

6
А-59

АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНСКОЙ ССР

ИНСТИТУТ КОЛЛОИДНОЙ ХИМИИ И ХИМИИ ВОДЫ

На правах рукописи

ЕРШОВ В.С.

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКОГО МЕТОДА
КОНТРОЛЯ ЦВЕТНОСТИ ВОДЫ И РАЗРАБОТКА
АБСОРБИОМЕТРА ДЛЯ ЕЕ ИЗМЕРЕНИЯ

/05.340 - технология неорганических веществ/

А в т о р е ф е р а т

диссертации, представленной на соискание
ученой степени кандидата технических наук

Киев - 1971

АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНСКОЙ ССР
ИНСТИТУТ КОЛЛОИДНОЙ ХИМИИ И ХИМИИ ВОДЫ

На правах рукописи

ЕРШОВ В.С.

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКОГО МЕТОДА
КОНТРОЛЯ ЦВЕТНОСТИ ВОДЫ И РАЗРАБОТКА
АБСОРБИОМЕТРА ДЛЯ ЕЕ ИЗМЕРЕНИЯ

/05.840 - технология неорганических веществ/

А в т о р е ф е р а т

диссертации, представленной на соискание
ученой степени кандидата технических наук

Киев - 1971



Работа выполнена в Институте коллоидной химии и химии воды АН УССР и Специальном конструкторском бюро аналитического приборостроения.

Научный руководитель: кандидат химических наук
И.Т.Гороновский

Официальные оппоненты: доктор технических наук
М.А.Шевченко

кандидат физико-математических наук
Б.Ф.Рудько

Ведущее предприятие - Научно-исследовательский Институт коммунального водоснабжения и очистки воды Академии коммунального хозяйства РСФСР им.Памфилова.

Автореферат разослан " 18 " сентября 1971 г.

Защита состоится " 28 " октября 1971 г. на заседании Совета по присуждению ученых степеней Института коллоидной химии и химии воды АН УССР.

Просим отзывы по автореферату в 2-х экземплярах, заверенных печатью учреждения, выслать по адресу : г.Киев-30, ул.Леонтовича, № 9-а, ИКХВ АН УССР.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института.

Ученый секретарь Совета
кандидат химических наук

В.Ю.Третинник

В.Ю.ТРЕТИННИК

В В Е Д Е Н И Е

Одной из важнейших народнохозяйственных задач в настоящее время является снабжение доброкачественной водой населения, промышленности и сельского хозяйства. Современная химическая технология кондиционирования хозяйственно-питьевых и технических вод невозможна без комплексной автоматизации технологических процессов по признаку заданного качества продукции. Это связано с разработкой инструментальных физико-химических методов, которые могли бы служить принципиальной основой автоматических аналитических приборов контроля качественных параметров воды.

Важнейшим нормированным показателем, отражающим степень загрязнения воды, является ее цветность. Она характеризуется интенсивностью окраски, которая обусловлена растворенными в воде органическими веществами, в основном гумусового происхождения, и выражается в условных градусах платино-кобальтовой шкалы или бихромат-кобальтовой имитации /ГОСТ 3351-46/.

Главным затруднением, задерживающим создание автоматических приборов для непрерывного контроля цветности воды, является отсутствие научно-обоснованного подхода к выбору инструментальной методики с учетом специфических особенностей, присущих измерению интенсивности окраски природных вод. Основной задачей в данном вопросе, на наш взгляд, является изучение причин возникновения, определение характеристики и исследование степени воздействия факторов, мешающих измерению цветности воды, а также поиск методов и средств устране-

ния или автоматического учета их влияния на результат измерений.

Диссертационная работа посвящена исследованию спектрофотометрического метода контроля цветности воды и разработке устройства для ее измерения. В работе приведены исследования оптических свойств природной воды, а также эталонных стандартов цветности и мутности. Рассмотрены вопросы инструментализации спектрофотометрической методики количественного определения окрашенных органических примесей воды в присутствии нерастворимых оптически непрозрачных веществ, с учетом изменения фракционного состава органических соединений и особенности фотоэлектрического метода измерения. Установлены необходимые и достаточные условия непрерывного объективного контроля цветности воды и предложена принципиальная схема устройства - абсорбциометра - для ее измерения. Исследованы условия компенсации влияния взвешенных веществ в переходном режиме, при скачкообразном изменении их концентрации. В диссертации приведены результаты экспериментальной проверки разработанного абсорбциометра в лабораторных и промышленных условиях, подтвердившие теоретические предпосылки и эффективность применения прибора в производственном контроле. Даны рекомендации по использованию абсорбциометра в качестве датчика системы оптимального регулирования процесса очистки высокоцветной природной воды коагулянтами, по величине ее остаточной цветности.

