

⁶
A-60
МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

У С С Р

КИЕВСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

А.А.ВАСИЛЕНКО

И С С Л Е Д О В А Н И Е
ДВИЖЕНИЯ ЖИДКОСТИ В ТРУБОПРОВОДАХ С ПРИСОЕДИНЕНИЕМ
РАСХОДА ВДОЛЬ ПУТИ

Специальность - 05.278 -

Гидравлика и инженерная гидрология.

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Д. Д. Д. Д.
Киев - 1971

Диссертационная работа выполнена в Киевском инженерно-строительном институте.

Научный руководитель – доктор технических наук,
профессор В.В.Смыслов

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор – А.Е.Белан

кандидат технических наук, старший научный со-

трудник – А.И.Егоров

Ведущее предприятие

– Производственное Управление водопроводно-канализационного хозяйства г.Киева.

Автореферат разослан " 5 " апреля 1971 г.

Защита диссертации состоится в начале мая 1971 г.

на заседании Совета по присуждению ученых степеней Киевского автомобильно-дорожного института /г.Киев-10, ул. Суворова, 1/

О дне защиты диссертации будет объявлено в газете "Правда Украины" или "Радянська Україна".

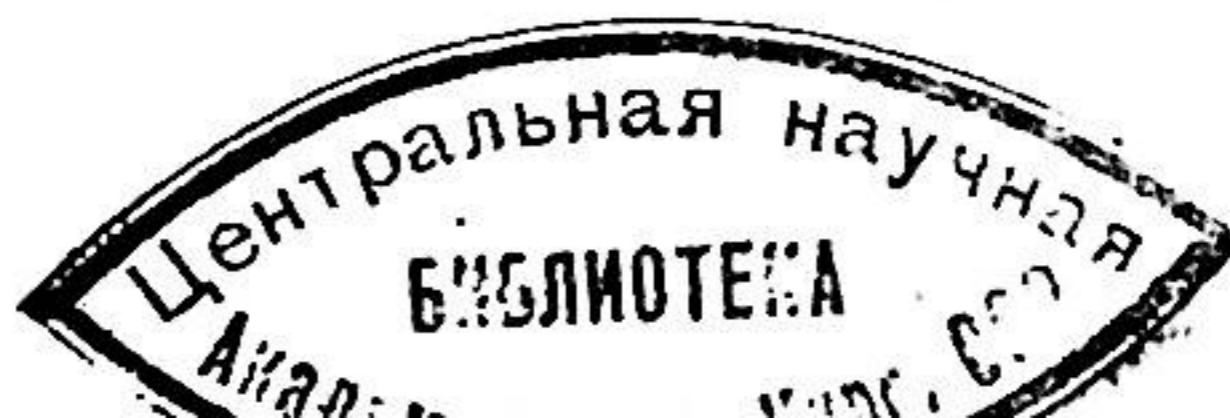
С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Отзыв о работе, заверенный подписями и печатью, в двух экземплярах просим прислать по адресу: Киев-10, ул. Суворова, 1.

Ученый секретарь

Совета института, доцент

П.В.БОРОВСКИЙ



В сооружениях для очистки природных и сточных вод, различного типа водозаборных, мелиоративных и гидротехнических сооружениях, системах вентиляции применяются трубопроводы, в которых происходит движение жидкости с присоединением расхода вдоль пути.

От надежности работы этих трубопроводов часто зависит режим работы всего сооружения в целом, а в очистных сооружениях — и качество очистки воды. Все это свидетельствует о важности правильного расчета и конструирования сборных систем.

Конструктивно трубопроводы для сбора жидкости выполняются постоянного, переменного поперечного сечения и ступенчато изменяющегося /телескопические/. Поступление жидкости в них может осуществляться через прорезанные в боковой поверхности продольные или поперечные щели, а также через просверленные отверстия.

Движение жидкости, происходящее внутри таких трубопроводов, описывается уравнениями гидравлики переменной массы.

