

На правах рукописи



АБРАМЕНКО ПЕТР ИВАНОВИЧ



**АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ  
РАСХОДА ВОДЫ В ОРОСИТЕЛЬНЫХ КАНАЛАХ**

06.01.02 – «Мелиорация, рекультивация и охрана земель»

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

**12 ДЕК 2008**

**Новочеркасск – 2008**

Диссертационная работа выполнена в Федеральном государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Новочеркасская государственная мелиоративная академия»

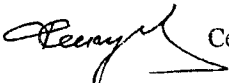
<b>Научный руководитель –</b>	кандидат технических наук, доцент <b>Костылев Владимир Иванович</b>
<b>Официальные оппоненты:</b>	доктор технических наук, профессор <b>Тарасьянц Сергей Андреевич</b>
	кандидат технических наук, доцент <b>Бочкарев Вячеслав Яковлевич</b>
<b>Ведущая организация –</b>	<b>ФГОУ ВПО «Кубанский государственный аграрный университет»</b>

Защита диссертации состоится 26 декабря 2008 г. в 10 часов на заседании диссертационного совета ДМ 220.049.01 в ФГОУ ВПО «Новочеркасская государственная мелиоративная академия» по адресу: 346428, г. Новочеркасск, Ростовской области, ул. Пушкинская, 111 (ауд. 339), тел. 8(86352)2-27-14, факс (86352)4-51-64.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в научном отделе библиотеки ФГОУ ВПО «Новочеркасская государственная мелиоративная академия». Автореферат размещен на сайте <http://ngma-meh/boom.ru/aspirant.htm>

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью предприятия, просим направлять ученому секретарю диссертационного совета.

Автореферат разослан «25» ноября 2008г.

Ученый секретарь диссертационного совета  Сенчуков Г.А.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Повышение уровня эксплуатации оросительных и обводнительных систем в целях обеспечения производства продовольствия требует дальнейшего совершенствования методов, способов и технических средств оперативного учета, распределения и экономии водных ресурсов во всех звеньях системы. Данные РосНИИПМ о том, что 70% гидропостов оснащены только гидрометрическими рейками, и невозможность в ближайшей перспективе оборудовать их другими средствами измерений, свидетельствуют о неблагоприятном положении с водоучетом в мелиорации.

Введение платного водопользования потребует от водохозяйственных организаций обеспечить современный уровень коммерческого водоучета.

В настоящее время в открытых каналах гидромелиоративных систем широко применяется метод измерения расхода воды «скорость-площадь», основанный на вычислении средней скорости водного потока, проходящего через створ гидротехнического сооружения. Вычисление средней скорости потока производится путём последовательного во времени измерения осредненных местных скоростей во многих точках поперечного сечения створа гидрометрического сооружения и их усреднения. При этом не учитываются инерционные свойства гидрометрической вертушки, что снижает точность в условиях турбулентных пульсаций, а вычисление расхода в канале является очень трудоемким. Решение таких задач не возможно без автоматизации процесса измерений и обработки информации.

Повышение точности и автоматизации измерений также являются актуальными при проведении научно-исследовательских работ на моделях и натурных объектах оросительных систем.

Работа выполнялась в соответствии с заданием 03.01.01 Межведомственной координационной программы развития АПК РФ на 2006 – 2010 годы «Разработать технологии проектирования, эксплуатации и управления мелиоративными системами, обеспечивающими воспроизводство природно-ресурсного потенциала агроландшафтов»

**Цель работы** – разработать автоматизированную технологию, повышающую точность и снижающую трудоемкость при определении расхода на оросительных системах, а также при лабораторных и натурных исследованиях элементов и сооружений инженерно-мелиоративных систем.

**Задачи исследований:**

- провести сбор и анализ информации по существующим технологиям и средствам определения расхода воды в каналах мелиоративных систем;
- разработать программно-аппаратный комплекс и определить его точностные характеристики;
- усовершенствовать технологию определения расхода воды по методу "скорость-площадь" путем учета пульсационных характеристик потока;
- провести сравнительную оценку точности и эффективности существующей и разработанной технологии определения расхода.

**Научную новизну работы составляют:**

- зависимости для определения осредненной местной скорости течения воды в каналах открытых оросительных систем, отличающиеся учетом инерционных характеристик гидрометрической вертушки в условиях пульсаций потока;
- зависимости для определения моментов случайной величины пульсации скорости;
- методика определения инерционных характеристик гидрометрической вертушки;
- алгоритмы поддержки измерений в процессе определения расхода воды.

**Основные положения, выносимые на защиту:**

- автоматизированная технология определения расхода воды в каналах оросительных систем;
- конструктивное исполнение программно-аппаратного комплекса для эксплуатационных организаций и проведения научных исследований;

- алгоритмы и программы, автоматизирующие сбор, накопление, обработку и оценку достоверности информации.

**Объект исследований** – магистральные, межхозяйственные и внутрихозяйственные каналы инженерно-мелиоративных систем.

**Личный вклад автора** состоит в постановке задач исследования, проведении теоретических, лабораторных и натуральных исследований, построении алгоритмов работы программно-аппаратного комплекса и его технической реализации, анализе результатов, формулировании выводов и предложений производству.

**Достоверность результатов исследований** подтверждается большим объемом экспериментальных данных, полученных в результате лабораторных и натуральных исследований в многократной повторности, достаточным объемом расчетных данных, высокой степенью сходимости результатов теоретических и экспериментальных исследований, положительными результатами апробации в производственных условиях.