Диссертация состоит из пяти глав, содержит 194 страниц,

38 рисунков, 8 таблиц, а также список литературы, состоящий из 169 наименований.

ЦВЕТНОСТЬ ВОДЫ, ЕЕ ИЗМЕРЕНИЕ И ЗНАЧЕНИЕ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ ОЧИСТКИ

При формировании многокомпонентного состава природных вод одной из главных составляющих являются органические вещества, поступающие в водоемы и водоотoki в результате естественных процессов и деятельности человека. Состав органических веществ, содержащихся в природных водах, весьма разнообразен. Он формируется при участии почвенного и торфяного гумуса, планктона, высшей водной растительности, продуктов жизнедеятельности и распада флоры и фауны водных бассейнов, а также органических загрязнений, вносимых в воду промышленными стоками. Содержание в воде и соотношение органических веществ различного происхождения определяется почвено-геологическими, климатическими условиями и колеблется в различных водоемах в широких пределах. Цвет природных вод открытых водоемов в подавляющем большинстве случаев обуславливается высокомолекулярными гумусовыми веществами.

В настоящее время разграничивают несколько групп гумусовых веществ, отличающихся элементарным составом, растворимостью и т.д. По современным представлениям их рассматривают как высокополимерные соединения, представляющие собой совокупность отдельных звеньев, содержащих ядра-плоские сетки циклически полимеризованного углерода и боковые цепи-линейно

полимеризованного углерода с атомами / Н, О и др./ и функциональными группами / ОН, СООН /. Адсорбируемость таких соединений на различных сорбентах и устойчивость их к действию, применяемых в химической технологии очистки воды, окислителей зависит от величины макромолекулы.

Поглощение света водными растворами гумусовых веществ характеризуется сплошным спектром, который имеет максимум в ближней ультрафиолетовой и минимум в красной областях спектра. Сопоставление данных по элементарному составу гумусовых веществ со спектральными кривыми поглощения ими света указывает на связь между оптическими свойствами и строением их сложных молекул.

По оптическим свойствам природная вода является многокомпонентной системой, в связи с чем изменение светового потока, прошедшего через нее, есть функция поглощения света окрашенными органическими соединениями переменного состава и ослабления его непрозрачными примесями, в первую очередь различными нерастворимыми веществами, находящимися во взвешенном состоянии. Сложность явлений, происходящих при взаимодействии света с подобной средой, не позволяет получить на основании закона Бугера-Ламберта-Бера достаточно универсальных аналитических зависимостей. При исследованиях и контроле параметров таких сред должна применяться специфическая измерительная аппаратура, основанная на использовании метода дифференциального фотометрирования. Причем, как показали теоретические исследования и практика, наиболее совершенным метрологической точки зрения, является применение инструменталь-

ной методики, базирующейся на оптическом компенсационном принципе измерения.

Систематизация и анализ существующих методов и устройств, предназначенных для определения цветности воды, предложенных как отечественными, так и зарубежными исследователями показали, что ни одни из них в полной мере не удовлетворяют требованиям физико-химического контроля интенсивности окраски органических примесей в такой многокомпонентной системе, какой является природная вода. В них не учитываются в достаточной степени такие факторы, как изменение содержания взвешенных веществ, фракционный состав органических примесей и особенности фотоэлектрического метода измерения, где приемником светового потока служит не человеческий глаз, а фотоэлемент.