За последние годы отечественными и зарубежными исследователями была проведена большая работа, направленная на создание общей теории расчета трубопроводов с присоединением расхода вдоль пути. Следует отметить, что изучение движения среды в трубопроводах с изменением расхода вдоль пути идет в двух направлениях. Одни исследования проводятся для случая движения воздуха, а другие — для воды. Основное внимание в них уделяется движению жидкости с раздачей расхода вдоль пути, а случаю движения с присоединением уделено значительно меньше работ.

В существующих же работах до настоящего времени еще нет до-

статочно обобщенных методов расчета сборных трубопроводов, которые охватили бы целую область явлений. Актуальность и недостаточная разработанность методов инженерного расчета трубопроводов с переменным вдоль пути расходом требовали постановки и осуществления исследований, направленных на решение основных вопросов этой проблемы.

В диссертационной работе излагаются результаты теоретических и экспериментальных исследований движения жидкости в трубопроводах постоянного поперечного сечения с присоединением расхода вдоль пути. Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения, в конце каждой главы приводятся выводы.

В первой главе приводится краткий обзор работ, посвященных движению жидкости с присоединением расхода вдоль пути.

Движение потока с присоединением расхода вдоль пути является частным случаем более общего движения жидкости с переменной массой.

Основоположником теории движения переменной массы является И.В.Мещерский, которому принадлежит не только постановка этого вопроса и вывод основных уравнений, но и указания о многочисленных областях применения и решения ряда задач. На основании этих уравнений рядом ученых были получены общие уравнения движения жидкости переменной массы. Наиболее широко и разносторонне рассмотрел вопросы движения жидкости с переменным вдоль пути расходом в своих работах Г.А.Петров.

Рассматриваются основные теоретические исследования, выполненные И.М.Коноваловым, Я.Т.Ненько, А.С.Кожевниковым, Г.А.Петровым, В.М.Маккавеевым и другими исследователями. Отдельно дается

анализ работ, посвященных движению жидкости в трубопроводах с присоединением расхода вдоль пути. Приводится сравнение экспериментальных установок и результатов исследований разных авторов. Большое внимание уделено работам, где рассматривается движение капельной жидкости /М.Э.Факторович, А.И.Егоров, И.М.Миркис, Г.А.Разумов, Ю.М.Константинов, В.В.Смыслов, Н.А.Горкин,

Agaki Masao, Datei Claudio, Nosedo Giorgio и др./ . Однако не выпали из внимания и исследования, посвященные движению воздуха в вытяжных воздуховодах, проведенные В.Н.Талиевым, К.Н.Каутисом, О.Е.Геджакушяном, Н.Н.Дубининым и другими.

В результате рассмотрения результатов теоретических исследований движения жидкости с переменным вдоль пути расходом можно отметить, что предлагаемые решения дифференциальных уравнений не носят универсального характера. До настоящего времени еще остаются не выясненными ряд таких вопросов, как, например, вопрос о гидравлическом сопротивлении трения при движении с переменным расходом, не учтено возникновение в начале сборника перепада напора, обусловленного сопротивлением входу жидкости в отверстия и отсутствует ряд факторов, влияющих на характер движения. Это свидетельствует о необходимости дальнейшего углубления изучения движения жидкости с изменением расхода вдоль пути.

Экспериментальные исследования трубопроводов с присоединением расхода проведены, в основном, в ограниченной зоне параметров. Поэтому предлагаемые авторами методы расчета сборных трубопроводов носят частный характер и могут быть использованы для расчета в ограниченных пределах.

Загрудняется конструирование и расчет сборных трубопроводов

отсутствием сведений о влиянии закона присоединения расхода на величину гидравлических сопротивлений и зависимости этого закона от конструкции. На основании анализа применения трубопроводов в различных сооружениях в главе приводится их классификация и рассматриваются основные конструкции таких трубопроводов и возможная постановка задач для их расчета.

Все сказанное выше свидетельствует о необходимости осуществления новых исследований, направленных на изучение гидродинамики процессов, происходящих при движении жидкости с присоединением расхода вдоль пути, и на основе этого создание достаточно обоснованной методики расчета таких трубопроводов. Решение поставленных задач поможет восполнить некоторые пробелы, имеющиеся в существующих работах.

Вторая глава посвящена анализу уравнений движения жидкости с переменной массой. В главе приводится вывод дифференциального уравнения движения жидкости в трубопроводе постоянного поперечного сечения с определенным законом присоединения бокового расхода.

