде аэротенка - 5,0 мг/л.
Нагрузка на ил по $БПК_7$ - 0,298 г/г сут.
Иловый индекс - 135 см^3/г
Зольность ила - 35 %
Доза коагулянта ($FeCl_3$) - I - 3 мг Fe^{3+}/л
Объем регенератора ила составлял 25 % от объема аэротенка.

П линия

Рабочая доза ила - 3,2 г/л.

Концентрация растворенного кислорода в воде аэротенка - 2,0 мг/л.

Нагрузка на ил по $БПК_7$ - 0,232 г/г сут.

Илсвый индекс - 131 $см^3/г$

Зольность ила - 33 %

Объем регенератора ила составлял 30 % от объема аэротенка.

При анализе качества сточных вод города, реально поступающих на биоочистку, было замечено, что содержание в них соединений фосфора на 70 % меньше, чем принято в проекте.

В результате исследования симультанного метода при средней концентрации $P_{общ}$ в поступающей сточной воде города 2,49 мг/л были выявлены зависимости эффекта удаления фосфора от:

- концентрации $P_{общ}$ в исходной воде;
- нагрузки на ил по $БПК_7$;
- дозы коагулянта;
- концентрации растворенного кислорода в аэротенке.

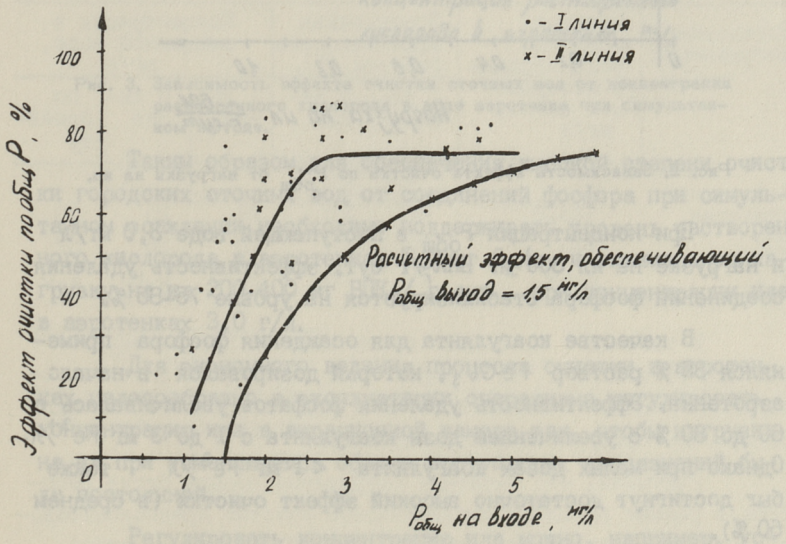

Рис. 1. Зависимость эффекта очистки по $P_{общ}$ от концентрации фосфора в исходной воде.

Также установлено отсутствие зависимости эффективности очистки от температуры (II-I9 °С) и от степени рециркуляции возвратного ила (57-70 % Q).

При малых концентрациях $P_{общ}$ в поступающей воде и при малых нагрузках на ил по $БПК_7$ эффективность удаления $P_{общ}$ мала и увеличивается с увеличением данных параметров (рис. I и рис. 2).

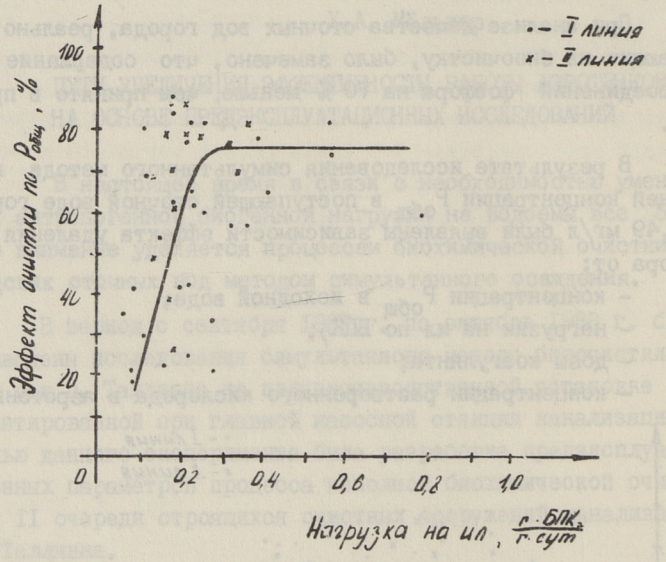

Рис. 2. Зависимость эффекта очистки по $P_{общ}$ от нагрузки на ил.

При концентрации $P_{общ}$ в поступающей воде 3,0 мг/л и нагрузке на ил 300 мг $БПК_7$/г сут. эффективность удаления соединений фосфора стабилизируется на уровне 75-85 %.

В качестве коагулянта для осаждения фосфора применялся 35 % раствор $FeCl_3$, который дозировался в начало аэротенка. Эффективность удаления фосфатов увеличивалась с 60 до 80 % с увеличением дозы коагулянта с I до 3 мг Fe^{3+}/л. Однако при малых дозах коагулянта < I мг Fe^{3+}/л также был достигнут достаточно высокий эффект очистки (в среднем 60 %).

Концентрация растворенного кислорода в аэротенке также существенно влияла на эффективность симультанного

метода очистки. Максимальная эффективность очистки наблюдалась при концентрации 5 мгO_2/л, при уменьшении либо при увеличении концентрации кислорода эффективность снижалась (рис. 3).

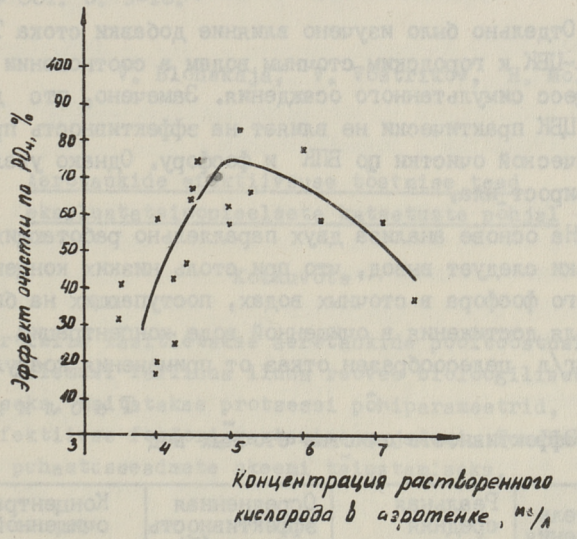

Рис. 3. Зависимость эффекта очистки сточных вод от концентрации растворенного кислорода в воде аэротенка при симультанном методе.

Таким образом, для обеспечения высокой степени очистки городских сточных вод от соединений фосфора при симультанном осаждении необходимо поддерживать уровень растворенного кислорода в аэротенках 5,0 мг O_2/л и оптимальную нагрузку на ил 200–400 мг БПК$_7$/ г сут при концентрации ила в аэротенках 3,0 г/л.

Для экономного ведения процесса очистки в аэротенках целесообразно в эксплуатации оперативно регулировать концентрацию ила в аэрационной камере так, чтобы нагрузка на ил при изменяющемся объеме поступающих загрязнений была постоянной.

Регулировать концентрацию ила можно, например, установив аккумулирующую аэрируемую емкость для избыточного ила, из которой в случае увеличения объема поступающих загрязнений в аэротенк подается дополнительное количество

ила, а в случае уменьшения объема загрязнений соответственно больше избыточного ила подается в илоуплотнитель и дальше на механическое обезвоживание. Это требует разработки автоматической системы управления процессом биоочистки, что является самостоятельной темой исследования.

Отдельно было изучено влияние добавки стока Таллинского ЦБК к городским сточным водам в соотношении (I:I0) на процесс симультанного осаждения. Замечено, что добавка стока ЦБК практически не влияет на эффективность процесса биохимической очистки по БПК и фосфору. Однако увеличивается прирост ила.

На основе анализа двух параллельно работающих линий установки следует вывод, что при столь низких концентрациях общего фосфора в сточных водах, поступающих на биоочистку, и для достижения в очищенной воде концентрации $P_{общ}$ = = I,5 мг/л целесообразен отказ от применения коагулянта.

Таблица I

Эффективность очистки сточных вод

Показатель загрязнения	Реальная средняя концентрация в поступающем стоке, мг/л	Осредненная эффективность очистки (%)		Концентрация в очищенной воде, мг/л		
		I линия	II линия	I линия	II линия	по проекту
Взвешенные вещества	I25,2	8I	80	24	25	60
$БПК_7$	II5	80	76	23	28	57
$P_{общ}$	2,49	70	66	0,75	0,85	I,5

В таблице I приведена сравнительная эффективность очистки сточных вод, из которой следует, что на опытной установке качество очищенной сточной воды в обеих линиях было лучше, чем предусматривалось проектом.

Учитывая, что очистные сооружения города будут работать в режиме неполной биологической очистки предположительно 5 лет (до завершения строительства III очереди станции) экономия при отказе от применения хлорного железа составит ориентировочно 38I,6 тыс. рублей (с учетом расходов на научные исследования).

Литература

I. Блонская В.А., Вострикова В.Б., Мёльдер Х.А. Исследование процесса удаления фосфора из сточных вод г. Таллинна. Тр. Таллиннск. политехн. ин-та. 1988. № 661. С. 9-15.

V. Blonskaja, V. Vostrikov, H. Mõlder

Aerotankide efektiivsuse tõstmise teed ekspluatatsioonieelsete katsetuste põhjal

Kokkuvõte

Artiklis käsitletakse aerotankide pooltööstuslike uuringute tulemusi Tallinna linna reovee bioloogiliseks puhastamiseks. Esitatakse protsessi põhiparameetrid, arvestades efektiivse fosforieärastamise vajadust. Tuuakse soovitused puhastusseadmete skeemi täiustamiseks.

V. Blonskaya, V. Vostrikov, H. Mõlder

The Ways of Increasing Efficiency of Aerotank Operation on the Basis of Pilot Plant

Abstract

In this paper the process of biological removal of phosphorus is described.