**Практическая ценность работы.** Разработанный программно-аппаратный комплекс позволяет повысить точность измерений, сократить трудоемкость и время измерения расхода воды в открытых каналах оросительных систем. Предлагаемая автоматизированная технология определения расхода воды в условиях пульсаций скорости может быть использована эксплуатационными водохозяйственными организациями, а так же органами стандартизации и метрологии при поверке и освидетельствовании приборов водоучета.

**Апробация работы.** Основные положения диссертации и результаты исследований докладывались и получили положительную оценку на международной конференции "Проблемы мелиорации земель и воспроизводства почвенного плодородия" (Краснодар, 2008г.); на региональной научно-практической конференции «Гидротехника, гидравлика, геоэкология» (Новочеркасск, 2002г.); на конференции: "Актуальные вопросы повышения эф-

фективности водных мелиораций в южном федеральном округе" (Повочеркасск, 2000г.); на IV Всероссийском симпозиуме "Математическое моделирование и компьютерные технологии" (Кисловодск 2000г.); научно-практических конференциях сотрудников НГМА в (1998-2007 г.).

**Реализация работы.** Внедрение автоматизированной технологии определения расхода воды в каналах осуществлено на Пролетарской оросительной системе Ростовской области. Программно-аппаратный комплекс использовался при проведении лабораторных исследований Юмагузинского водохранилищного узла на реке белой республики Башкортостан и при гидравлических исследованиях нижнего бьефа Краснодарского гидроузла на реке Кубань. Материалы исследований использованы при составлении отчетов о НИР выполняемых согласно задания 03.01.01 координационной программы развития АПК Министерства сельского хозяйства РФ на 2006 – 2010 годы.

**Публикации.** По результатам исследований опубликовано 15 научных работ, в том числе: одна статья в перечне журналов и изданий, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией, три статьи и одна монография в зарубежных издательствах.

**Объем и структура работы.** Диссертация изложена на 158 страницах основного текста, содержит 48 рисунков, 14 таблиц и состоит из 5 глав, выводов, предложений производству. Список литературы включает 171 источник, в том числе 5 иностранных.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы, характеризуются основные положения диссертации.

**В первой главе** приведен анализ существующих методов и средств измерения расходов воды в открытых каналах оросительных систем, а также современного состояния водоучета и водозмерения на мелиоративных системах.

Вопросами водоучета на гидромелиоративных системах занимались: В.Н. Щедрин, М.С. Григоров, В.И. Ольгаренко, Я.В. Бочкарев Г.В. Железняков, Ю.Г. Иваненко, А.М. Жарковский, Е.Г. Филиппов. Ю.П., Поляков, О.П. Кисаров, Ю.М. Косиченко, В.В. Коваленко, Е.В. Кузнецов, А.В. Филончиков, О.М. Айвазян, А.Ф. Киенчук, Е.Е. Овчаров, Тарасьянц С.А., И.Ф. Карасев, и многие другие ученые. Совершенствованию способов измерения расхода воды в каналах оросительных систем посвящены работы: В.Я. Бочкарева, С.И. Игнатенко, Т.В. Казаченко, А.Е. Ивахненко, М.А. Варичева и др.

Анализ существующих гидрометрических сооружений, проведенный по работам этих авторов, показал необходимость повышения точности измерения расходов этими сооружениями, мероприятиями, не ухудшающими их пропускной способности и не требующими их реконструкции. Решить эти задачи можно путем повышения точности измерения расхода воды при градуировке гидрометрических сооружений.

Основным методом измерения расходов при градуировке и аттестации гидротехнических сооружений, как средств измерения, до настоящего времени остается метод "скорость-площадь", точность этого метода может быть увеличена путем повышения точности измерения скорости.

Рассмотрев средства и методы измерения скорости течения и ее пульсаций было установлено, что основным средством попрежнему остается гидрометрическая вертушка даже в лабораторных условиях.

Для любого типа вертушек тарировочный график связи между скоростью потока и частотой вращения ротора вертушки сохраняет линейный характер в широком диапазоне измеряемых скоростей, что является одним из основных достоинств этого датчика.

**Во второй главе** предлагаются технические и алгоритмические решения программно-аппаратного комплекса (рисунок 1), позволяющего решать следующие задачи:

- производить измерение осредненных скоростей течения потока с автоматическим выбором времени измерения;

- реализовать методикку "скорость-площадь" для определения расхода воды в полевых условиях;
- оперативно производить градуировочные работы на водорегулирующих сооружениях;
- по результатам измерений определять не только осредненные скорости, но и другие кинематические характеристики потока;
- производить обработку измеренных данных непосредственно на объекте исследований параллельно с процессом измерений.

При пробных испытаниях в лабораторных условиях разработанного комплекса, было выявлено искажение статистических характеристик турбулентных пульсаций скорости. Значения осредненных скоростей определялись с помощью разработанных нами двух программных средств. Одна программа использовала системные часы, с помощью которых задавалось временное окно и подсчитывалось количество импульсов поступивших от вертушки. Значение осредненной скорости в этом случае рассчитывалось по формуле:

$$\bar{U} = \frac{kn}{T}, \quad (1)$$

где  $\bar{U}$  - осредненная скорость;  $k$  - коэффициент вертушки;  $n$  - количество поступивших импульсов;  $T$  - время измерения.