Цветность природных вод представляет собой органооптический показатель, величина которого служит критерием выбора дозы реагентов для их очистки. Зависимость между количеством реагентов, применяемых при химической обработке природной воды, и ее цветностью носит сложный характер и зависит от многих факторов, таких как состав органических примесей, щелочность, рН, температура воды и т.д. В связи с этим, предложенные различными авторами эмпирические формулы лишь приближенно позволяют судить о необходимых дозах реагентов для обесцвечивания природной воды с той или иной интенсивностью окраски. Регулирование технологического процесса в данном случае должно базироваться на использовании автоматического контроля

нормированного показателя - цветности очищенной воды.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СПЕКТРОФОТО- МЕТРИЧЕСКОЙ МЕТОДИКИ НЕПРЕРЫВНОГО ИЗМЕРЕНИЯ ЦВЕТНОСТИ ВОДЫ

Спектрофотометрические измерения природных вод и стандартных растворов для определения ее цветности, а также эталонов мутности, приготовленных из суспензий каолина, инфузорной земли и взвеси естественного происхождения, проводилось на спектрофотометрах СФ-10 и фирмы "Jobin Jvon". Результаты исследований показали, что спектры поглощения природных вод, как и растворы почвенных гумусовых веществ, представляют собой монотонно убывающие кривые в ультрафиолетовой и видимой частях спектра, независимо от характеристики водисточника. Поглощение света определяется суммарной величиной, зависящей от содержания взвешенных веществ в воде и интенсивности окраски растворенных в ней гумусовых веществ. Сравнение приведенных оптических плотностей фильтрованных образцов природных вод различных источников и периодов года иллюстрирует изменение крутизны спада спектральных кривых в связи с колебаниями состава органических примесей /Рис.1а/.

Оптические характеристики стандартного платино-кобальтового раствора цветности и его бихромат-кобальтовой имитации, а также природных высокоцветных вод позволяют сделать вывод, что максимальную чувствительность при контроле цветности воды можно достичь определением абсорбции света в ближней ультрафиолетовой области спектра /350-380 нм/. Однако, наиболее

удобный участок для фотометрических измерений представляет область длин волн 420-450 нм, где на кривой поглощения света стандартными растворами имеется горизонтальный участок. Взвешенные вещества также спектрально-селективно ослабляют световой поток в видимой области спектра /Рис.1б/; зависимость оптическая плотность - концентрация, есть функция состава и свойств нерастворимых примесей.

Определение цветности воды по величине поглощения света на одной длине волны невозможно, поскольку спектры поглощения обусловленные интенсивностью окраски и взвешенными веществами налагаются друг на друга. Однако, сравнительное компенсационное измерение в двух областях спектра дает возможность селективного определения цветности воды, в случае учета спектральной кривой ослабления света взвешенными веществами. Основываясь на линейной зависимости между оптической плотностью и концентрацией суспензий для двух любых длин волн в видимой области спектра было найдено, что отношение оптических плотностей / D_{λ_1} и D_{λ_2} / есть величина постоянная, зависящая от коэффициента ослабления света взвешенными веществами, и равная:

$$П = \frac{D_{\lambda_1}}{D_{\lambda_2}} = \frac{\alpha_{\lambda_1}}{\alpha_{\lambda_2}},$$

где α_{λ_1} и α_{λ_2} - коэффициенты, характеризующие ослабление света суспензиями на длинах волн λ_1 и λ_2 .

Из полученного выражения следует, что для двух конкретных длин волн при одинаковой концентрации взвешенных веществ, всегда можно подобрать толщины просвечиваемых слоев воды