The main results of the experiments are presented and the parameters for the process of biological purification of waste waters are recommended.

№ 686

TALLINNA POLÜTEHNILISE INSTITUUDI TOIMETISED

ТРУДЫ ТАЛЛИННСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

УДК 628.31:658.53

Ю.Я. Сяэрекыннo

О КОМПЛЕКСНОМ НОРМИРОВАНИИ СБРОСОВ ОБЩЕГОРОДСКИХ СТОЧНЫХ ВОД В ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ

В Методических указаниях [1] рассматривается нормирование спуска сточных вод предприятий и организаций, имеющих прежде всего самостоятельные выпуски в водные объекты. В современных условиях производства большая часть предприятий сбрасывает свои сточные воды в городскую канализацию. Общегородские сточные воды очищаются на городских канализационных очистных сооружениях (КОС), которые в основном бывают биологического типа. Эффективность биологической очистки зависит во многом от качества и количества сбрасываемых в городскую канализацию производственных сточных вод. Последние зависят в основном от выполнения или невыполнения предприятиями условий сброса промышленных сточных вод в городскую канализацию [2], а также от того, нарушают или нет они производственно-технологические и санитарно-технические показатели, установленные для них соответствующей технической документацией. Поэтому при нормировании сброса общегородских сточных вод неразумно считать очистную станцию полностью ответственной за качество очищенных в ней сточных вод. Следовательно, нормирование выпуска городских сточных вод должно бы производиться в принципе комплексно, т.е. путем одновременного нормирования сброса производственных сточных вод в городскую канализацию так, чтобы при реальном эффекте очистки вредных веществ на КОС в водном объекте обеспечивался бы государственный норматив качества воды (ПДК).

В общем, нормирование отдельных выпусков сточных вод в водные объекты зависит от конкретных условий сброса [1, 3]. Если контрольный створ водного объекта находится под

воздействием сточных вод только рассматриваемого выпуска, то при учете только разбавления сточных вод водой водного объекта норматив качества очищенных сточных вод по d-му загрязняющему веществу ($c''_{dн}$) определяется по известной формуле

$$c''_{dн} = (n-1)(ПДК_d - c_{фd}) + ПДК_d, \qquad (I)$$

где $n = (\gamma Q + q_{ст})/q_{ст}$ – степень смешения (разбавления) сточных вод водой водного объекта;

γ – коэффициент смешения;

Q – расход воды водного объекта, участвующий при разбавлении сточных вод ($q_{ст}$);

$ПДК_d$ – предельно допустимая концентрация d-го вещества в водном объекте;

$c_{фd}$ – фоновая концентрация d-го вредного вещества.

Зная норматив качества очищенных на КОС сточных вод (формула (I)) и реальное содержание данного d-го вещества в поступающих на КОС сточных водах (c'_d), можно определить требуемый эффект очистки данного вещества на КОС (%):

$$Э_{dтр} = 100\left(1 - \frac{c''_{dн}}{c'_d}\right).$$

Если $Э_{dтр} > Э_d$ ($Э_d$ – действительный эффект очистки d-го вещества на КОС, %), тогда часть загрязнений, соответствующая разнице эффектов очистки ($Э_{dтр} - Э_d$) должна быть удалена на предприятиях локальными мероприятиями (технологическими и санитарно-техническими). Требуемое приращение концентрации d-го вещества для отдельных предприятий может быть рассчитано следующим образом. Определяется допустимая концентрация d-го вещества в поступающих на КОС сточных водах по формуле

$$c'_{dн} = \frac{100\, c''_{dн}}{100 - Э_d} = \frac{c''_{dн}}{1 - к_d}, \qquad (2)$$

где $c'_{dн}$ – норматив качества общегородских сточных вод по d-му веществу при их поступлении на КОС;

$к_d = Э_d/100$ – коэффициент очистки d-го вещества на КОС.

При обозначении индекса выпуска (предприятия) через i, та часть из общего количества d-го вещества, которая должна быть ликвидирована на предприятиях, может быть выражена в виде

$$\Delta M_d = \Delta c'_d \cdot q_{ст} = \sum_{i=1}^{m} \Delta c_{di} \cdot q_i , \qquad (3)$$

где $\Delta c'_d = c'_d - c'_{dн}$ – требуемое снижение содержания d-го вещества на входе КОС;

i – индекс предприятий (выпусков);

m – число предприятий (выпусков),

$q_{ст}, q_i$ – расход общегородских и промышленных сточных вод, соответственно;

$\Delta c_{di} = c_{di} - c_{dн.i}$ – требуемое снижение концентрации d-го вещества на отдельных предприятиях ($c_{di}, c_{dн.i}$ – действительная и нормированная концентрации вредного вещества в производственных сточных водах при их спуске в городскую канализацию соответственно).

По требованиям п. 16 Инструкции [2] нормирование сбросов производственных сточных вод в городскую канализацию должно быть осуществлено с учетом степени разбавления промстоков в городской канализации, эффективности удаления загрязнений производственных сточных вод на КОС и условий разбавления очищенных общегородских сточных вод в водном объекте. Если в городскую канализацию поступают производственные сточные воды ($q_{пр}$) через единственный выпуск, то его нормирование по d-му вредному веществу производится по формуле

$$c_{dн} = \frac{c''_{dн}(100 - a_d)}{100 - э_d} \cdot \frac{q_{ст}}{q_{пр}} , \qquad (4)$$

где $c''_{dн}$ – норматив качества очищенных общегородских сточных вод $q_{ст}$;

a_d – содержание d-го вещества в поступающих на КОС хозяйственно-бытовых сточных водах $q_x = q_{ст} - q_{пр}$, %;

$q_{пр}$ – расход промышленных сточных вод (в общем случае $q_{пр} = \sum_{i=1}^{m} q_i$);

На основании формулы (2) зависимость (4) переписывается

$$c_{dн} = c'_{dн}(1 - \alpha_d) \cdot \frac{q_{ст}}{q_{пр}} , \qquad (5)$$

где $\alpha_d = a_d/100$ – коэффициент содержания d-го вещества в в хозяйственно-бытовых сточных водах q_x.

Коэффициент α_d выражается в виде

$$\alpha_d = \frac{c_{dx} \cdot q_x}{c'_{dн} \cdot q_{ст}},$$

где c_{dx} – концентрация d-го вещества в общегородских хозяйственно-бытовых сточных водах q_x;

$c'_{dн}$ – определяется по формуле (2).

Легко показать (на основании зависимостей (5) и (7)), что в случае поступления промышленных сточных вод в городскую канализацию через несколько (m) выпусков, каждый из них, скажем m-й выпуск нормируется по d-му веществу с помощью формулы

$$c_{dн.m} = c'_{dн}(1 - \alpha_d) \cdot \frac{q_{ст}}{q_m} - \sum_{i=1}^{m-1} c_{dн.i} \cdot \frac{q_i}{q_m}, \qquad (6)$$

где q_m – расход сточных вод m-го выпуска;

$c_{dн.i}$ – норматив качества сточных вод i-го выпуска, расходом q_i.

Из (6) видно, что нормирование любого m-го выпуска осуществляется с помощью уже нормированных концентраций $c_{dн.i}$ остальных $(m-1)$ выпусков. Поэтому нормирование выпусков производственных сточных вод в городскую канализацию должно производиться иным путем. Для этого определим допустимую концентрацию $c_{dн}$ производственных сточных вод всех m-х выпусков с помощью формулы (4) или (5), где $q_{пр} = \sum_{i=1}^{m} q_i$.

С другой стороны, величина $c_{dн}$ выражается как средневзвешенная по расходу производственных сточных вод концентрация

$$c_{dн} = \frac{\sum_{i=1}^{m} c_{dн.i} \cdot q_i}{\sum_{i=1}^{m} q_i}, \qquad (7)$$

где неизвестными являются нормируемые концентрации $c_{dн.i}$. Обозначив последние через x_i, из (7) получим

$$\sum_{i=1}^{m} x_i \cdot q_i = c_{dн} \cdot \sum_{i=1}^{m} q_i, \qquad (8)$$

т.е. уравнение, которое решается относительно x_i методом последовательных приближений при условии, что известно соотношение между величинами x_i. Предполагая, что допустимые

концентрации d-го вещества уже нормированных выпусков (x_i) пропорциональны первоначальным концентрациям c_{di}, т.е.

$$\frac{c_{d1}}{x_1} = \frac{c_{d2}}{x_2} = \ldots = \frac{c_{dm}}{x_m} = \beta,$$

получим, что

$$x_i = \frac{c_{di}}{\beta} \quad (i=1,2,\ldots,m), \qquad (9)$$

где β – коэффициент пропорциональности.

Теперь, задавая по величине коэффициент β, определим значения x_i по формуле (9). Последние подставим в уравнение (8). Операция повторяется до тех пор, пока левая часть уравнения не совпадает по величине с его правой частью. Удовлетворяющие уравнениям (8) величины x_i рассматривают как нормативы качества производственных сточных вод ($c_{дн.i}$) соответствующего i-го выпуска.

Отметим, что при условии равенства интенсивностей сброса промышленных сточных вод

$$x_1 \cdot q_1 = x_2 \, q_2 = \ldots = x_m \cdot q_m$$

допустимые концентрации $x_i(c_{дн.i})$ могут быть определены с помощью упрощенной формулы (6):

$$c_{дн.i} = c'_{дн}(1-\alpha_d) \cdot \frac{q_{ст}}{m q_i}.$$

Ясно, что с технико-экономической точки зрения может оказаться целесообразной, особенно при крупных городах, оптимизация решения зависимости (8) по критерию минимума приведенных затрат на снижение требуемого количества d-го загрязнения ΔM_d (формула (3)). Решением оптимизационной задачи определяется степень локальной очистки сточных вод отдельных водопользователей и одновременно оптимальное соотношение между величинами $x_i(c_{дн.i})$.