Другая программа использовала аппаратный таймер и измеряла длительности периодов импульсов, поступающих от вертушки, которые являются оценкой мгновенной скорости. С некоторыми допущениями можно принять, что:

$$U = \frac{k}{\Delta t}, \quad (2)$$

где  $U$  - мгновенная скорость;  $k$  - коэффициент вертушки;  $\Delta t$  - период следования импульсов.

Значение осредненной скорости в этом случае вычислялось по формуле:

$$\bar{U} = \frac{\sum_{i=1}^n U_i}{n}, \quad (3)$$

где  $U_i$  - мгновенные скорости, вычисленные по формуле (2);  $n$  - количество измеренных импульсов.



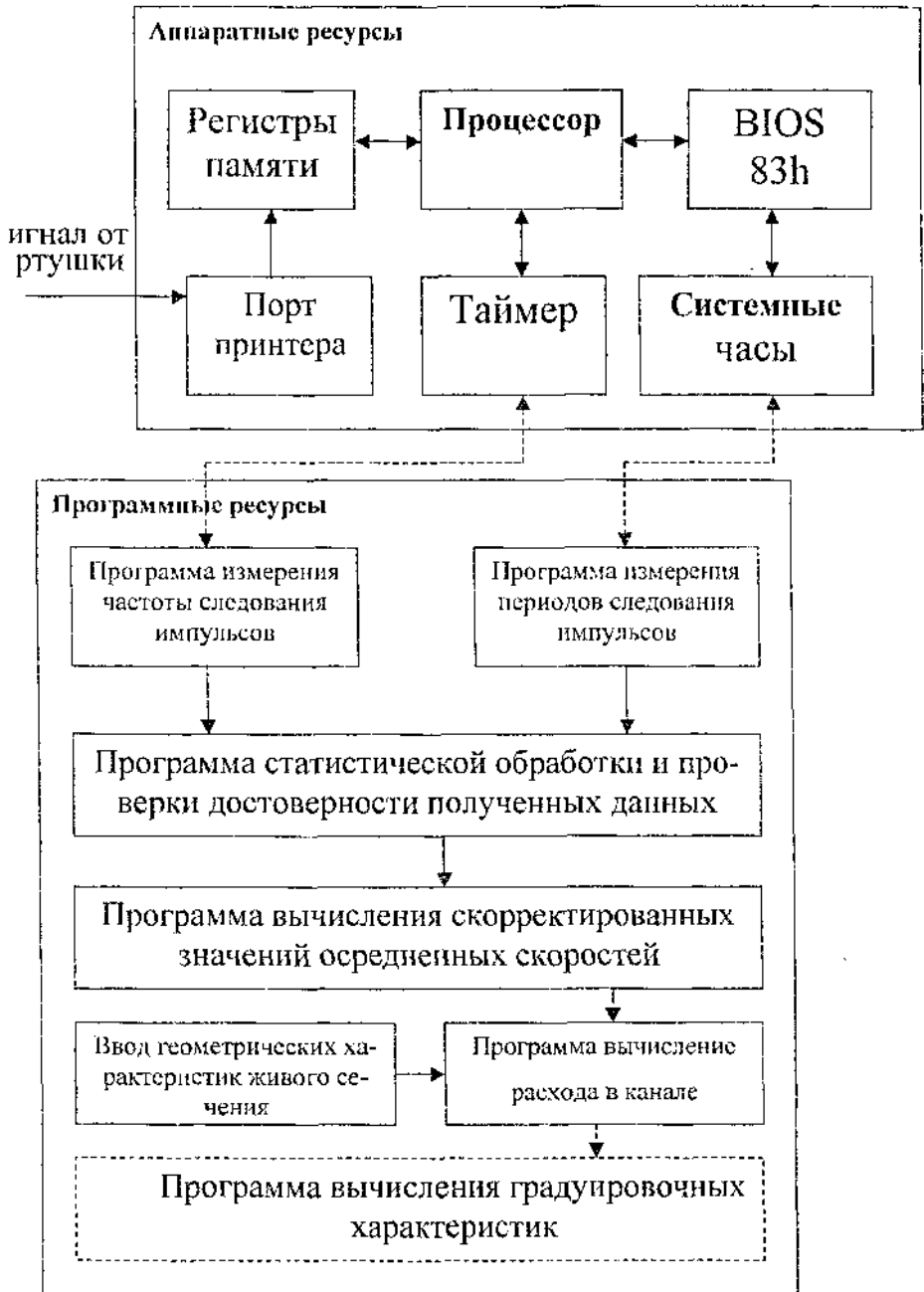


Рисунок – 1. Структура программно-аппаратного комплекса

При сравнении полученных значений осредненных скоростей, оказалось, что при использовании второго способа они выше, чем рассчитанные по формуле (1). Завышение осредненной скорости было тем больше, чем выше был уровень турбулентных пульсаций. Анализируя сложившуюся ситуацию, мы пришли к выводу, что это связано с тем, что гидрометрическая вертушка является датчиком частотного типа с переменным интервалом квантования, а формула (3) предполагает постоянные интервалы между отсчетами. Очевидно, в этом случае при расчете осредненной скорости следует использовать наиболее общую зависимость, которая в дискретной форме имеет следующий вид:

$$\bar{U} = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^n U_i \Delta t_i, \quad (4)$$

где  $T = \sum_{i=1}^n \Delta t_i$ .