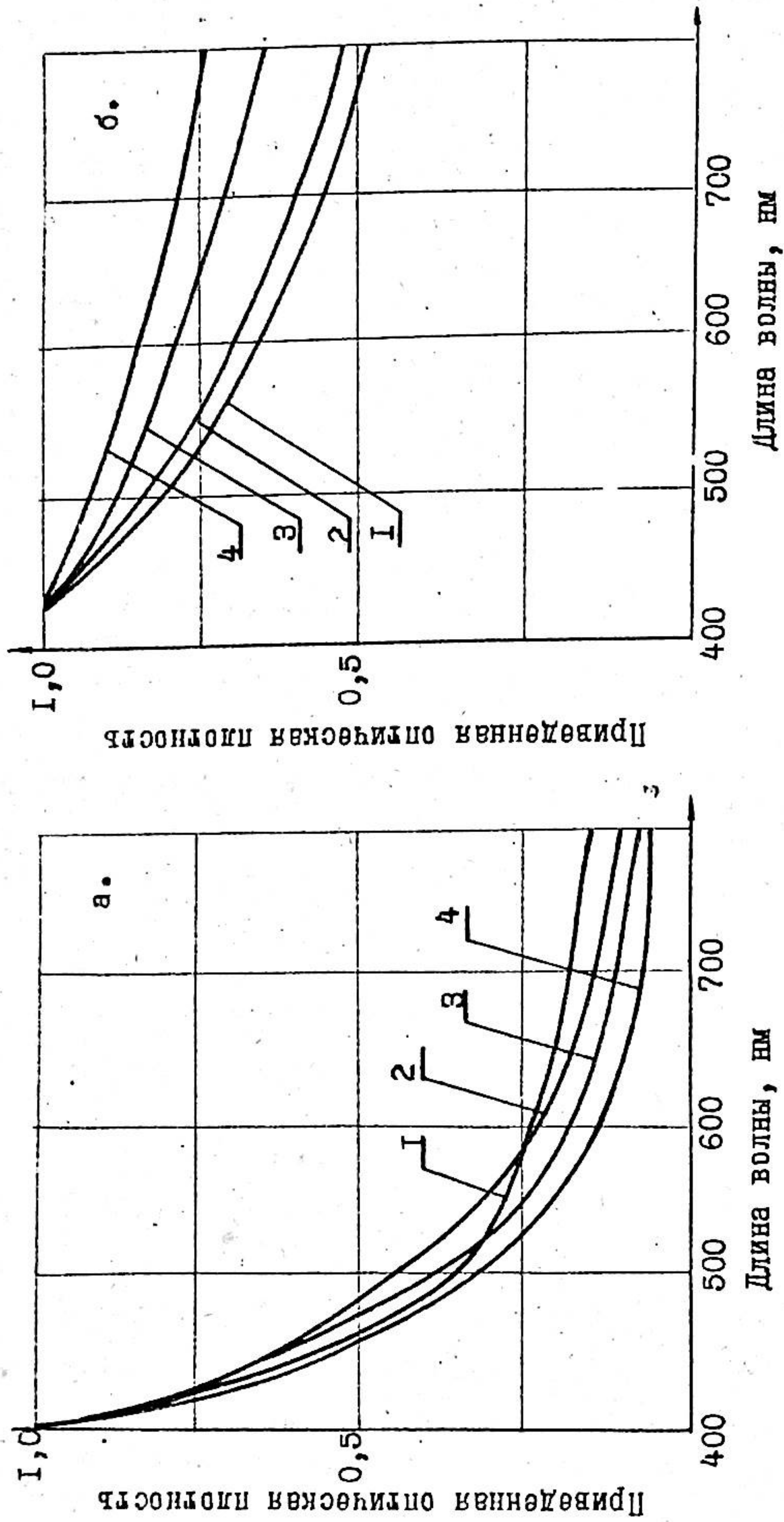


Рис.1 - Спектральные характеристики природных вод и суспензий взвешенных веществ.
 а - природные воды; 1,2 - днепровская вода; 3,4 - волжская вода;
 б - суспензии взвешенных веществ; 1 - каолина; 2 - инфузорной земли;
 3 - взвесь Волжского водоисточника; 4 - Москворецкого водоисточника.

при которых ослабление света нерастворимыми примесями будет одинаковым. С точки зрения получения максимальной чувствительности с учетом согласования результата инструментального контроля с визуальным определением цветности воды наиболее удовлетворяют области спектра 400-420 и 650-700 нм.

На основании анализа выражения, определяющего инструментальное компенсационное измерение, установлены необходимые и достаточные условия непрерывного автоматического измерения цветности воды, независимо от концентрации в ней взвешенных веществ. Необходимым условием является выполнение равенства:

$$\frac{l_u}{l_k} = \frac{d_{yk}}{d_{yu}}$$

где l_u ; l_k - длины кювет в измерительном и компенсационном оптических каналах;

d_{yu} ; d_{yk} - коэффициенты, характеризующие ослабление света взвешенными веществами в этих каналах.

Таким образом, толщины просвечиваемых слоев воды должны быть обратно пропорциональны коэффициентам ослабления света индивидуальными суспензиями присутствующими в природных водах. Это условие реализуется при стабилизации светового потока лампы просвечивания и выделении достаточно узких и постоянных спектральных диапазонов измерения.