На основании [I] предельно допустимый сброс (ПДС) сточных вод в водный объект выражается в виде

$$ПДС_d = c''_{дн} \cdot q_{ст} = \gamma Q(ПДК_d - c_{фd}) + ПДК_d, \qquad (10)$$

где норматив качества очищенных на КОС сточных вод $c''_{дi}$ определяется на основе характеристик водного объекта. Та-

ким же образом определяется норматив поступающих на КОС сточных вод $c'_{dн}$ (формула (2)). Последняя величина и может быть рассчитана (со стороны города)

$$c'_{dн} = \frac{\sum_{i=1}^{m} c_{dн.i} \cdot q_i + c_{dx} \cdot q_x}{q_{ст}} . \qquad (II)$$

Приравнивая правые части выражений (2) и (II), получим, после соответствующих преобразований:

$$c''_{dн} = \frac{(1 - k_d)(\sum_{i=1}^{m} c_{dн.i} \cdot q_i + c_{dx} \cdot q_x)}{q_{ст}} . \qquad (I2)$$

Подставив (I2) в (I0) и обозначив

$$c_{dн.i} \cdot q_i = ПДС_{di}, \qquad (I3)$$

получим ПДС для КОС, определенный на основе характеристик предельного состояния качества сточных вод отдельных выпусков:

$$ПДС_d = (1 - k_d)(\sum_{i=1}^{m} ПДС_{di} + c_{dx} \cdot q_x), \qquad (I4)$$

где $ПДС_{di}$ – предельно допустимый сброс d-го вещества в городскую канализацию i-м предприятием (выпуском), определяемый по формуле (I3).

Зависимости (I0) и (I4) представляют собой связь ПДС с условиями сброса сточных вод как в водный объект, так и в городскую канализацию. Видно, что качество водного объекта ($ПДК_d$) обеспечивается только нормированием (и выполнением) сбросов производственных сточных вод в городскую канализацию.

Выводы

С целью более эффективной защиты водных объектов от загрязнения сточными водами (более реального выполнения установленных ПДС) целесообразно применить т.н. критерии комплексности, в свете которых нормирование выпуска общегородских КОС производилось бы с одновременным определением предельного состояния качества сбрасываемых в городскую

канализацию производственных сточных вод. При этом учитывают возможное разбавление последних в городской канализации, эффективность удаления данного загрязнения на КОС и ассимилирующую способность водного объекта.

Литература

1. Методические указания по установлению предельно допустимых сбросов веществ, поступающих в водные объекты со сточными водами. М., 1982. 16 с.

2. Инструкция по приему промышленных сточных вод в городскую канализацию. М., 1977. 26 с.

3. Правила охраны поверхностных водоемов от загрязнения сточными водами. М., 1975. 38 с.

J. Saarekõnno

Linna kanalisatsiooni heitvete kompleksest normeerimisest

Kokkuvõte

Töös käsitletakse linna kanalisatsiooni puhastusseadmete heitvete kvaliteedi kompleksset normeerimist, võttes arvesse tööstusheitvete linna kanalisatsiooni suunamise kvaliteedi normatiive, tööstusheitvete võimalikku lahjendustegurit linna kanalisatsioonis, reoainete puhastusefekti puhastusseadmetel ja veekogu reoaine assimileerimisvõimet.

I. Saarekynno

De l'établissement complexe des normes pour le déversement des substances polluantes dans l'environnement aqueux

Résumé

On propose de partir, en cas de l'établissement des normes pour le déversement des eaux d'égouts des villes du principe de complexité, dans la lumière duquel les normes de qualité des eaux résiduaires des villes ne sont pas uniquement déterminées par la qualité des eaux naturelles mais aussi par le facteur de dilution des eaux usées industrielles dans la canalisation urbaine et leur efficacité d'épuration dans la station de traitement des eaux d'égouts.

№ 686

TALLINNA POLÜTEHNILISE INSTITUUDI TOIMETISED

ТРУДЫ ТАЛЛИННСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

УДК 628.39

Ю.Я. Сяэрекыннo

ОБ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ КРИТЕРИЯХ ОЦЕНКИ ВОДОПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ КАК ИСТОЧНИКОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДНОЙ СРЕДЫ

На современном этапе водоохраны представляет практический интерес возможность оценивать предприятия (промышленные узлы) как источники загрязнения водной среды, т.е. оценивать их степень природоопасности в абсолютном (экологическом) или относительном плане загрязнения среды. Экологический подход к оценке степени природоопасности предприятий требует значительной информации о химико-биологических процессах самоочищения и биологическом равновесии экосистем в зависимости от типа водного объекта и климатических условий. Самоочищающая способность водной среды тесно связана с качеством последней. Ухудшение качества воды определяется более или менее длительным процессом загрязнения водной среды, сопровождающимся большим или меньшим изменением потенциала самоочищения водного объекта. При этом влияние процессов самоочищения на качество воды водного объекта связано с типом последнего - разграничивают проточные, полупроточные (эстуарий) и непроточные водные системы [2]. Если в проточных и полупроточных водных объектах процесс самоочищения в общем дополняет физическое разбавление загрязняющих веществ, то в непроточных объектах он является основным фактором, определяющим качество воды. В таких случаях динамика изменения концентрации загрязняющих веществ (неконсервативных) может быть описана дифференциальным уравнением [1].

$$\frac{dc}{dt} = q - s(c) \qquad (1)$$

с начальными условиями $t_0 = 0$ и $C(0) = C_0$, которое при независимости q от времени имеет следующее решение

$$\int \frac{dc}{q - s(c)} + \kappa(c_0) = t, \qquad (2)$$

где q – интенсивность сброса загрязняющего вещества в водный объект;

$s(c)$ – функция скорости самоочищения, зависящая только от концентрации рассматриваемого вещества в водной среде;

$k(c_0)$ – константа интегрирования;

t – время.

Анализ интегрального уравнения (I) в случае аппроксимации функции скорости самоочищения $s(c)$ в виде функции линии окружности

$$s(c) = \begin{cases} \dfrac{s^* c(2c^* - c)}{(c^*)^2} & \text{при } 0 \leq c \leq 2c^* \\ 0 & \text{при } c > 2c^* \end{cases} \qquad (3)$$

(где s^* и c^* – координаты максимума функции самоочищения $s(c)$; s^* – максимальная скорость самоочищения (потенциал самоочищения водной среды), соответствующая оптимальной концентрации данного вещества c^* в воде, которую можно принимать в первом приближении за экологический норматив качества воды водного объекта ПДК$_э$) показывает относительно безразмерного параметра

$$\frac{q}{s^*} = \gamma , \qquad (4)$$

что если

I) $\gamma > 1$ при $C_0 > 0$, (5)

т.е. при любой величине начальной концентрации C_0 вредного вещества концентрация вещества в водном объекте постоянно увеличивается, приводя к прогрессирующему ухудшению качества воды, и в конечном счете, к полному исчерпыванию самоочищающей способности среды;

2) $\gamma = 1$ при $C_0 < C^*$ (6)

уровень загрязнения водной среды асимптотически приближается к оптимальной концентрации C^*, т.е. во времени сохраняется экологическое равновесие среды;

3) $\gamma = 1$ при $C_0 > C^*$ (7)

водная среда по качеству ухудшается во времени, поскольку аналогично случаю $\gamma > 1$ концентрация вредного вещества монотонно возрастает;

4) $\gamma < 1$ при $C_0 < C''$ (8)

в водном объекте сохраняется большая или меньшая самоочищающая способность водной среды, и все это в пределах обратимых процессов самоочищения (C'' - критическая концентрация загрязняющего вещества, отмечающая начало необратимых процессов самоочищения ($C'' > C^*$));

5) $\gamma < 1$ при $C_0 > C''$ (9)

самоочищающая способность водной среды теряется со временем за счет появления необратимых процессов самоочищения относительно рассматриваемого загрязняющего вещества.

Следовательно, динамика изменения качества водного объекта в основном определяется соотношением (4) в сочетании с начальным (фоновым) загрязнением водной среды. Вышеприведенным наглядно иллюстрируется принцип стадийности антропогенного загрязнения водной среды, т.е. показывается влияние уровня начального загрязнения в зависимости от интенсивности загрязнения водоема q_v на конечное качество водного объекта. В условиях превышения сбросом вредного вещества потенциала самоочищения водной среды ($\gamma > 1$, $q_v > s^*$) концентрация вещества монотонно возрастает, вне зависимости от начальной концентрации C_0. В случае интенсивности сброса, равной или меньшей потенциала самоочищения водной среды ($\gamma = 1$ или $\gamma < 1$), динамика содержания загрязняющего вещества в среде полностью определяется уровнем начального (фонового) загрязнения в водном объекте.

Из условия (8) вытекает, что для сильно загрязненных сред управление их качеством возможно лишь при установлении интенсивности загрязнения q_v (ПДС) на уровне, находящемся существенно ниже потенциала самоочищения среды.

Отметим, что к аналогичным выводам можно прийти при применении и других отличающихся от (3) гипотетических видов функции самоочищения $s(c)$ [2].

Теперь, принимая безразмерный параметр (4) за критерий, оценивающий на экологическом плане (относительно потенциала самоочищения) влияние сброса загрязняющих веществ на качество водного объекта, и обозначив

$$\frac{q_v}{s^*} = ЭК \qquad (10)$$

(ЭК - экологический критерий, позволяющий оценивать водопользователей как источников загрязнения водной среды), на основании случаев (5) - (9) можно установить, что если

$$ЭК > 1 \quad \text{при} \quad C_0 > 0, \tag{5а}$$

то предприятие будет, аналогично случаю (5), водозагрязняющим, сточные воды которого приводят со временем к полному исчерпыванию ассимилирующей способности водного объекта.