Учитывая формулу (2), получим:

$$\bar{U} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \Delta t_i} \sum_{i=1}^n k = \frac{kn}{\sum_{i=1}^n \Delta t_i}. \quad (5)$$

Таким образом, при расчете осредненных скоростей не рекомендуется пользоваться формулой (3), а следует пользоваться формулой (5).

Для расчета центральных статистических моментов пульсаций скорости известна следующая зависимость:

$$M_m = \sum_{i=1}^n (U_i - \bar{U})^m P_i, \quad (6)$$

где  $m$  - номер статистического момента;  $P_i$  - вероятность появления скорости  $U_i$ :

$$P_i = \frac{\Delta t_i}{\sum_{i=1}^n \Delta t_i}, \quad (7)$$

и тогда окончательно имеем:

$$M_m = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \Delta t_i} \sum_{i=1}^n (U_i - \bar{U})^m \Delta t_i, \quad (8)$$

где  $U_i$  и  $\bar{U}$  рассчитываются по формулам (2) и (5) соответственно.

Аналитическими методами нами установлено что, относительная погрешность определения осредненной скорости в промерной точке канала в случае применения формулы (4) равна отношению дисперсии пульсаций скорости к квадрату осредненной скорости. Достоверность этого вывода подтверждается полученными нами экспериментальными данными, представленными на рисунке 2.

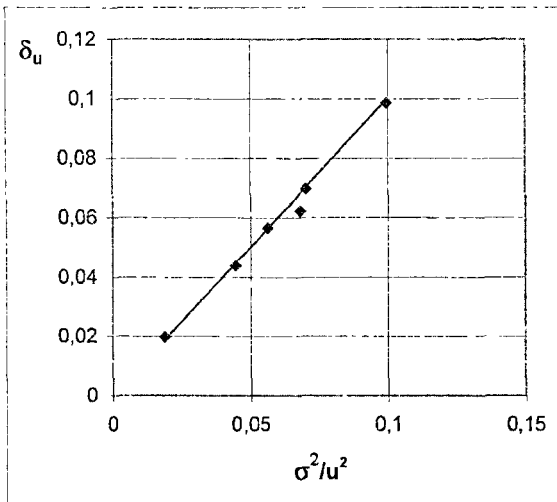


Рисунок 2 – Экспериментальные данные относительной погрешности определения осредненной скорости.

В третьей главе представлены результаты теоретических и лабораторных исследований по определению инерционных характеристик гидрометрических вертушек для водоучета в каналах оросительных систем. При этом изучались время и путь синхронизации, и экспериментально устанавливались корректировочные зависимости значений осредненной местной скорости измеренных в условиях турбулентных пульсаций.

Исходя из уравнения движения в нестационарном потоке лопастного винта гидрометрической вертушки Г.Х. Сабинин определил время синхронизации гидрометрической вертушки  $t_c$  как время, за которое при скачкообразном изменении скорости расхождение между показанием прибора и истинным значением скорости уменьшится в  $e$  раз.

В разработанной нами методике начальная скорость при скачкообразном изменении равна нулю, а время отсечения  $\tau$  рекомендуется определять по пересечению продолжения прямой линейного участка разгона с линией соответствующей установившемуся значению скорости. Тогда для вычисления времени синхронизации нами предлагается следующая зависимость:

$$t_c = \frac{\bar{U} - \bar{U}}{\frac{\bar{U}}{\tau}} e = \left(1 - \frac{1}{e}\right) \tau \quad (12)$$

Величина  $t_c$  является постоянной характеристикой только для данного значения скорости, а для гидрометрического винта в целом постоянной величиной является путь синхронизации, который связан с постоянной времени следующим соотношением:

$$l_c = t_c \bar{U}. \quad (13)$$

Эксперимент по определению динамических характеристик гидрометрических вертушек проводился в прямоугольном лотке шириной 27 сантиметров, длиной 8 метров. Для уменьшения пульсаций скорости в лотке были установлены успокоительные решетки. В лотке также был установлен за-

твор-конфузор, с тем, чтобы течение на подходе к рабочему отверстию, приняло потенциальный характер.

В ходе эксперимента был произведен анализ четырех типов гидрометрических винтов (таблица 1).

Таблица 1 – Характеристики исследуемых гидрометрических винтов.

№ винта	1	2	3	4
Тип винта	Индивидуального исполнения	X-6	Индивидуального исполнения	ГР-99
Материал винта	Алюминий	Пластмасс	Оргстекло	Алюминий
Диаметр винта, мм	6	10	30	75
Количество лопастей	4	2	4	3

Измерения проводились следующим образом: вертушка помещалась в область конфузора, ее ротор фиксировался специальным фиксатором, программно-аппартный комплекс переводился в режим измерения, далее фиксация снималась и производилась запись реализации сигнала от вертушки.