Используя основные законы светопоглощения выведено уравнение, определяющее шкалу цветности воды, найденную указанным методом и получено выражение характеризующее чувствительность измерений:

$$S_x = 10^{-L_u d_{yx} C_y} / (M L_u d_{xu} 10^{-L_u d_{xu} C_x} - N L_x d_{xx} 10^{-L_x d_{xx} C_x})$$

где $C_x; C_y$ - значения цветности воды и концентрации в ней взвешенных веществ; $d_{xu}; d_{xx}$ - коэффициенты, характеризующие поглощение света органическими примесями воды в измерительном и компенсационном каналах; $M; N$ - постоянные коэффициенты. Из формулы видно, что увеличение длины измерительной кюветы улучшает чувствительность, но одновременно ухудшает ее из-за сильного влияния ослабления света взвешенными веществами. В связи с тем, что увеличение концентрации последних уменьшает чувствительность по экспоненциальному закону, необходим выбор оптимальной длины этой кюветы для реального изменения концентрации взвешенных веществ, имеющего место в природных водах.

Разработанная методика позволяет в достаточной степени учесть изменение фракционного состава растворенных гумусовых веществ, так как при его колебаниях спектральные характеристики природных вод имеют такие же приращения оптической плотности в избранных спектральных диапазонах, как и суспензии взвешенных веществ.

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО РАЗРАБОТКЕ АБСОРБИОМЕТРА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЦВЕТНОСТИ ВОДЫ

Исходя из предложенной инструментальной спектрофотометрической методики селективного определения цветности воды, схема абсорбиометра должна быть двухканальной, с различными

по длине проточными кюветами, позволяющая измерять разность оптических плотностей контролируемой воды в двух различных спектральных диапазонах. Критический обзор литературных данных показывает, что наиболее предпочтительной по метрологическим показателям и отвечающей требованиям непрерывного инструментального определения цветности воды, является двухлучевая измерительная схема с оптической компенсацией и модуляцией светового потока. В целях получения максимальной чувствительности при хорошем приближении результата инструментального определения цветности воды к визуально наблюдаемому были выбраны для измерительного и компенсационного каналов цветные светофильтры с максимумами пропускания, соответственно 420 и 680 нм и приемник световой энергии - вакуумный фотодетектор Ф-6. Проведенный анализ модулированного прямоугольного светового сигнала позволил найти частоту, соответствующую оптимальному соотношению сигнал/шум. Установлено, что частота модуляций для нашего случая должна быть небольшой. Это позволило выбрать частоту равную 50 гц, так как ее просто осуществить практически и удобно использовать при преобразовании сигнала.

Поскольку контролируемые мутные воды, а также измеряемая и окружающая среды оказывают существенное влияние на работу абсорбиометра, что приводит к возникновению дополнительной погрешности при определении цветности воды, следует считать целесообразным применение корректирующего устройства для периодического выявления и компенсации накопившейся ошиб-

ки. Проведенные исследования позволяют сказать, что предлагаемая инструментальная методика создает благоприятные условия для взаимокompенсации загрязнения стекл кювет в процессе эксплуатации, а применение периодической оптической коррекции показаний практически полностью устраняет накопившуюся ошибку от дополнительных воздействий. На основании обобщения полученных экспериментально материалов принята структурная схема абсорбциометра в виде изображенном на рис.2.

Условия компенсации влияния взвешенных веществ, рассмотренные выше, отвечают только их статическому состоянию. Для определения влияния изменения интенсивности окраски воды и ее мутности на качество переходного процесса нами исследованы динамические характеристики абсорбциометра. С этой целью были получены передаточные функции прибора для случая параллельного и последовательного потока контролируемой воды через кюветы. Ввиду того, что величина оптической плотности контролируемой воды представляет сумму оптических плотностей обусловленных интенсивностью окраски растворенных в воде соединений и находящихся в ней взвешенных веществ, то следует различать две передаточные функции абсорбциометра - по цветности /измеряемая компонента/:

$$W_{A.ц.}(P) = W'_{A.ц.}(P) = \frac{K}{(T_1 P + 1)[P(T_6 P + 1) + K]}$$

и по мутности /мешающая компонента/:

$$W_{A.м.}(P) = \frac{KP(T_2 - T_1)}{(T_1 P + 1)(T_2 P + 1)[P(T_6 P + 1) + K]}$$

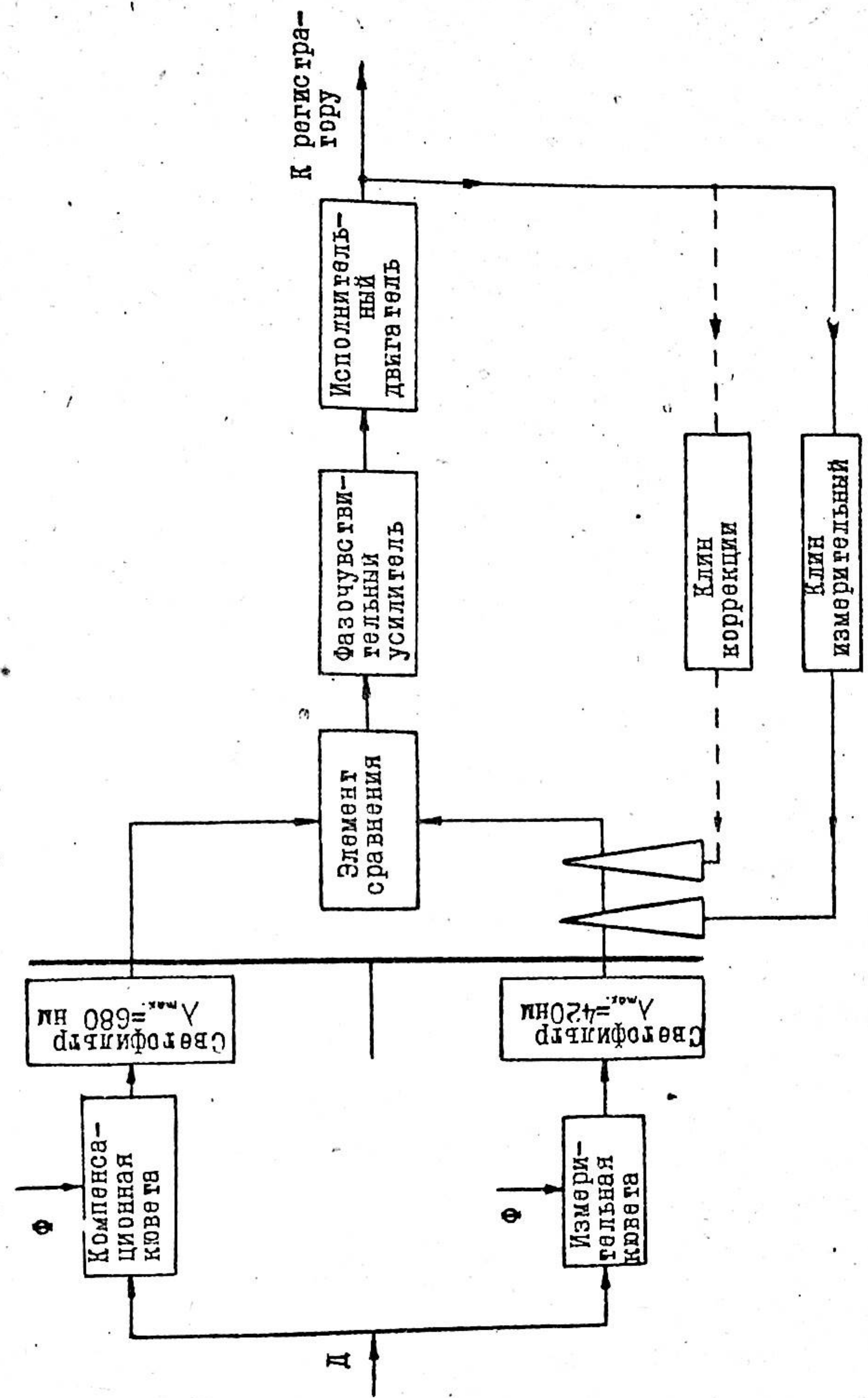


Рис.2 - Структурная схема абсорбциометра.

$$W'_{A.M.}(P) = \frac{KP T_2}{(T_1 P + 1)(T_2 P + 1)[P(T_6 P + 1) + K]}$$

где $W_{A.ч.}(P)$, $W'_{A.ч.}(P)$ - передаточные функции асорбциометра по измеряемой компоненте для параллельного и последовательного протока контролируемой воды через кюветы;

$W_{A.M.}(P)$; $W'_{A.M.}(P)$ - его передаточные функции по мешающей компоненте; T_1 ; T_2 ; T_6 - постоянные времени измерительной, компенсационной кювет и исполнительного двигателя; K - добротность следящей системы абсорбциометра.