На основании рассмотрения возможных случаев изменения расхода внутри трубопровода было установлено, что наиболее близко соответствует закон присоединения расхода в виде:

$$Q_x = Q_{np} \left(\frac{x}{l} \right)^n + Q_{tr} \quad /1/$$

- где: Q_x - расход в рассматриваемом сечении;
 Q_{np} - расход, присоединенный на всей длине трубопровода;
 Q_{tr} - транзитный расход;
 l - длина трубопровода;

n - показатель степени, отражающий условия присоединения, при равномерном вдоль длины присоединении $n=1$, при сосредоточении расхода в конце $n > 1$, в начале $n < 1$.

С учетом принятого закона присоединения расхода, применяя закон количества движения к выделенному участку потока жидкости, двигающемуся с присоединением расхода вдоль пути, было получено дифференциальное уравнение:

$$dz + \frac{dp}{\gamma} + 2 \frac{U_{np}^2}{g} \left(\frac{n x^{2n-1}}{l^{2n}} + \frac{kn x^{n-1}}{l^n} \right) dx + \lambda \frac{U_{np}^2}{2g} \frac{1}{d_{np}} \left[\left(\frac{x}{l} \right)^n + K \right] dx = 0 \quad /2/$$

где: $K = \frac{Q_{np}}{Q_{np}} ; U_{np} = \frac{Q_{np}}{\omega}$.

Полученное дифференциальное уравнение интегрируется, если известна зависимость для λ . При равномерном движении в трубопроводах со сплошными стенками величина λ зависит от характера движения жидкости /число Рейнольдса/ и состояния внутренней поверхности /шероховатость/. Этот вопрос можно считать достаточно изученным. иначе обстоит дело для случая движения жидкости в трубопроводах с присоединением расхода вдоль пути, где до настоящего времени нет надежных зависимостей для λ . Можно предполагать, что его значения существенно отличаются от величин, полученных для равномерного движения. Обозначим коэффициент гидравлического сопротивления трения трубопроводов с присоединением расхода вдоль пути как λ_{gc} . Ввиду того, что в силу высокой степени перемешивания потока и связанной с этим большой интенсивностью тур-

булентности, обусловленной присоединением расхода, состояние его соответствует движению в автомодельной области, при котором λ не зависит от числа Рейнольдса, можно принять $\lambda_{gc} = const$ вдоль пути. Величина λ_{gc} определяется экспериментально. Тогда уравнение /2/ после интегрирования и ряда преобразований примет вид:

$$z + \frac{p}{\gamma} + \frac{U_{np}^2}{g} \frac{x^{2n}}{l^{2n}} + \frac{2k U_{np}^2}{g} \frac{x^n}{l^n} + \frac{\lambda_{gc}}{2n+1} \frac{U_{np}^2}{2g} \frac{x^{2n+1}}{l^{2n} d_{np}} + 2 \frac{\lambda_{gc}}{n+1} \frac{U_{np}^2}{2g} \frac{k x^{n+1}}{l^n d_{np}} + \lambda_{gc} \frac{k^2 U_{np}^2}{2g} \frac{x}{d_{np}} = C \quad /3/$$

Рассмотрев начальные условия для определения постоянной интегрирования C , получаем уравнение движения жидкости в трубопроводе постоянного поперечного сечения с заданным законом изменения расхода вдоль пути:

$$z + \frac{p}{\gamma} + \frac{U_{np}^2}{g} \frac{x^{2n}}{l^{2n}} + \frac{2k U_{np}^2}{g} \frac{x^n}{l^n} + \frac{\lambda_{gc}}{2n+1} \frac{U_{np}^2}{2g} \frac{x^{2n+1}}{l^{2n} d_{np}} + \frac{2 \lambda_{gc}}{n+1} \frac{k U_{np}^2}{2g} \frac{x^{n+1}}{l^n d_{np}} + \lambda_{gc} \frac{k^2 U_{np}^2}{2g} \frac{x}{d_{np}} + \zeta_n \frac{(1+k)^2 U_{np}^2}{2g} = H \quad /4/$$

где: ζ_n - коэффициент сопротивления, отнесенный к скоростному напору в конце сборного трубопровода и определяющий начальный перепад напора;

H - общий напор, приложенный к сборному трубопроводу.