Экологически приемлемыми будут предприятия, на основе случаев (6) и (8) тогда, когда

$$ЭК = 1 \text{ при } C_0 < C^* \text{ или} \tag{6а}$$

$$ЭК < 1 \text{ при } C_0 < C''. \tag{8а}$$

При нарушении условий (6а) и (8а) рассматриваемое предприятие относится к категории водозагрязняющих, поскольку сбрасываемые в водную среду загрязняющие вещества выводят ее со временем за пределы области обратимых процессов самоочищения, т.е., соответственно случаям (7) и (9), когда

$$ЭК = 1 \text{ при } C_0 > C^* \text{ или} \tag{7а}$$

$$ЭК < 1 \text{ при } C_0 > C''. \tag{9а}$$

Надо помнить, что перерабатывающая способность водной среды тесно связана с ее разбавляющей способностью. Как показано в [3], условие наличия большей или меньшей разбавляющей способности водного объекта по i-му веществу выражается неравенством

$$\alpha_i < 1 \tag{II}$$

$$\alpha_i = \frac{C_{\phi i}}{ПДК_i}, \tag{I2}$$

где $C_{\phi i}$ - фоновая концентрация вещества;

ПДК - норматив качества воды водного объекта по i-му веществу.

При $\alpha_i = 1 (C_{\phi i} = ПДК_i)$ разбавляющая способность среды по данному i-му веществу исчерпана.

В случае экологического подхода к вопросам водоохраны соотношение (I2) должно выразиться с помощью стандарта экологического назначения ($ПДК_э$), мерой которого могут служить, например, оптимальная концентрация вредных веществ

C^* (см. с. 2), или критическая концентрация C'' (в случае (8а)). С другой стороны, на основе вышеизложенных представлений фоновая концентрация ($C_{\phi i}$) не что иное, как начальная концентрация данного i-го вещества C_{oi}. Следовательно, критерий (I2) выражается в виде

$$\alpha_i = \frac{C_{oi}}{C_i^*} \text{ (случай 6а) или } \alpha_i = \frac{C_{oi}}{C_i''} \text{ (случай 8а)} \qquad (I3)$$

и условие наличия разбавляющей способности водного объекта (II), на основании зависимостей (I3), записывается соответственно $C_{oi} < C_i^*$ или $C_{oi} < C_i''$. Из последнего ясно, что приданные к случаям (6 или 6а) и (8 или 8а) дополнительные условия относительно фонового (начального) загрязнения не что иное, как условия наличия разбавляющей способности водного объекта относительно данного загрязнения. Иначе говоря, любое предприятие, являющееся источником загрязнения водного объекта, будет экологически приемлемым только тогда, когда сохраняется разбавляющая способность водного объекта относительно загрязнения данного предприятия или, что то же самое, сохраняется самоочищающая способность водной среды.

Выражая разработанные для предприятия ПДС через интенсивность сброса $q_{пдс}$, критерий (I0) в виде $ЭК' = q_{пдс}/s^*$ может служить (с одновременным учетом условий (5а)-(9а)) оценке степени водоохранности самих же установленных для предприятий ПДС, т.е. если

I) $ЭК' > I$

предлагаемые ПДС не гарантируют во времени экологического благополучия водного объекта;

2) $ЭК' = I$ при $C_0 < C^*$ или (I4)
$ЭК' < I$ при $C_0 < C''$ (I5)

применяемые ПДС относятся к водоохранным, поскольку гарантирована большая или меньшая ассимилирующая способность водного объекта, и все это в области обратимых процессов самоочищения;

3) $ЭК' = I$ при $C_0 > C^*$ или
$ЭК' < I$ при $C_0 > C''$

данные ПДС экологически водозагрязняющие - содержание за-

грязняющего вещества растет со временем и водный объект выходит за пределы области обратимых процессов самоочищения.

При рассмотрении ПДС как критерия управления качеством воды водных объектов, необходимо учитывать соотношение между установленным стандартом качества ПДК и C^*, а также важно знать, каковы должны быть соотношения между скоростью загрязнения водной среды q и потенциалом самоочищения s^*, чтобы удовлетворялись заранее установленные нормативы качества воды (ПДК).

Очевидно, если установленные в настоящее время нормативы качества воды (ПДК) одного и того же порядка оптимальной концентрацией C^*, при выполнении предприятиями этих ПДК предприятия относятся к категории водоохранных, поскольку со временем сохраняется большая или меньшая перерабатывающая способность водной среды (при условии, что q не превышала s^*). Однако анализ существующих нормативов загрязняющих веществ (особенно в районах с преимущественно хозяйственным использованием) показывает, что в ряде случаев концентрация C^* меньше величины ПДК [2], обстоятельство, которое вроде бы узаконит загрязнение водного объекта на уровне, превышающем потенциал самоочищения. Этим и объясняется отмеченное в последнее время (в районах хозяйствования, где $q > s^*$) заметное снижение качества воды.

Безразмерный анализ решения (2) при случаях $\gamma = 1$ и $\gamma < 1$ показывает [1], что в случае умеренного загрязнения воды ($C_0 \leq C^*$) заданная ПДК, равная или выше концентрации C^*, достижима в случаях $\gamma \leq 1$ ($q \leq s^*$); при ПДК $< C^*$ - только в случае $\gamma < 1$.

При средней степени загрязнения водного объекта ($C^* < C_0 < C''$) установленная ПДК может быть достигнута только при $\gamma < 1$ ($q < s^*$), т.е. только при фиксированной ниже потенциала самоочищения среды интенсивности сброса загрязняющих веществ.

Следовательно, удовлетворяющие условиям (14) ПДС гарантируют фиксированный норматив (ПДК) только в водных объектах со слабым фоновым загрязнением ($C_0 < C^*$). При условии

(I5) ПДК достижимы также в объектах со средним загрязнением ($C^* < C_0 < C''$), но только при $q_{пдс} < s^*$.

Очевидно, что зависимости (I4) и (I5) могут служить и определению самих же экологических ПДС (в виде интенсивности сбросов), зная по величине показатели C_0, C^*, C'' и s^*. В случае (I4), когда $C_0 < C^*$ ПДС определяется на уровне потенциала самоочищения s^*. В случае (I5), когда $C^* < C_0 < C''$ экологический ПДС по данному ЗВ должен быть всегда ниже потенциала самоочищения ($q_{пдс}/s^* < 1$).

Литература

I. Мелешкин М.Т. Экологические проблемы мирового океана. М., I98I. 279 с.

2. Экономико-экологические проблемы морской среды / Под ред. М.Т. Мелешкина. Киев: Наукова думка, I982. 224 с.

3. Сяэрекыннэ Ю.Я. К вопросу нормирования качества воды с учетом аддитивности вредного действия загрязняющих веществ с одинаковым лимитирующим показателем вредности // Тр. Таллиннск. политехн. ин-та. I985. № 569. С. 5I.

J. Saarekõnno

Veekogude reostusallikate hindamise ökoloogilisest kriteeriumist

Kokkuvõte

Reoaine isepuhastusprotsessis muutumise diferentsiaalvõrrandi analüüsi tulemusena antakse veekogu reostusallikate veekvaliteedi hindamise dimensioonitu kriteerium ja selle kasutamise tingimused.

J. Saarekynno

De la détermination des critères écologiques pour évaluer des entreprises comme sources de pollution de l'environnement aqueux

Résumé

En se basant sur l'analyse de l'équation différentielle de variation de la pollution avec le temps (t) au milieu aqueux le critère écologique adimensionnel (EK=q/S*) et ses conditions d'utilisation sont proposés (si EK > 1 - l'entreprise est toujours considéré comme une polluer des eaux-récepteurs; si EK = 1 (en cas où $C_o < C^*$) ou bien EK < 1 (quand $C_o < C''$) - l'entreprise ne contamine pas de l'ambiance aqueuse; q - intensité de pollution; S* - vitesse maximale de la capacité d'autoépuration, correspondant à la concentration optimale du polluant C* dans les eaux naturelles; C_o - concentration initiale de la pollution (où t = 0); C'' - concentration critique des polluants désignant le début des processus irréversibles de l'autoépuration ($C'' > C^*$)).

Le critère EK sous la forme $EK' = q_{PD}/S^*$ peut être utilisé pour évaluer le taux de risque de pollution des normes d'évacuation maximale admissible des matières polluantes (PDS), eux-mêmes (q_{PD} - la vitesse de pollution correspondant à PDS).

№ 686

TALLINNA POLÜTEHNILISE INSTITUUDI TOIMETISED

ТРУДЫ ТАЛЛИННСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

УДК 532.517

А.А. Айтсам, Э.Н. Даниель, У.Р. Лийз

СВЯЗЬ МЕЖДУ КАСАТЕЛЬНЫМИ НАПРЯЖЕНИЯМИ НА СТЕНКЕ И СТРУКТУРОЙ ПОТОКА ПРИ ЗАМЕДЛЕННЫХ ТЕЧЕНИЯХ В ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ТРУБАХ

Введение

Замедленные режимы течения жидкости возникают в различных областях гидромеханики, при закрытии клапанов и задвижек, при выключении из работы гидравлических машин. Многие работы ученых указывают на имеющиеся недостатки в использовании только осредненных величин для расчета таких течений, поскольку развитие турбулентности при замедленных течениях имеет свой особый характер и при этом не позволяет использовать аналогию с осциллирующими и пульсирующими движениями.

Целью настоящей работы является определение влияния замедленного течения на формирование эпюр скорости при линейном изменении средней по сечению скорости. Экспериментально полученные результаты об изменении двух составляющих скорости u и w при двух режимах замедления сопоставляются и анализируются с полученными результатами об изменении касательных напряжений на стенке.

Проведение экспериментальных работ замедленных течений

При экспериментальном определении локальных характеристик замедленных во времени течений в работах советских и зарубежных исследователей использовались преимущественно два способа: метод термоанемометрии и визуализация потока. Однако имеющиеся до сих пор экспериментальные данные не позволяют связать структуру потока с примыкающими к стенке

слоями потока. Другими словами, отсутствуют данные об одновременном измерении касательного напряжения на стенке потока с локальными скоростями пристенной части и в переходной области потока.

В лаборатории гидравлики проведена серия экспериментов замедленных течений с целью определения мгновенных характеристик пристенной области потока с одновременными измерениями мгновенного значения касательного напряжения на стенке.