Анализ выражений амплитудно-частотных характеристик абсорбциометра позволил выявить условия при которых улучшаются его частотные свойства и изменения концентрации взвешенных веществ не влияет на динамику прибора. Для этого необходимо осуществить параллельный проток воды через кюветы, имеющие одинаковые, как можно малые, постоянные времени, т.е. при соблюдении равенства $T_1 = T_2$.

Получено выражение интегральной динамической ошибки Δ_A абсорбциометра при скачкообразном изменении цветности и мутности воды, которое позволяет выделить звенья влияющие на ее величину:

где $\Delta_a = D_ч (T_1 + T_p) + D_н (T_2 - T_1)$,
 $D_ч$; $D_н$ - величина скачка оптической плотности от изменения цветности и мутности воды, соответственно; T_p - время отработки следящей системой абсорбциометра величины рассогласования, вызванного изменением окраски воды или ее мутности. Это уравнение подтверждает, что при равенстве постоянных вре-

мени измерительной и компенсационной кювет; динамическая ошибка есть функция только измеряемой величины /цветности/.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА АБСОРБЦИОМЕТРА

Выведенные аналитические зависимости экспериментально проверены при испытании модели абсорбциометра.

Для разработанной конструкции прибора были опытным путем определены значения коэффициентов отношения баз кювет /толщины просвечиваемых слоев воды в двух световых каналах/, для различных по своей природе суспензий взвешенных веществ. Исследование оптических свойств суспензий каолина, инфузурной земли и взвесей Волжского и Москворецкого водисточников, проведенное на спектрофотометре и фильтровом фотометре показали, что коэффициент отношения длин кювет, необходимый для исключения влияния изменения концентрации нерастворимых примесей воды, находится в пределах 1,2 - 1,9.

Поскольку, полной компенсации влияния взвешенных веществ не происходит, появляется сигнал помех, накладываемый на полезный сигнал. Для определения характеристики помех, нами были исследованы их статистические свойства. Эксперименты проводились на воде с нулевой цветностью при колебании концентрации взвешенных веществ от 0 до 14 мг/л. После обработки полученных данных на ЦВМ были найдены нормированные оценки автокорреляционной функции и спектральной плотности. Это позволило получить информацию о возможном изменении и влиянии целевого сигнала помех и определить какие частоты и в ка-

ком соотношении преобладают в составе данного случайного процесса и тем самым решить задачу устранения помехи.

Для сравнения результатов теоретического анализа с действительными динамическими характеристиками абсорбциометра проведены эксперименты, в которых изучались переходные процессы в этом приборе при скачкообразном изменении цветности и мутности воды. Опыты подтвердили, что изменение цветности воды в компенсационном оптическом канале не влияет на характер переходного процесса, а передаточную функцию измерительной кюветы можно представить в виде апериодического звена первого порядка. Исследование переходного процесса при изменении концентрации взвешенных веществ полностью подтвердили теоретические положения, связанные с компенсацией их влияния. Зависимость отклонений показаний абсорбциометра, как функция отношения длин компенсационной и измерительной кювет наглядно иллюстрирует /Рис.3/, что при определенном их соотношении /з нашем случае 1,7/ показания не зависят от колебаний мутности воды. Из рис.4 видно, что только при параллельном протоке контролируемой воды изменение концентрации взвешенных веществ практически не влияет на показания абсорбциометра. Эти кривые сняты при равенстве постоянных времени измерительной и компенсационной кювет; при их неравенстве наблюдается динамическая ошибка тем значительнее, чем больше отличие между ними.