Для случая движения без транзитного расхода и сборника конечной длины $x=l$, уравнение /4/ будет иметь вид:

$$z_x + \frac{p_x}{\gamma} + \frac{U_x^2}{g} + \zeta_n \frac{U_x^2}{2g} + \frac{\lambda_{gc}}{2n+1} \frac{l}{d_{np}} \frac{U_x^2}{2g} = H \quad /5/$$

Как видно из уравнения /5/, приложенный к сборному трубопроводу напор H расходуется на создание скорости движения и преодо-

ние сопротивлений присоединения, трения, а также местных, связанных с конструкцией сборника. Также можно заметить, что потери напора, связанные с присоединением расхода и созданием скорости движения /последние с энергетической точки зрения не являются потерянными/ на всей длине сборного трубопровода не зависят от закона присоединения расхода вдоль пути, а лишь от суммарной величины присоединенного расхода.

В дальнейшем изложении делается попытка установить относительную величину каждого из входящих в уравнение /4/ видов сопротивлений и выяснить условия, при которых возможно пренебрежение тем или иным из них. Определяется величина ζ_n в зависимости от конструкции входных отверстий : сборника в целом.

В результате анализа уравнений движения были установлены условия, при которых возможно пренебрежение явлениями присоединения расхода или потерями на трение. Наиболее часто при расчете трубопроводов встречается случай, когда возможно пренебречь потерями на трение, который реализуется в случае движения без транзитного расхода при

$$l \leq \frac{2 + \zeta_n}{\frac{9\lambda_{гс}}{2n+1}} d_{гп} \quad /6/$$

Для рассмотренных случаев движения предлагаются расчетные зависимости.

В третьей главе изложены задачи экспериментальных исследований, моделирование трубопроводов с присоединением расхода вдоль пути, описание экспериментальных установок, приведена методика измерений и определения погрешностей.

В задачу экспериментальных исследований входило: уточнение закономерностей изменения кинематических характеристик потока, определяющих режим движения жидкости с присоединением расхода вдоль пути, а также определение коэффициента кинетической энергии α в контрольных сечениях потока внутри трубопроводов, величины коэффициента местного сопротивления отверстий, коэффициента гидравлического сопротивления трения $\lambda_{гс}$ и ряда других величин.

При рассмотрении условий моделирования трубопроводов с присоединением расхода вдоль пути мы исходили из основного дифференциального уравнения движения, полученного во второй главе. В результате выяснено, что основным фактором, который необходимо учитывать, является отношение площади отверстий $\sum \omega_i$ к площади поперечного сечения трубопровода ω , обозначаемое в работе как K_ω .

На основании полученных условий моделирования были запроектированы экспериментальные установки: гидравлическая и аэродинамическая. На аэродинамической установке испытывались трубопроводы $d_p=150$ мм, длиной от 7,5 м до 0,5 м, в которых были прорезаны: продольная щель по двум образующим, отверстия диаметром $d_o=10$ мм и 5 мм. В опытах K_ω изменялось от 1,7 до 0,25.

Для исследований на воде использованы стальные водогазопроводные трубы $d_p=15; 20; 25$ мм, длиной от 0,5 м до 3,3 м. В трубах были просверлены отверстия $d_o=2$ мм; 2,5 мм. K_ω изменялось от 2,7 до 0,4. На обеих установках была возможность изменять длину дырчатого участка, располагаемый напор, расположение отверстий /щели/ в поперечном сечении трубопровода.

В заключении главы приведены основные формулы для обработки опытных данных и определения погрешностей измерений.

В четвертой главе приводятся результаты экспериментальных исследований и их анализ.

Экспериментальному исследованию подвергались сборные трубопроводы постоянного поперечного сечения с продольной щелью и отверстиями. Испытания проводились на аэродинамической и гидравлической установках.