Опытная установка, включающая систему записи экспериментальных данных, систему, обеспечивающую регулировку расходов по заданной программе, описана в работах [I, 2].

Для определения мгновенных составляющих скорости замедленного потока использовался двухкомпонентный лазерный допплеровский анемометр (ЛДА) фирмы "ДАНТЕК". В измерительную систему входит система траверсирования, управляемая от ЭВМ и позволяющая с большой точностью произвести перемещения измерительного объема вдоль мерной секции. Применение ЛДА в условиях лаборатории гидравлики ТПИ рассмотрено в работе [3].

Для повышения точности установки управления измерительным объемом в "мерную точку" использовалось специальное устройство, позволяющее с помощью микроскопа настроить до начала экспериментов измерительный объем на специальный репер, служащий началом координатной системы. Диаметр исследуемого трубопровода 34 мм и в работе применялась измерительная секция, описываемая в [I]. Управление экспериментами и запись экспериментальных данных полностью автоматизированы. Для определения мгновенных эпюр скоростей измерения проводились в I3 точках по радиусу. Для составления энсамбля и дальнейшей статистической обработки экспериментальных данных в каждой точке измерение с одинаковыми начальными условиями повторялось не менее 30 раз. До настоящего момента проведены и обработаны два режима с полным закрытием регулирующего клапана, управляемого через шаговый двигатель с помощью ЭВМ за 3,0 и 5,0 с.

Предварительные результаты измерений

Для проверки способа измерения с помощью ЛДА была проведена серия экспериментов при стационарном режиме течения. Измерению подвергались те режимы течения, которые были исходными для последующего замедления потока. Полученные эпюры скоростей интегрировались с помощью ЭВМ и результаты сравнивались с показаниями электромагнитного расходомера специальной конструкции, обеспечивающей измерение мгновенных расходов. Расхождение между показаниями обоих методов не превышает 0,5 %.

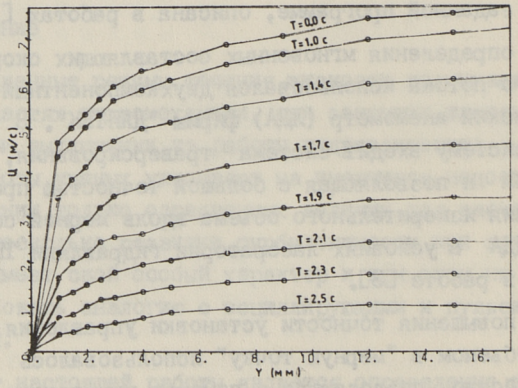

Рис. 1. Изменение эпюр скорости при режиме течения жидкости с постоянным замедлением за 3 с. $-\frac{dv}{dt} = 1{,}98$ м/с^2.

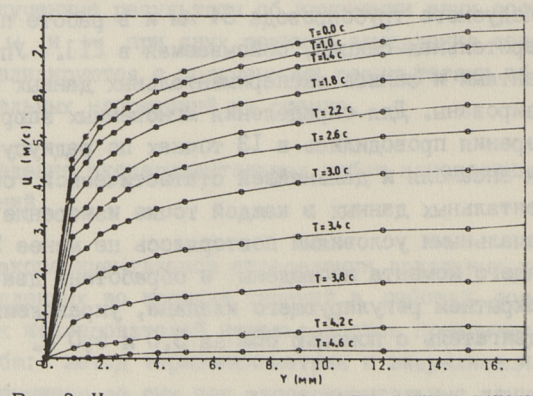

Рис. 2. Изменение эпюр скорости при режиме течения жидкости с постоянным замедлением за 5 с. $-\frac{dv}{dt} = 1{,}16$ м/с^2.

На рис. I и 2 приводятся результаты измерения эпюр распределения скоростей при двух режимах замедленного движения соответственно с двумя временами закрытия клапанов 3,0 и 5,0 с. Время, указанное на каждом распределении скоростей, соответствует моменту, измеряемому от начала закрытия регулируемого затвора, расположенного в начале трубопровода.

Необходимость проведения исследования распределения скоростей в разные моменты времени замедленного течения связана с результатами работы [2] - в конце процесса замедления мгновенная средняя по сечению скорость v и касательное напряжение на стенке $\tau_{он}$ не находятся в фазе. Эксперименты показывают, что $\tau_{он}$ измеренное с помощью термоанемометра непосредственно на стенке обращается в 0 раньше, чем величина средней скорости v. В качестве иллюстрации данного явления приводятся здесь статистические данные обработки ансамбля из опытов, которые соответствуют времени закрытия 5,0 с (рис. 3), т.к. величина касательного напряжения $\tau_{он}$ на стенке, согласно закона Ньютона, зависит от градиента скорости на стенке.

$$\tau_{он} = -\mu \left|\frac{du}{dy}\right|_0 .$$

В моменты, когда $\tau_{он} \to 0$, градиенты скорости $|du/dy|$ должны также приближаться к нулю. Отсюда следует дальнейшее, что в сечении последующие моменты времени могут иметь отрыв центральной части потока с последующим обратным течением вдоль твердых стенок. Такое явление связано с резким торможением пристенных слоев жидкости, что в свою очередь связано с уменьшением количества движения в этом слое. На рис. 4 приводятся эпюры продольных скоростей соответствующие моментам от $T = 4{,}2$ с до 4,9 с. Отсюда видно, что в момент времени $T = 4{,}6$ с градиент скорости $du/dy = 0$ и дальше возникает распространяющееся от стенки обратное течение.

Однако, как показывает исследование составляющих скоростей, при этом в пристенной области наблюдаются сложные кинематические процессы, которые нельзя описать одномерно. В качестве примера на фиг. 5 приводятся реализации тангенциальной скорости $\langle w \rangle$, определенные по методу ансамбля в трех точках пристенной области в ходе эксперимента длительностью 5,0 с. Хорошо известно, что в стационар-

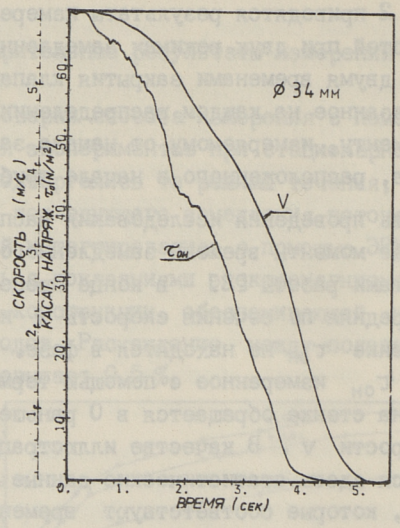

Рис. 3. Изменение средней по сечению скорости и касательного напряжения на стенке при замедленном режиме течения жидкости

$-\frac{dv}{dt} = 1{,}16$ м/с^2.

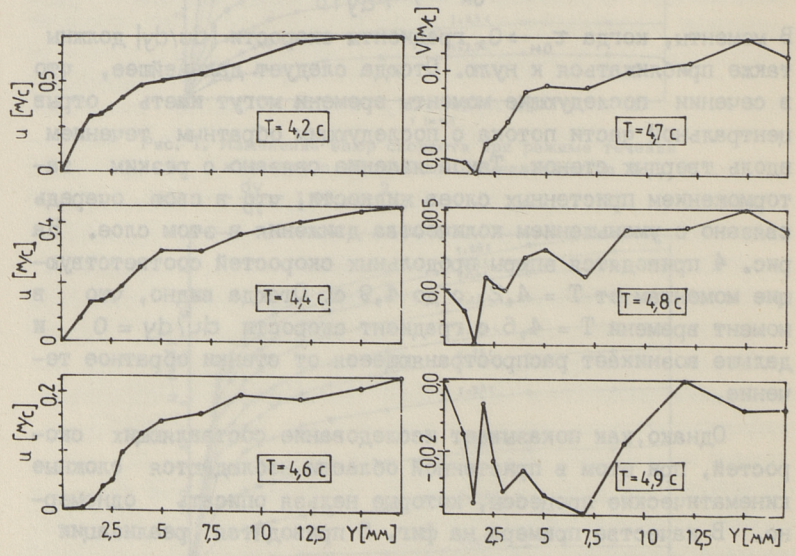

Рис. 4. Изменение профиля скорости в последние моменты замедления в трубопроводе диаметром 34 мм

$-\frac{dv}{dt} = 1{,}16$ м/с^2.

ных потоках осредненная во времени величина $\overline{w} = 0$, однако наблюдаемая в настоящих опытах относительно большая тангенциальная скорость $\langle w \rangle = \sim 4$ см/с указывает на наличие закрутки потока в слое толщиной до 2,0 мм. Как показывают экспериментальные данные, закрутка при этом в ходе процесса замедления меняет свое направление. В центральной части потока на расстояниях $y = 2{,}0 - 17{,}0$ мм закрутка отсутствует.

Надо отметить, что определялось изменение касательных напряжений на стенке в восьми точках вокруг периметра трубопровода. Результаты обработки по методу ансамбля отдельных серий показали, что касательное напряжение во всех точках на стенке изменяется по одинаковому закону.

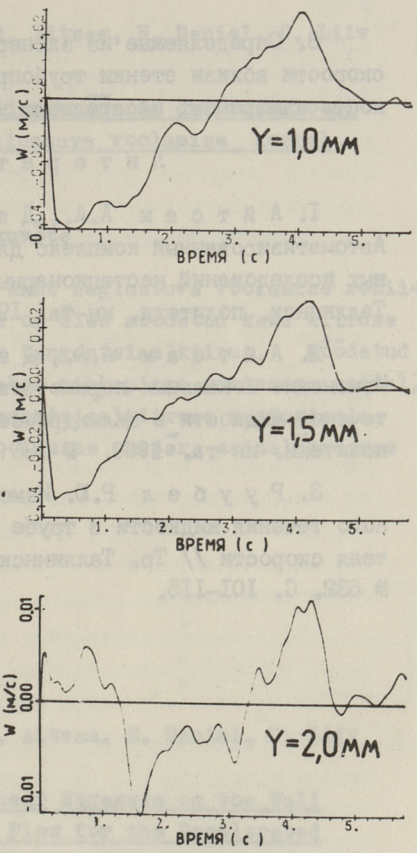

Рис. 5. Изменение тангенциальной составляющей скорости в различные моменты времени на расстоянии 1; 1,5 и 2 мм от стенки трубопровода

$-\frac{dv}{dt} = 1{,}16$ м/с^2.