Такое воздействие на гидрометрический винт эквивалентно воздействию импульса скорости бесконечной длительности:

$$U(t) = \begin{cases} 0 \forall t < t_0 \\ \bar{U} \forall t \geq t_0 \end{cases} \quad (14)$$

Комплекс фиксирует моменты времени прохождения лопастей вертушки мимо контакта. По этим моментам рассчитываются интервалы времени и соответствующие им значения оценок мгновенных скоростей, на основе этих данных строились разгонные характеристики. Полученная нами разгонная характеристика для вертушки ГР-99 приведен на рисунке 3

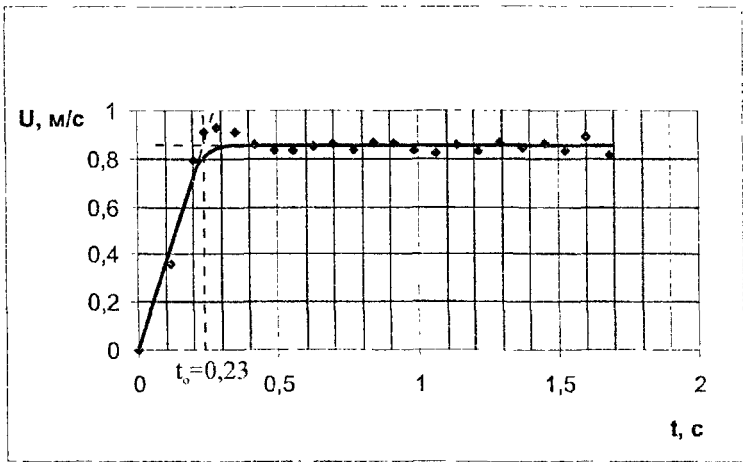


Рисунок 3 – Характеристика разгона винта № 4

Для каждого испытуемого винта снималось по десять разгонных характеристик, их данные усреднялись, и на этой основе были построены усредненные характеристики по каждой вертупике. По полученным характеристикам разгона для четырех вертупек определено значение времени отсечки  $t$ . Используя эту величину, вычислялись время синхронизации в соответствии с формулой (12) и путь синхронизации в соответствии с формулой (13).

Результаты по определению инерционных характеристик для исследуемых четырех гидрометрических винтов приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты исследования инерционных характеристик гидрометрических винтов.

№ винта	1	2	3	4
Время отсечки $t$ , с	0,015	0,075	0,12	0,23
Режим измерения $U$ , м/с	0,844	0,495	0,395	0,847
Время синхронизации $t_c$ , с	0,00948	0,0474	0,0758	0,145
Путь синхронизации, $l_c$ , м	0,00803	0,0235	0,0299	0,122

Вторая часть экспериментальных исследований была посвящена отысканию количественных соотношений между структурой турбулентных пульсаций, инерционными характеристиками гидрометрических вертушек и степенью завышения ими измеренных значений осредненной скорости.

В существующей практике при тарировании гидрометрических приборов поток жидкости заменяется неподвижной водой, что достигается путем устройства тарировочных каналов и бассейнов. Далее эти приборы используются для измерений в естественных турбулентных потоках. Как показали исследования Г.Х. Сабинина, Г.В. Железнякова и других авторов такое использование приборов не всегда правомерно. Из указанных источников следует, что турбулентность ведет к завышению показаний приборов по сравнению с истинной осредненной скоростью. У большинства авторов, изучавших явление завышения измеряемой скорости в условиях турбулентных пульсаций, дается следующее объяснение этого явления: «Завышение измеряемой осредненной скорости, по сравнению с истинной, происходит за счет быстрых разгонов и медленных торможений ротора гидрометрической вертушки».

Нами предлагается другое объяснение этого явления. В условиях пульсации скорости характеристика гидрометрического винта теряет линейность. Сам винт вместе с присоединенной массой жидкости является инерционным элементом. При таких компонентах механической системы, происходит детектирование колебаний и преобразование их в постоянную составляющую (в постоянное вращательное движение гидрометрического винта).

Фидманом Б.А. предложено следующее соотношение для искажения спектра пульсаций скорости за счет инерции гидрометрического винта:

$$S_v(\omega) = \frac{1}{1 + \omega^2 \tau^2} S_u(\omega) \quad (15)$$

где:  $S_u(\omega)$  – истинный спектр скорости;  $\omega$  – круговая частота;  $\tau$  – постоянная времени винта;  $S_v(\omega)$  – измеренный спектр.

Известно так же, что интеграл функции спектральной плотности по частоте равен дисперсии турбулентных пульсаций и соответственно пропорционален энергии этих пульсаций:

$$\int_{-\infty}^{\infty} S_u(\omega) d\omega = \sigma_u^2 \quad (16)$$

Из выражения (15) видно, что измеренный спектр будет меньше истинного спектра. А так как энергия никуда не исчезает бесследно, можно предположить, что эта часть энергии за вычетом потерь на трение и превращается в постоянное вращательное движение гидрометрического винта и, следовательно, является источником завышения измеренного значения осредненной скорости. Нами предложена гипотеза, что величина завышения измеренного значения осредненной скорости должна зависеть от дисперсии пульсаций скорости и от постоянной времени гидрометрического винта. Для ее проверки проводились исследования в трапециидальной лотке шириной по дну 1 метр и глубиной 0,5 метра. В начальной части лотка были созданы условия для образования затопленного гидравлического прыжка, для получения турбулентных пульсаций высокой интенсивности.

Измерения производились во многих точках потока с различной интенсивностью турбулентности, причем в каждую точку поочередно помещались гидрометрические винты с номерами 1,3 и 4. Винт № 2 пришлось исключить из дальнейших исследований ввиду того, что он имел значительный дисбаланс, а это в свою очередь не позволяло получить достоверных значений дисперсии пульсаций. Каждым из исследуемых винтов измерения производились десятикратно, над полученными данными производилась статистическая обработка, в результате которой были получены сглаженные оценки. Результаты приведены в таблице 3.

Из представленных данных видно, что степень завышения измеренных значений скоростей возрастает с увеличением дисперсии пульсаций и с увеличением пути синхронизации.