Получены закономерности изменения давления внутри сборников, выяснено соотношение между видами сопротивлений. Определено изменение коэффициента кинетической энергии потока внутри трубы, выяснен вопрос о наличии негального перепада давления и коэффициента сопротивления первого отверстия. Рассмотрено влияние присоединения на изменение коэффициента гидравлического трения, а также расположения отверстий по периметру на величину сопротивления. Получены зависимости для определения закона присоединения расхода.

В результате замеров скоростей внутри сборного трубопровода установлено, что присоединяемый расход существенно видоизменяет эпюры скоростей по сравнению с эпюрами при постоянном расходе.

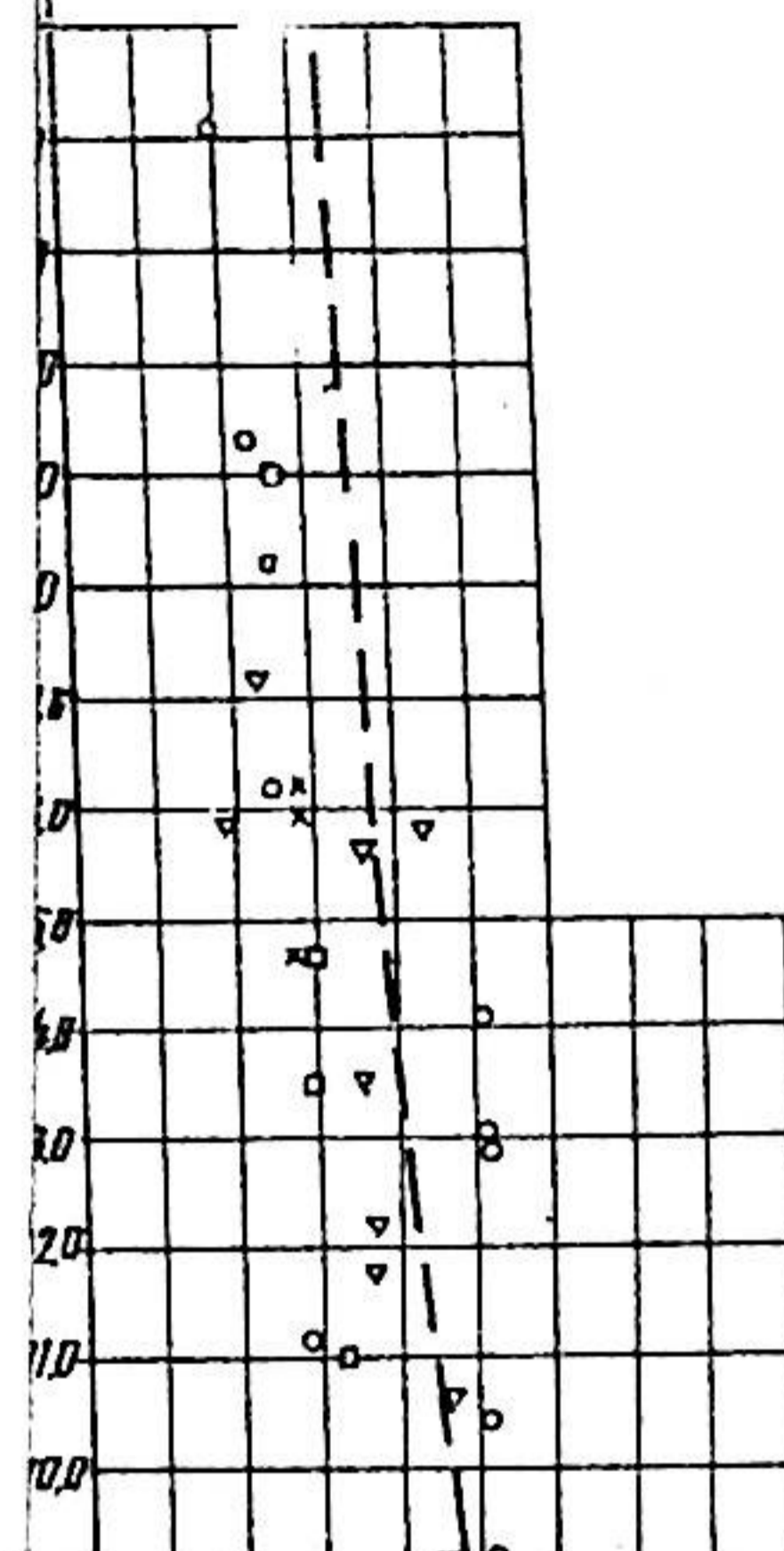
Присоединение расхода влечет за собой сильное перемешивание потока и интенсивный перенос количества движения из одного слоя жидкости в другой, что влечет за собой увеличение отношения по сравнению с равномерно движущимися потоками. Это свидетельствует о том, что потоки с присоединением расхода вдоль пути обладают большей интенсивностью турбулентности, чем равномерные с постоянным расходом.