Основные выводы

I. При замедленных течениях в пристенной области возникает слой, который характеризуется появлением тангенциальной скорости.

2. Проведенные вдоль периметра в восьми точках измерения касательного напряжения не стенке позволяют предполагать, что вышеуказанный слой наблюдается по всему периметру.

3. Определяемые из экспериментальных данных градиенты скорости вблизи стенки трубопровода подтверждают правильность измеренных касательных напряжений на стенке.

Литература

1. Айтсам А.А., Даниель Э.Н., Сарв Л.Э. Автоматизированный комплекс для проведения экспериментальных исследований нестационарных потоков в трубе // Тр. Таллиннск. политехн. ин-та. 1988. № 661. С. 60-72.

2. Айтсам А.А., Даниель Э.Н., Сарв Л.Э. Изменение локальных параметров при постоянном замедлении течения жидкости в цилиндрических трубах // Тр. Таллиннск. политехн. ин-та. 1989. № 686. С. 19-32.

3. Руубел Р.Ю. Измерение параметров стационарного течения жидкости в трубе с помощью лазерного измерителя скорости // Тр. Таллиннск. политехн. ин-та. 1987. № 632. С. 101-115.

A. Aitsam, E. Daniel, U. Liiv

Nihkepinge muutuse ning kiirusepüüride deformatsiooni vaheline seos vedelike aeglustuva voolamise korral silindrilistes torudes

Kokkuvõte

Artiklis vaadeldakse kaht aeglustuva voolamise režiimi. Laserkiirusmõõturi abil on üles mõõdetud kaks kiiruse komponenti: pikikiirus ning tangentsiaalkiirus. Mõõdetud pikikiiruse epüüre võrreldakse nihkepinge muutusega seinal.

Toetudes mõõdetud tangentsiaalkiiruse muutumisele, kirjeldatakse aeglustuva voolamise omapära seinalähedases osas.

A. Aitsam, E. Daniel, U. Liiv

Connection between Shear Stresses on the Wall and the Structure of Flow for the Decelerated Flow in Cylindrical Pipes

Abstract

In the present paper two regimes of decelerated flow are described. LDV is used to obtain the results about change of velocity near the wall.

This paper gives comparisons between velocity profiles and shear stress on the wall in the same time during the deceleration.

№ 686

TALLINNA POLÜTEHNILISE INSTITUUDI TOIMETISED

ТРУДЫ ТАЛЛИННСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

УДК 628.356

М. Гросс

ЭЖЕКТОРНЫЕ АЭРАТОРЫ В МАЛОЙ КАНАЛИЗАЦИИ

При очистке сточных вод активным илом, а также в биологических прудах применяются различные способы аэрации. На малых установках нашли свое место эжектроные аэраторы, которые входят в систему комбинированных аэраций. Они имеют некоторые преимущества по сравнению с пневматическими и механическими аэрационными устройствами, такие как: простота конструкции, малая материалоемкость, высокая надежность, удобство эксплуатации, возможность плавно регулировать интенсивность аэрации и перемешивания сточной жидкости в очистном сооружении.

Недостатком эжекторных аэраторов можно считать невысокую эффективность, которая остается в пределах 0,5 ... I,0 кг O_2 на I кВт затраченной энергии [I, 2, 3].

В систему эжекторной аэрации входят насос(ы), трубопровод и эжектор(ы). Если соединить эжектор непосредственно с погруженным насосом, формируется компактная установка без трубопроводов. К сожалению, подходящие для этой цели канализационные погружные насосы в СССР еще не производятся, поэтому приходится пользоваться фекальными и рыбными насосами.

Изготовление эжекторных аэраторов несложно, нужно лишь знать некоторые конструктивные параметры.

Окислительная способность эжекторного аэратора зависит от расхода эжектируемого воздуха $Q_в$ и от степени растворения кислорода в воде β. Последняя в свою очередь зависит от содержания солей и ПАВ в воде, от температуры воды и воздуха, от атмосферного давления воздуха и от конструктивных параметров самого аэратора. Расход всасываемого эжектором воздуха зависит от коэффициента инжек-

ции аэратора U_0. С целью определения зависимостей между β, U_0 и конструктивными параметрами эжекторного аэратора в гидравлической лаборатории кафедры гидросооружений Эстонской сельскохозяйственной академии была проведена серия опытов, в результате которых разработана методика расчета параметров одноступенчатого эжектроного аэратора и выбора подходящего для него насоса, исходя из нужного содержания кислорода в воде.

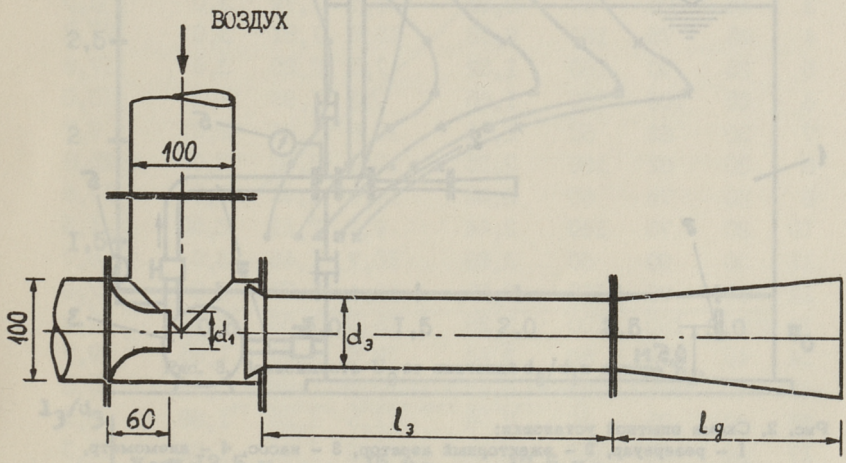

Рис. 1. Схема эжекторного аэратора.

Опыты проводились на сборном эжекторе (рис. I), сопло и камера смешения которого являлись сменными. Примененные коноидальные сопла (коэффициент расхода μ = 0,95) имели диаметры 25, 30 и 40 мм, а камеры смешения диаметры 62, 75, 90 и I00 мм.

Эжекторы испытывались в цилиндрической емкости диаметром 3 м и глубиной 3 м, глубина воды во время всех опытов составляла 2,5 м (объем воды I7,5 м^3), эжекторы были установлены на разных глубинах - I,0, I,5 и 2,0 метра, их питание осуществлялось с помощью центробежного насоса 4к-I8 (Q_n = 9...I8 л/с).

Во время опытов были измерены расход воды (по характеристике предварительно протарированного насоса), расход

эжектируемого воздуха (скорость с помощью анемометра), рабочее давление эжектора, потребляемая мощность, температура воды и окислительная способность эжектора (сульфитным методом, содержание растворенного кислорода с помощью электрохимических анализаторов ОКСИМЕТ и ТЕРМООКСИМЕТ).

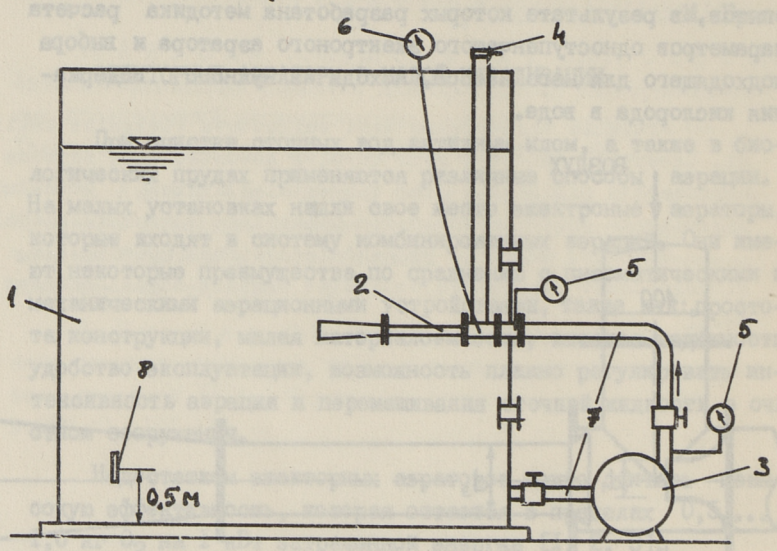

Рис. 2. Схема опытной установки:
1 – резервуар, 2 – эжекторный аэратор, 3 – насос, 4 – анемометр, 5 – манометр, 6 – вакуумметр, 7 – соединительные трубы, 8 – датчик анализатора кислорода.

Сводные данные опытов представлены в таблице I и рисунках 3 ($U_0 = f(H_{эж}; d_3/d_1)$) и 4 ($U_0 = f(v_{d1}; l_3/d_3)$).

Чтобы коэффициент инжекции U_0 превышал 1,5, напор $H_{эж}$ должен быть более 12,5 м и отношение d_3/d_1 должно находиться в пределах между 2 и 3. При больших погружениях рекомендуется меньшее значение, и наоборот. Например, при погружении эжектора на 1,5 м напор $H_{эж}$ должен быть более 12,5 м и отношение d_3/d_1 находится в пределах между 2 и 3. При больших погружениях рекомендуется меньшее значение и наоборот. Например, при погружении эжектора на 1,5 м рекомендуется отношение d_3/d_1 = 2,2–2,4.

Длина камеры смешения определяется по значению l_3/d_3 На рис. 4 видно, что оптимальным является l_3/d_3 = 12–15. Этот вывод совпадает с результатами более ранних опытов.