Таблица 3 – Результаты измерений осредненной местной скорости различными гидрометрическими винтами

№ Винта	1	3	4	Дисперсия пульсаций
№ Точки	Измеренные значения осредненной местной скорости $\bar{U}$ , м/с			
1	0,0833	0,0873	0,085	0,0026
2	0,149	0,148	0,155	0,00288
3	0,241	0,246	0,265	0,0186
4	0,292	0,308	0,357	0,0482
5	0,635	0,779	0,921	0,16
6	0,851	1,07	1,39	0,211

Для отыскания истинных значений скоростей, был применен следующий алгоритм. В начале истинное значение скорости полагалось равным значению измеренному винтом №1, у которого самое малое значение пути синхронизации. Далее определялись коэффициенты завышения как отношения истинного к соответствующим измеренным значениям скорости, затем отыскивалась зависимость значений коэффициентов завышения от дисперсии пульсаций и пути синхронизации. На основании полученной зависимости определялось новое истинное значение скорости. Если полученное значение отличалось от предыдущего менее чем на 0,1 процента, итерационный процесс прекращался, если нет, то снова вычисляли коэффициенты завышения, и весь процесс повторялся.

Результаты обработки экспериментальных данных представлены на рисунке 3.

Для корректировки измеренных значений скорости нами предлагается использовать следующие формулы:

$$\bar{U} = (-0,4232D + 1)\bar{U}_{изм}, \text{ для винта №1}$$

$$\bar{U} = (-1,382D + 1)\bar{U}_{изм}, \text{ для винта №3}$$

$$\bar{U} = (-2,226D + 1)\bar{U}_{изм}, \text{ для винта №4.}$$

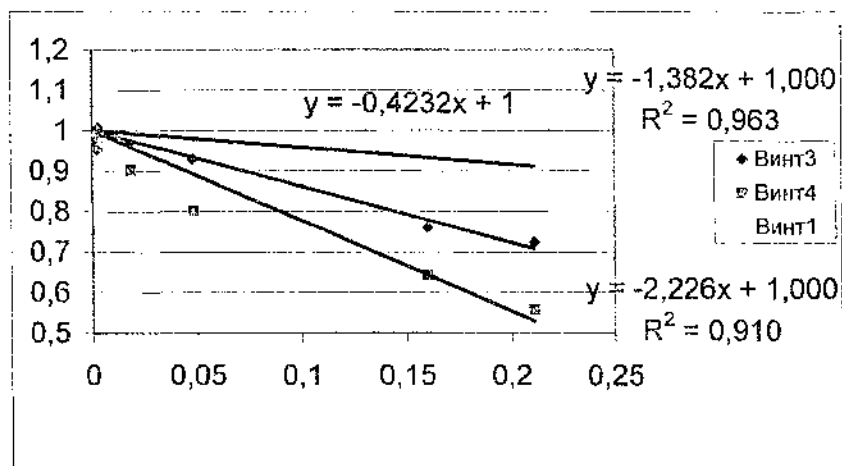


Рисунок 3 – Характеристика тесноты связи между корректирующими зависимостями и экспериментальными данными.

Для других винтов, у которых известен путь синхронизации, нами рекомендуется следующая формула:

$$\bar{U} = (-19,83I_c D + 1)U_{изм}.$$

Для определения дисперсии через измеренное значение нами предлагается следующая формула:

$$D = (23,95t_c^2 + 7,516t_c)D_{изм},$$

Для проверки эффективности предлагаемых усовершенствований существующего метода "скорость-площадь" был поставлен эксперимент по сравнению существующей и предлагаемой методики. Эксперимент проводился в прямоугольном лотке описанном в настоящей главе. Эталонные значения расхода измерялись объемным способом оттарированной мерной емкостью. Экспериментальные расходы определялись методом "скорость-площадь" с измерением в пяти точках на вертикали, створ разбивался на три вертикали. Данные эксперимента приведенные в таблице 4, показывают значительное повышение точности при использовании предложенной технологии.

Таблица 4 – Сравнительная характеристика существующего и усовершенствованного метода измерения расхода

Эталонный расход, $Q_{\text{эт}}$ л/с	Измеренный расход, $Q_{\text{изм}}$ л/с			Относительная погрешность измерения, %		
	Винт1	Винт3	Винт4	Винт1	Винт3	Винт4
Существующим методом						
3,28	3,33	3,38	3,45	1,52	2,63	5,18
10,72	11,02	11,24	11,58	2,80	4,85	8,02
18,31	19,23	19,78	20,51	5,03	8,03	12,02
Предлагаемым методом						
3,28	3,31	3,35	3,38	0,91	2,13	3,05
10,72	10,56	10,97	10,93	1,49	2,33	1,96
18,31	18,60	17,91	17,61	1,58	2,19	3,82

Проведенные исследования показали важность учета инерционных свойств гидрометрической вертушки при измерении расхода воды в открытых каналах оросительных систем.

**В четвертой главе** рассмотрены вопросы организации и методики проведения градуировочных работ на гидрометрических сооружениях Пролетарской оросительной системы.

Разработанная регистрирующая аппаратура позволила производить измерение "мгновенного" расхода воды (в течение 5 - 10 минут) и значительно повысить производительность труда. Во время измерения скоростей потока постоянно нивелировались уровни воды.

Обработка натуральных данных заключалась в подсчете расходов воды, опытных значений коэффициентов расхода и установление зависимостей их изменения. После установления таких зависимостей и оценки точности аппроксимации, производился расчет и распечатка градуировочных таблиц сооружения.