Коэффициент кинетической энергии α в сечениях по длине перфорированного участка остается примерно постоянным /без явно выраженных изменений/ и для инженерных расчетов может быть принят равным 1, $\alpha \approx 1,0$.

Деформация эпюры скоростей, вызванная присоединением расхода, на сплошном участке довольно быстро исчезает и уже на расстоянии $10d_p$ эпюра скоростей имеет вид, характерный для равномерного движения с постоянным расходом.

В результате экспериментальных исследований были установлены факторы, влияющие на закон присоединения расхода вдоль пути. Основным фактором является отношение площади отверстий к площади трубопровода K_w . Хотя на закон присоединения влияют потери на трение, то есть длина, диаметр, шероховатость и режим движения но это влияние не было столь явным, поэтому основные зависимости для определения закона присоединения получены в функции от K_w /рис. 1/. Также выяснено, что при перфорации $K_w \leq 0,4$ присоединение расхода можно считать равномерным. При большей перфорации обеспечение равномерного присоединения расхода вдоль пути в трубопроводах постоянного поперечного сечения возможно за счет изменения площади отверстий или щели вдоль пути. Наиболее удобным является изменение шага отверстий при одинаковом их размере.

В трубопроводах с присоединением расхода вдоль пути происходят значительные потери энергии, состоящие из потерь на вход в первые отверстия /начало щели/, присоединение бокового расхода к основному потоку и трения по длине. В зависимости от конструкции трубопровода каждый из перечисленных видов потерь может играть



- - $d_0 = 5 \text{ мм}$; $D_{тр} = 150 \text{ мм}$ (8 отб. в сек)
- - $d_0 = 10$; $D_{тр} = 150 \text{ мм}$ ---
- △ - цель; $D_{тр} = 150 \text{ мм}$
- ▽ - $d_0 = 19,6 \text{ мм}$; $D_{тр} = 150 \text{ мм}$ (2 отб. в сек)
- ▽ - --- (1 отб. в сек)
- - $d_0 = 2,0 \text{ мм}$; $D_{тр} = 15,6 \text{ мм}$ (4 отб. в сек)
- - $d_0 = 2,4 \text{ мм}$ ---
- × - $d_0 = 2,4 \text{ мм}$; $D_{тр} = 20,6 \text{ мм}$ ---
- - $d_0 = 2,0 \text{ мм}$; $D_{тр} = 25,0 \text{ мм}$ ---

определяющую роль. Так, в результате экспериментальных исследований было установлено, что потери на присоединение при дискретном подводе жидкости к основному потоку /т.е. через отверстия/ могут приниматься равными одному скоростному напору независимо от конструкции трубопровода, как это и вытекает из уравнений движения жидкости с изменением расхода вдоль пути, полученных при условии непрерывного присоединения.

Потери энергии, связанные со входом жидкости в первые отверстия /начальный перепад напоров/, в основном, зависят от перфорации трубопровода K_ω , закона присоединения расхода и коэффициента сопротивления отверстия $\zeta_{\text{от}}$. В результате обработки экспериментальных данных в главе предложены зависимости для определения начального перепада напора h_n /рис.2/.