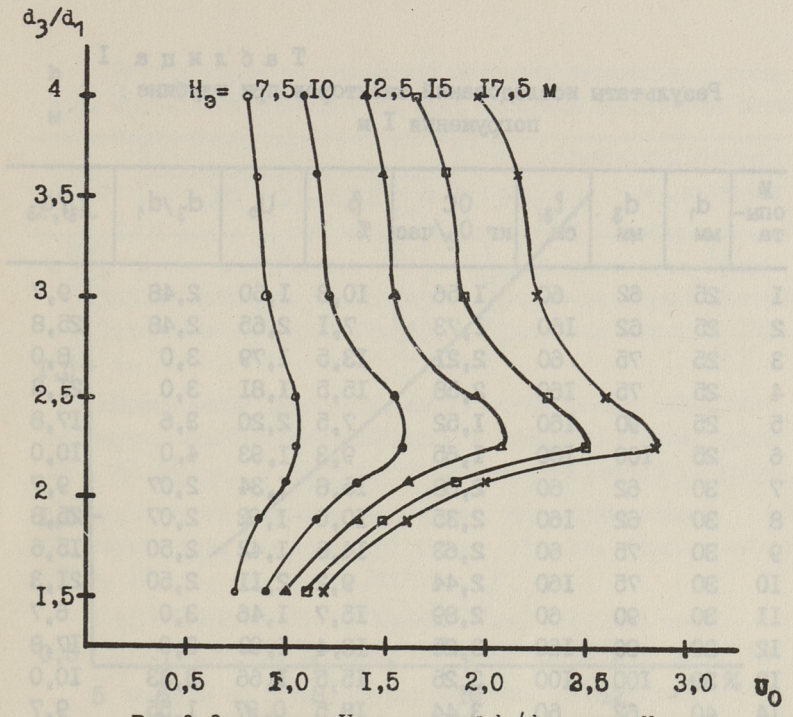

Рис. 3. Зависимость U_0 от значений d_3/d_1 и напора $H_э$.

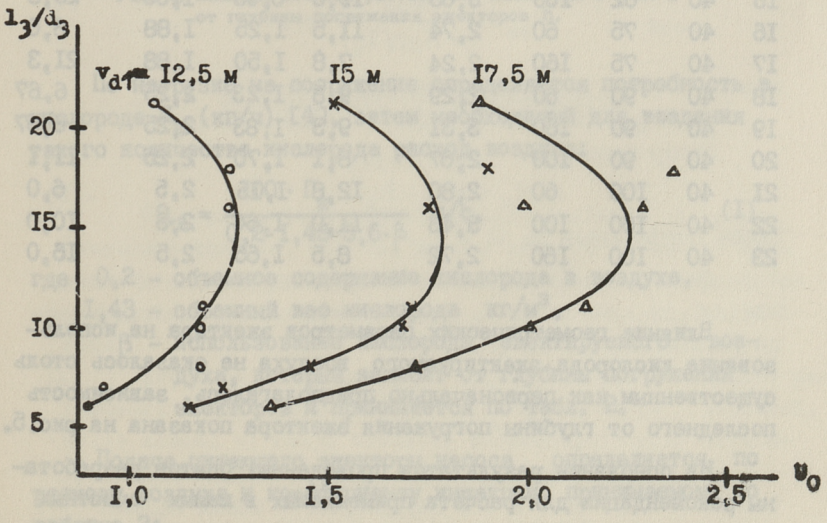

Рис. 4. Зависимость U_0 от значений l_3/d_3 и от скоростей.

Таблица I

Результаты исследований эжекторов при глубине погружения I м

№ опыта	d_1 мм	d_3 мм	l_3 см	ОС кг O_2/час	β %	U_0	d_3/d_1	l_3/d_3
I	25	62	60	I,56	I0,3	I,60	2,48	9,7
2	25	62	I60	I,73	7,I	2,65	2,48	25,8
3	25	75	60	2,2I	I3,5	I,79	3,0	8,0
4	25	75	I60	2,58	I5,5	I,8I	3,0	2I,3
5	25	90	I60	I,52	7,5	2,20	3,6	I7,8
6	25	I00	I00	I,65	9,3	I,93	4,0	I0,0
7	30	62	60	2,68	I5,8	I,34	2,07	9,7
8	30	62	I60	2,35	I0,0	I,92	2,07	25,8
9	30	75	60	2,63	I4,6	I,42	2,50	I5,6
I0	30	75	I60	2,44	9,2	2,II	2,50	2I,3
II	30	90	60	2,89	I5,7	I,46	3,0	6,7
I2	30	90	I60	3,25	I3,4	I,92	3,0	I7,8
I3	30	I00	I00	3,25	I5,5	I,66	3,33	I0,0
I4	40	62	60	3,44	I8,5	0,97	I,55	9,7
I5	40	62	I60	3,65	I9,6	0,98	I,55	25,8
I6	40	75	60	2,74	II,5	I,25	I,88	8,0
I7	40	75	I60	2,24	7,8	I,50	I,88	2I,3
I8	40	90	60	2,29	9,8	I,23	2,25	6,67
I9	40	90	I60	3,3I	9,3	I,83	2,25	6,67
20	40	90	I00	2,67	8,I	I,70	2,25	II,I
2I	40	I00	60	2,80	I2,8	I,I5	2,5	6,0
22	40	I00	I00	3,43	II,0	I,64	2,5	I0,0
23	40	I00	I60	2,72	8,5	I,66	2,5	I6,0

Влияние геометрических параметров эжектора на использование кислорода эжектируемого воздуха не оказалось столь существенным как первоначально предполагалось, зависимость последнего от глубины погружения эжектора показана на рис.5.

На основании результатов проведенных опытов разработаны рекомендации для расчета применяемых в малых очистных сооружениях и биологических прудах одноступенчатых горизонтальных аэрационных эжекторов.

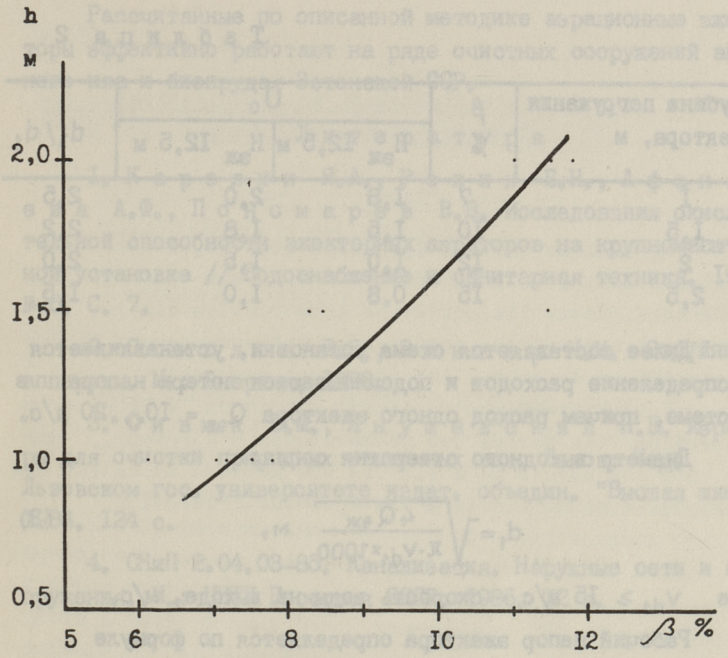

Рис. 5. Влияние степени растворения кислорода в воде β от глубины погружения эжекторов h.

По нагрузке на сооружение определяется потребность в кислороде $П_к$ (кг/ч) [4], затем необходимый для введения такого количества кислорода расход воздуха:

$$Q_в = \frac{100 \cdot П_к}{0{,}2 \cdot 1{,}43 \cdot 3{,}6 \cdot \beta} \text{ л/с}, \qquad (1)$$

где 0,2 – объемное содержание кислорода в воздухе,
1,43 – объемный вес кислорода кг/м^3,
β – использование кислорода эжектируемого воздуха, который зависит от глубины погружения эжекторов и принимается по табл. 2.

Подача питающего эжекторы насоса определяется по расходу воздуха и коэффициенту инжекции, принимаемому по таблице 2:

$$Q = \frac{Q_в}{U_0} \text{ л/с}. \qquad (2)$$

Таблица 2

Глубина погружения эжектора, м	β %	U_0		d_3/d_1
		$H_{эж}$ 12,5 м	$H_{эж}$ 12,5 м	
1	7	1,8	2,0	2,5
1,5	10	1,5	1,8	2,2
2	12	1,0	1,5	2,0
2,5	15	0,8	1,0	1,5

Далее составляется схема установки, устанавливается распределение расходов и подсчитываются потери напора в системе, причем расход одного эжектора $Q_{эж}$ = 10...20 л/с.

Диаметр выходного отверстия сопла:

$$d_1 = \sqrt{\frac{4Q_{эж}}{\pi \cdot v_{d1} \times 1000}} \text{ м}, \qquad (3)$$

где $v_{d1} \geq 15$ м/с – скорость воды на выходе, м/с.

Рабочий напор эжектора определяется по формуле

$$H_{эж} = \left(\frac{Q_{эж}}{\mu \cdot A_{d1}\sqrt{2g}}\right)^2 \text{ м}, \qquad (4)$$

где μ = 0,95 – коэффициент расхода сопла,

A_{d1} – площадь выходного сечения сопла, м^2.

Напор насоса:

$$H_н = H_{эж} + h_t \text{ м}. \qquad (5)$$

Насос подбирается по Q и $H_н$.

Диаметр камеры смешения следует определять по отношению d_3/d_1 по табл. 2. Длины камеры смешения и диффузора рассчитываются по формулам:

$$l_3 = (6...9) \cdot d_3 \qquad (6)$$

$$l_д = (4...6) \cdot d_3. \qquad (7)$$

Эжекторные аэраторы в биопрудах и малых очистных установках могут быть и без диффузоров. В таком случае:

$$l_3 = (10...15) \cdot d_3. \qquad (8)$$

Рассчитанные по описанной методике аэрационные эжекторы эффективно работают на ряде очистных сооружений активного ила и биопрудах Эстонской ССР.