На некоторых градуируемых сооружениях предлагаемая методика измерений выявила существенное завышение пропускаемых расходов определяемых в соответствии с существующей методикой. На большинстве градуируемых сооружений завышение расходов составило 5-7%.

**В пятой главе** рассмотрены вопросы разработки автоматизированной технологии поддержки измерений, ее особенности при решении задач в научных исследованиях и в эксплуатационных организациях. Эта технология,

при использовании в натуральных условиях для определения расхода, представлена в виде последовательности следующих технологических операций:

1. Коммутация блоков программно-аппаратного комплекса;
2. Замер расстояния между урезами воды в створе гидрометрического поста и ввод его в компьютер;
3. Автоматический расчет положения промерных вертикалей;
4. Разметка промерных вертикалей на гидрометрическом мостике, измерение глубин и ввод их в компьютер;
5. Считывание сообщения с экрана о необходимости установки гидрометрической вертушки в указанную на экране промерную точку;
6. Фиксация гидрометрической вертушки в промерной точке, сообщение комплексу о готовности к измерению;
7. Автоматические измерения с помощью гидрометрической вертушки в промерной точке и вычисление осредненной местной скорости, сохранение полученных значений в памяти;
8. Переход к пункту 5 или к пункту 9, если сообщение на экране о завершении измерений;
9. Автоматические вычисления расхода через гидрометрический створ;
10. Выдача на экран и сохранение в базе данных вычисленного значения расхода;
11. Распечатка в стационарных условиях протокола измерения расхода в случае необходимости.

Эффективность предлагаемой автоматизированной технологии характеризуется существенным сокращением времени измерения в 5,4 раза по сравнению с существующей технологией, а также полным исключением трудозатрат на камеральную обработку данных.

Повышение точности определения расхода воды позволяет получить эффект за счет экономии воды, снижения затрат на электроэнергию а также использовать сэкономленную воду для повышения продуктивности орошаемого гектара.

### Общие выводы

1. Существующая технология определения расхода воды в канале обладает низкой точностью замера скорости в условиях пульсаций потока и значительной трудоемкостью измерений и вычислений расхода по методу «скорость-площадь».

2. Основным методом измерения расходов в оросительных каналах, до настоящего времени остается метод "скорость-площадь", точность этого метода может быть увеличена путем повышения точности измерения скорости. Из существующих средств регистрации скорости гидрометрическая вертушка является наиболее распространенным и доступным, однако существующие методики измерения не учитывают ее инерционных свойств.

3. В целях совершенствования приборного оборудования разработан программно-аппаратный комплекс, позволяющий измерять не только значение осредненной скорости в условиях пульсации, но и программно вычислять значение расхода через рассматриваемый створ.

4. Экспериментально и аналитически установлено, что осредненное значение скорости в промерной точке нельзя рассчитывать как среднее из ряда мгновенных скоростей при измерении гидрометрической вертушкой (относительная погрешность даже в условиях умеренной интенсивности турбулентности 0,1 составляет 10%). При расчете других моментов случайной величины пульсаций скорости также необходимо учитывать неравномерность вращения гидрометрического винта. С учетом этого аналитически выведена зависимость для расчета моментов случайной величины пульсаций скорости учитывающая неравномерность вращения винта гидрометрической вертушки.

5. Разработана методика, алгоритмы и программное обеспечение определения инерционных характеристик гидрометрических вертушек для ПЭВМ, таких как время и путь синхронизации, позволяющие уточнять измеренное значение скорости в канале для любых винтов вертушек.

6. Получены эмпирические зависимости для определения осредненной местной скорости течения воды в канале оросительной системы коррек-

тирующие значение измеренной скорости путем учета инерционных характеристик гидрометрической вертушки в условиях пульсации потока.

7. Разработана автоматизированная технология определения расхода воды в каналах оросительных систем, предусматривающая использование созданного программно-аппаратного комплекса позволяющего автоматизировать расчет положения промерных вертикалей, измерение и расчет осредненной местной скорости, расчет расхода воды через гидрометрический створ и сохранение его в базе данных. Предлагаемая технология позволяет обеспечить точность определения расхода в пределах 3-4%, а также сократить трудоемкость и время измерения расхода воды в открытых каналах оросительных систем в 5,4 раза.

8. Применение программно-аппаратного комплекса в полевых условиях позволило всю камеральную обработку данных производить непосредственно на объекте исследований с получением конечных результатов. В случае использования комплекса в научных исследованиях он рекомендуется, и прошел апробацию при изучении кинематической структуры потока в водопроводящих элементах и сооружениях инженерно-мелиоративных систем.

## ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ

1. Разработанную автоматизированную технологию предлагается применять в эксплуатационных водохозяйственных организациях на гидрометрических постах открытых оросительных систем для решения задач водоучета и водораспределения.

2. Разработанный программно-аппаратный комплекс рекомендуется использовать для проведения натурных и лабораторных исследований элементов инженерно-мелиоративных систем. Полученные формулы для корректировки значений осредненных скоростей измеренных в условиях турбулентных пульсаций могут быть использованы органами стандартизации и метрологии при поверке и освидетельствовании приборов водоучета.

## ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:

### *Статьи в периодических научных изданиях, рекомендованных ВАК*

1. Абраменко П.И. Повышение точности измерения расходов воды в открытых каналах оросительных систем /П.И. Абраменко //Труды КубГАУ Серия – Агроинженерия. /ФГОУ ВПО КубГАУ. –Краснодар, 2008. Выпуск 2. с.6-10
2. Абраменко П.И. Гидрометрия: теория и практика измерения скорости течения воды в открытых каналах. /М.Н Цивин, П.И. Абраменко /ИГ им УААН. –Киев, 2004. –108с. (автор 50%).
3. Абраменко П.И. Определение инерционных характеристик гидрометрического винта. /П.И. Абраменко //Гідравліка і гідротехніка. /Національний транспортний університет. –Київ, 2003.-Вип.61.С.22-26.
4. Абраменко П.И. Расчет статистических характеристик гидрометрических вертушек при переменном интервале квантования /П.И. Абраменко //Меліорація і водне господарство. Міжвідомчий тематичний збірник. Выпуск 92. /Державне книжкове видавництво "Аграрна наука" УААН. –Київ, 2005. с. 195-200.
5. Абраменко П.И. К проблеме тарировки гидрометрических вертушек с учетом турбулентности. /Цивин М.Н., Абраменко П.И. //Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. /Київській Національний університет ім.Т.Шевченко -2006.-Вип.11.-С.173-178. (автор 50%).

### *Статьи, опубликованные в научных изданиях*

6. Абраменко П.И. Оценка минимальной длительности измерения осредненной местной скорости высокотурбулентного потока / М.Н. Цивин, П.И. Абраменко, А.В. Новойдарский // Гидравлика сооружений оросительных систем и водотоков: сборник статей /НИМИ, –Новочеркасск, 1985. –с.69-74. (автор 30%).
7. Абраменко П.И. Применение водорегулирующих сооружений для целей водоучета и водоизмерения /О.Л. Кольченко, П.И. Абраменко //Меліорація, експлуатація, охорона природи і комплексне використання водних ресурсів: тези доповідей науково-практичної конференції. –Новочеркасск, 1998. –с.94-95. (автор 50%).
8. Абраменко П.И. Измерительно-вычислительный комплекс для гидрометрических изысканий /О.Л. Кольченко, П.И. Абраменко //Меліорація, експлуатація, охорона природи і комплексне використання водних ресурсів: тези доповідей науково-практичної конференції. –Новочеркасск, 1998. –с.95-96. (автор 70%).
9. Абраменко П.И. Применение компьютерных технологий при гидрометрических изысканиях /П.И. Абраменко // Актуальные вопросы повышения эффективности водных мелиораций в южном федеральном округе: (Докл. на заседании науч. секции «Эксплуатация гидромелиор. систем»

- отд. Земледелия, мелиор. и лесн. х-ва Россельхозакад., г. Новочеркасск, 27-28 октября 2000г. /Новочеркасская гос. мелиор. акад.; Редкол.: Ольгаренко В.И. и др. –Новочеркасск, 2000. –с. 75-80.
- 10.Абраменко П.И. Применение новых информационных технологий в гидрометрии /П.И. Абраменко //IV Всероссийский симпозиум. Математическое моделирование и компьютерные технологии. Том 3 "информационные технологии": сборник научных трудов /КИЭП –Кисловодск 2000. –с.4
  - 11.Абраменко П.И. О градуировке водорегулирующих сооружений при затопленном истечении из-под затвора /П.И. Абраменко //Актуальные вопросы повышения эффективности водных мелиораций в южном федеральном округе: (Докл. на заседании науч. секции «Эксплуатация гидромелиор. систем» отд. Земледелия, мелиор. и лесн. х-ва Россельхозакад., г. Новочеркасск, 27-28 октября 2000 г., /Новочеркасская гос. мелнор. акад.; Редкол.: Ольгаренко В.И. и др. –Новочеркасск, 2000. –с. 81-86.
  - 12.Абраменко П.И. О расчете статистических характеристик турбулентных пульсаций, измеряемых гидрометрическими вертушками /П.И. Абраменко // Материалы научно-практической конференции по итогам работы сотрудников НГМА в 1999 г. /Ред. кол. Ольгаренко В.И. и др. – Новочеркасск, 2000. с. 32-34.
  - 13.Абраменко П.И. Определение инерционных характеристик гидрометрического винта /П.И. Абраменко //Гидротехническое строительство. Материалы регион. научн. практич. конф. «Гидротехника, гидравлика, геоэкология» (25.12.2002 Новочеркасск) ; Сб. научн. тр. /НГМА. – Новочеркасск, 2003. – Вып 1. с. 99-103.
  - 14.Абраменко П.И. О выборе градуировочных характеристик для водорегулирующих сооружений при затопленном истечении из под затвора /М.Н Цивин, П.И. Абраменко //Актуальные проблемы агропромышленного комплекса. Международный сборник научных трудов. /ФГОУ ВПО АЧГАА. –Зерноград, 2005. с. 102-107. (автор 50%).
  - 15.Абраменко П.И. Влияние инерционных характеристик гидрометрического винта на измерение осредненной скорости в условиях турбулентности /П.И. Абраменко, М.Н Цивин //Актуальные проблемы агропромышленного комплекса. Международный сборник научных трудов. /ФГОУ ВПО АЧГАА. –Зерноград, 2005. с. 107-112. (автор 50%).

Подписано в печать «24» ноября 2008 г. Тираж 100 экз. Заказ № 380

Типография НГМА, ул. Пушкинская, 111, г. Новочеркасск