Потери энергии на трение по длине в сборных трубопроводах зависят как от длины трубопровода, так и от закона присоединения расхода. Коэффициент сопротивления трения в таких трубопроводах выше, чем в трубопроводах без перфорации при таком же режиме течения и зависит в основном от конструкции и, в меньшей степени, от Re . С ростом скорости движения эта разница уменьшается и при значениях числа Рейнольдса в конце трубопровода, больших 100000, можно в инженерных расчетах пользоваться значениями как для неперфорированных трубопроводов /рис.3/. Для сборных трубопроводов с транзитным расходом значение коэффициента сопротивления трения также несколько выше, чем в неперфорированных, однако, наличие транзитного расхода сглаживает влияние присоединения на увеличение λ . Опытами установлены зависимости для определения среднего коэффициента сопротивления тре-

ния сборного трубопровода, отнесенного к расходу в конце трубопровода в зависимости от числа Рейнольдса в конце сборника, закона присоединения и величины транзитного расхода.

Также в результате экспериментов было установлено, что увеличение перфорации свыше $K_w > 1,5$ не влечет за собой ощутимого увеличения присоединяемого расхода.

Расположение отверстий по периметру трубопровода /в один ряд, два, четыре, восемь/ сказывает незначительное влияние на величину сопротивлений на присоединение и трение по длине и в инженерных расчетах может не учитываться.

Угол присоединения бокового расхода к основному потоку для трубопроводов с отношением толщины стенки δ к диаметру отверстия d_0 больше $0,4 / \frac{\delta}{d_0} \approx 0,4/$ может приниматься равным 90° .

В результате экспериментальной проверки установлено, что полученные расчетные формулы удовлетворяют требованиям, предъявляемым к точности инженерных расчетов.

Пятая глава посвящена выработке методики расчета сборных трубопроводов на основании уточнений, полученных в результате экспериментальных исследований, а также выяснению конкретных путей реализации ее в практических целях.

В главе рассмотрен метод расчета сборных трубопроводов для обеспечения приблизительно равномерного сбора жидкости вдоль длины. Эта методика основана на совместном решении уравнений движения жидкости с переменным вдоль пути расходом и уравнения истечения через отверстие. В результате расчет конструкции трубопровода сводится к определению площади отверстий, а при одинаковом их

диаметре - количества отверстий /шаг на участках/. Рассматривается расчет трубопроводов при неравномерном присоединении расхода, то есть $n \neq 1$, а также возможность расчета сборного трубопровода, состоящего из ряда последовательно соединенных трубопроводов увеличивающегося диаметра /телескопических/. Приводится сравнение результатов расчета по предлагаемой методике с результатами экспериментальных исследований.

В главе приводится алгоритм и результаты расчета пьезометрической линии вдоль перфорированного трубопровода на ЭЦВМ "Минск-22". Сравнение результатов расчета на ЭЦВМ с опытными данными показало хорошее совпадение.

В заключении главы приведены примеры расчета и конструирования сборных трубопроводов для некоторых сооружений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные в настоящей работе теоретические и экспериментальные исследования были направлены на уточнение гидравлических явлений, происходящих в трубопроводах с присоединением расхода вдоль пути, существующих способов расчета и выработку общей методики гидравлического расчета таких трубопроводов.

На основании рассмотрения возможных случаев работы сборных трубопроводов принят степенной закон присоединения расхода вдоль пути и на основании общих уравнений движения жидкости с переменной массой получены уравнения движения жидкости в трубопроводе постоянного поперечного сечения с учетом принятого закона. Полученные аналитическим путем уравнения учитывают потери энергии, воз-

никающие при движении жидкости в таких трубопроводах, которые складываются из потерь на присоединение, сопротивление трения и местных, обусловленных конструкцией.

В результате рассмотрения полученных зависимостей намечены расчетные случаи, при которых возможно пренебрежение тем или другим видом сопротивлений и получены условия их реализации.

Установлено, что пренебрежение потерями на присоединение в трубопроводах даже с значительным транзитным расходом, то есть расчет по уравнениям равномерного движения с постоянным расходом, приводит к ошибочным результатам.

Экспериментальные исследования были проведены на аэродинамической и гидравлической установках, которые были созданы на основании анализа условий моделирования таких трубопроводов и полученных критериев подобия. Экспериментальному исследованию подвергались сборные трубопроводы постоянного поперечного сечения с продольной щелью и отверстиями.