Литература

1. Карелин Я.А., Репин Б.Н., Афанасьева А.Ф., Понсмарев В.В. Исследования окислительной способности эжекторных аэраторов на крупномасштабной установке // Водоснабжение и санитарная техника. 1981. № 6. С. 7.

2. Соколов Е.Я., Зингер Н.М. Струйные аппараты. М.: Энергия, 1970.

3. Сивак В.М., Янушевский Н.Е. Аэраторы для очистки природных и сточных вод. Львов: Изд. при Львовском гос. университете издат. объедин. "Высшая школа" 1984. 124 с.

4. СНиП 2.04.03-85. Канализация. Наружные сети и сооружения. М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. 72 с.

M. Gross

Õhustusejektorid väikepuhastites

Kokkuvõte

Väikepuhastites võib õhustusseadmetena kasutada õhustusejektoreid, mis oma lihtsa ehituse tõttu on valmistatavad igas korralikus mehaanikatöökojas. Puuduvad aga vastavad juhised ejektorite arvutamiseks ja ehitamiseks.

Artiklis on kirjeldatud ejektorite geomeetriliste parameetrite määramiseks tehtud katseid ja nende tulemusi, mille alusel on välja töötatud õhustusejektorite arvutamise metoodika.

M. Gross

Les éjecteurs d'aération en installation d'épuration des eaux usées

Résumé

On indique que les éjecteurs sont utilisées en installations petites d'épuration des eaux usées comme aérateurs. Comme ils ont d'une construction simple, leur fabrication n'est pas compliquée. Malheureusement des instructions de calcul des éjecteurs manquent.

Dans cet article on décrit plusieurs essais pour déterminer des paramètres géométriques d'éjecteur. Sur la base des essais on a élaboré une méthode de calcul des paramètres géométriques d'une éjecteur d'aération.

ТАЛЛИННСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Труды ТПИ № 686
НЕУСТАНОВИВШИЕСЯ ПРОЦЕССЫ В СИСТЕМАХ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ
Санитарная техника XXI
На русском языке
Отв. редактор У. Тибар
Техн. ред. А. Андриевская
Сборник утвержден коллегией Трудов ТПИ 06.01.89
Подписано к печати 23.08.88
МВ-05253
Формат 60x90/16
Печ. л.5,75+0,5.Уч.-изд. л. 5,0
Тираж 300
Зак. № 497
Цена 1 руб.
Таллиннский политехнический институт
200108 Таллинн, Эхитаяте тее, 5
Ротапринт ТПИ, 200006 Таллинн, ул. Коскла, 2/9

№ 686

TALLINNA POLÜTEHNILISE INSTITUUDI TOIMETISED
ТРУДЫ ТАЛЛИННСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

НЕУСТАНОВИВШИЕСЯ ПРОЦЕССЫ В СИСТЕМАХ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ

Санитарная техника XXI

УДК 551

Оперативная оценка качества воды рек. Пааль Л.Л., Вийес В.Р., Сууркаск В.А. – Труды Таллиннского политехнического института, 1989, № 686, с. 3–6.

Малые реки чувствительны к антропогенному воздействию. Для предотвращения необратимых экологических сдвигов нужна оперативная информация о качестве воды в реках и прогноз трансформации в результате сброса загрязняющих веществ в реки. В этих целях применяется ЭВМ. Получается информация о распространении веществ загрязнения, о лимитирующих расходах и о требуемой степени очистки перед выпуском веществ загрязнения в реки.

Рис. I, библ. наименований – I.

УДК 532.54

Алгоритм управления работой скважинных насосов. Кару Я.Я., Коппель Т.А., Педак Х.Н., Тийман А.Ю. – Труды Таллиннского политехнического института, 1989, № 686, с. 7–18.

В статье анализируется проблема определения оптимальной схемы работы насосов на основе изменения уровня воды в резервуарах. В результате находится экономный график подключения скважинных насосов.

Рис. – 3, библ. наименований – 3.

Tehnoülik Raamatukogu
EMSV TA
TALLINN
АН ЭССР
Научная библиотека

УДК 532.517

Изменение локальных параметров при постоянном замедлении течения жидкости в цилиндрических трубах. Айтсам А.А., Даниель Э.Н., Сарв Л.Э. - Труды Таллиннского политехнического института, 1989, № 686, с. 19-32.

В работе рассматриваются замедленные течения жидкости при разных режимах с постоянными градиентами замедлений. Результаты измерения касательного напряжения, расхода жидкости, давления при 5 разных режимах замедлений используют для вычисления коэффициента поверхностного трения в трубах двух диаметров 34 и 60 мм. Законы изменения касательного напряжения в замедленных течениях во многом зависят от величины замедления. Как показывают исследования линейного и нелинейного во времени изменения средней по сечению скорости, одинаковое время до полного заторможения жидкости дает нам различные законы изменения коэффициентов поверхностного трения.

Рис. - 14, библ. наименований - 6.

УДК 532.542

О коэффициенте поверхностного трения при замедленных течениях. Айтсам А.А., Даниель Э.Н., Сарв Л.Э. - Труды Таллиннского политехнического института, 1989, № 686, с.33-42.

В работе рассматривается коэффициент нестационарного поверхностного трения жидкости и возможность его математического описания. Приводятся зависимости для коэффициента поверхностного трения при разных режимах замедления относительно параметра нестационарности, первых и вторых производных от скорости. Отмечается, что на коэффициент поверхностного трения влияет изменение внутренней структуры течения жидкости при замедлениях.

Рис. - 9, библ. наименований - 4.

УДК 628.33

О разработке малых установок для очистки сточных вод от нефтепродуктов. Пааль Л.Л., Кикас К.А. – Труды Таллиннского политехнического института, 1989, № 686, с. 43–53.

Определены основные тенденции дальнейшего развития малых очистных установок ($Q \geqslant 5$ м^3/ч) для очистки сточных вод от нефтепродуктов. Одновременно с повышением эффективности очистки происходит уменьшение удельных массо-габаритных показателей. Методом математического прогнозирования определены наиболее вероятные технико-экономические показатели установок, которые выпустят через 3–5 лет. Описаны возможности усовершенствования малых установок.

Таблиц – I, рис. – 4, библ. наименований – 9.

УДК 628.356

Пути увеличения эффективности работы аэротенков на основе предэксплуатационных исследований. Блонская В.А., Востриков В.Б., Мёльдер Х.А. – Труды Таллиннского политехнического института, 1989, № 686, с, 54–59.

Обсуждаются результаты полупроизводственных исследований аэротенков на сточных водах г. Таллинна. Приводятся основные параметры процесса с учетом эффективного удаления фосфора. Предлагаются мероприятия по усовершенствованию схемы очистных сооружений.

Таблиц – I, рисунков – 3, библ. наименований – I.

УДК 628.3I:658.53

О комплексном нормировании сбросов общегородских сточных вод в водные объекты. Сяэрекыннo Ю.Я. – Труды Таллиннского политехнического института, 1989, № 686, с. 60–67.

В работе рассматривается метод комплексного нормирования выпуска общегородских канализационных очистных сооружений (КОС), в свете которого лимитирование качества очищенных на КОС сточных вод осуществлялось бы с одновременным

лимитированием сброса производственных сточных вод в городскую канализацию. При этом учитывают возможное разбавление последних в городской канализации, эффективность удаления данного загрязнения на КОС и ассимилирующую способность водного объекта.

Библ. наименований - 3.

УДК 628.39

Об экологических критериях оценки водопользователей как источников загрязнения водной среды.
Сяэрекыннo Ю.Я. - Труды Таллиннского политехнического института, 1989, № 686, с. 68-75.

На основе анализа дифференциального уравнения изменения загрязняющего вещества (ЗВ) во времени (t) за счет естественных процессов самоочищения в работе предлагается экологический безразмерный критерий (ЭК = q/s^*) и условия его применения для оценки предприятий как источников загрязнения водной среды (если ЭК > I - предприятие будет водозагрязняющим, если ЭК = I при $C_0 < C^*$ или ЭК < I при $C_0 < C''$ - предприятие природоохранное; q - интенсивность загрязнения водоема, s^* - максимальная скорость самоочищения, соответствующая оптимальной концентрации ЗВ в водной среде C^*; C_0 - начальная концентрация ЗВ в водном объекте (при $t = 0$); C'' - критическая концентрация ЗВ в водном объекте, отмечающая начало необратимых процессов самоочищения ($C'' > C^*$)).

Предлагаемый критерий ЭК может быть применен в виде ЭК = $q_{ПДС}/s^*$ для оценки природоопасности самих же ПДС ($q_{ПДС}$ - соответствующая ПДС интенсивность сброса).

Библ. наименований - 3.

УДК 532.517

Связь между касательными напряжениями на стенке и структурой потока при замедленных течениях в цилиндрических трубах. - Айтсам А.А., Даниель Э.Н. Лийв У.Р. - Труды Таллиннского политехнического института, 1989, № 686, с. 76-83.

В статье рассматриваются режимы замедленного течения жидкости в трубах. При помощи лазерного доплеровского измерителя скорости определялись продольные и тангенциальные составляющие мгновенной скорости в трубопроводе ∅ 34 мм. Проводится сравнение изменения эпюр скорости в пристенной части с полученными результатами измерения касательных напряжений на стенке, вокруг периметра трубы.

Рисунков - 5, библ. наименований - 3.

УДК 628.356

Эжекторные аэраторы в малой канализации. Гросс М.Р.- Труды Таллиннского политехнического института, 1989, № 686, с. 84-92.

В установках малой канализации расширяется использование эжекторных аэраторов. Изготовлять их несложно, не хватает лишь инструкций для определения их конструктивных параметров.

В статье приводятся результаты исследований, на базе которых разработана методика расчета параметров одноступенчатого эжекторного аэратора.

Таблиц - 2, рисунков - 5, библ. наименований - 4.

EESTI AKADEEMILINE RAAMATUKOGU
1 0200 00082459 3

Цена 1 руб.