В результате замеров скоростей внутри сборных трубопроводов установлено, что присоединяемый расход существенно видоизменяет эпюры скоростей, на которых заметно увеличение местной осредненной скорости у стенки, а также на однозначность расположения местной скорости, равной по величине средней, от стенки трубопровода. Установлено, что потоки с присоединением расхода вдоль пути обладают большей интенсивностью турбулентности, чем равномерные с постоянным расходом.

Результаты обработки эпюр скоростей для сборных трубопроводов с различной перфорацией / $\frac{\sum \omega_0}{\omega} = K_w$ изменялось то 0,25 до 2,6 / позволили сделать заключение, что в инженерных расчетах можно

принимать коэффициент кинетической энергии постоянным вдоль сборника и равным единице, то есть $\alpha \cong 1,0$.

Потери энергии, связанные со входом жидкости в первые отверстия, обуславливающие начальный перепад напоров, в основном, зависят от перфорации трубопровода, а также закона присоединения расхода и коэффициента сопротивления отверстий ζ_{dx} . Установлено, что расчет отверстий в сборных трубопроводах отличается от работы одиночного отверстия при тех же условиях. В результате экспериментальных исследований предлагаются графики для определения коэффициента сопротивления первых отверстий ζ_{dx} в зависимости от числа Рейнольдса потока, проходящего через отверстия. При перфорации трубопроводов свыше $K_w > 2,0$ начальный перепад становится настолько малым, что его величиной при расчетах можно пренебречь.

Потери энергии на трение по длине в сборных трубопроводах выше, чем в неперфорированных трубопроводах с постоянным расходом при том же режиме движения. Предлагаются зависимости для определения $\lambda_{дс}$ сборных трубопроводов без транзитного расхода и с ним.

Экспериментальные исследования позволили установить зависимости для закона присоединения расхода. Выяснено, что при перфорации $K_w \leq 0,4$ присоединение расхода вдоль трубопровода можно считать равномерным. С увеличением отношения $K_w > 0,4$ обеспечение равномерного присоединения расхода в трубопроводах постоянного поперечного сечения возможно только за счет изменения площади отверстий / щели / вдоль пути.

Установлено, что увеличение $K_w > 1,5$ не влечет за собой ощу-

тимого увеличения присоединяемого расхода, однако, для уменьшения энергетических затрат на сбор жидкости, следует конструировать сборные трубопроводы с максимально возможным значением параметра K_{ω} , при котором сохраняется устойчивый режим сбора / $K_{\omega} = 1 + 1,5/$.

Для сборных трубопроводов, в которых можно пренебречь потерями на трение по длине / $l = 20 \div 30 d_{\text{тр}}$ / можно производить количественную регулировку производительности без нарушения режима работы.

Результаты экспериментальных исследований сборных трубопроводов постоянного поперечного сечения подтвердили справедливость полученных расчетных зависимостей и выдвинутых положений.

На основании полученных результатов исследований предложена методика расчета сборников жидкости постоянного поперечного сечения, которая позволяет получать конструкции, обеспечивающие равный закон присоединения расхода. Приведены примеры расчета сборных трубопроводов в системах водоснабжения, канализации, вентиляции и гидротехники.

Основные положения диссертационной работы доложены на XXIX и XXX научно-технических конференциях Киевского инженерно-строительного института, XXVI юбилейной научной конференции профессорско-преподавательского состава Киевского автомобильно-дорожного института и на Республиканском научном семинаре по гидравлике и гидротехнике.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. ВАСИЛЕНКО А.А. К гидравлическому расчету дорожных трубчатых дренажей. Сб. "Гидравлика водопропускных дорожных сооружений". Труды II-й Всесоюзной научно-технической конференции. Изд-во Киевского университета. 1969 г.
2. ВАСИЛЕНКО А.А. Движение жидкости в дырчатых трубопроводах с присоединением расхода вдоль пути. Аннотации законченных в 1968 г. научно-исследовательских работ по гидротехнике. "Энергия", Ленинградское отделение, 1969 г.
3. ВАСИЛЕНКО А.А. исследование движения жидкости в трубопроводах с присоединением расхода вдоль пути. "Гидравлика и гидротехника", вып. 10, "Техніка", 1970 г.