Исследование работы абсорбциометра проводилось в лабораторных условиях, на стендах и промышленных объектах. Лабораторные испытания прибора показали его высокие метрологические

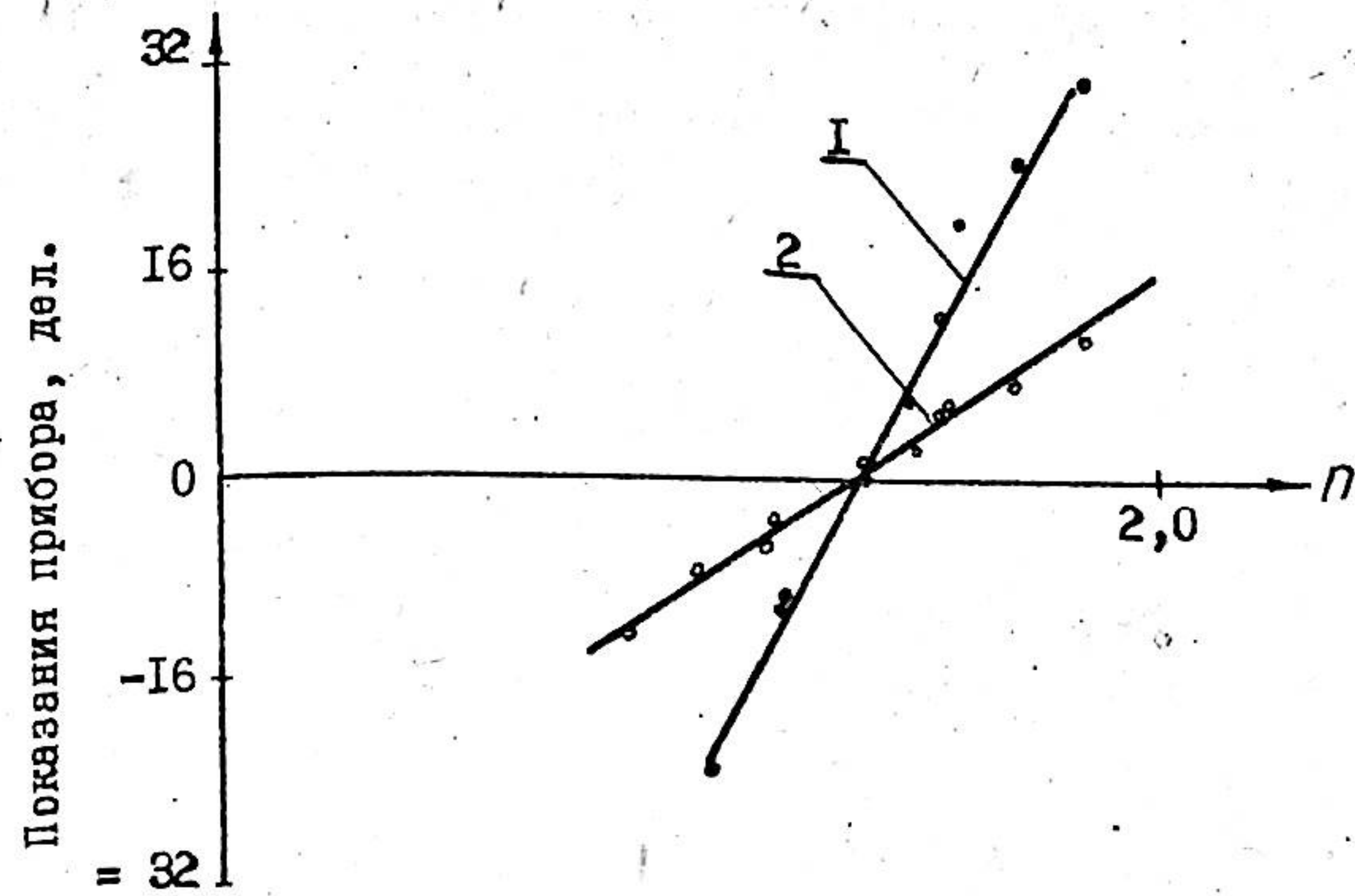


Рис.3 - Зависимость отклонений показаний абсорбциометра от отношения длин кювет при скачкообразном изменении мутности воды 0-5 мг/л /1/ и 0-2 мг/л /2/.

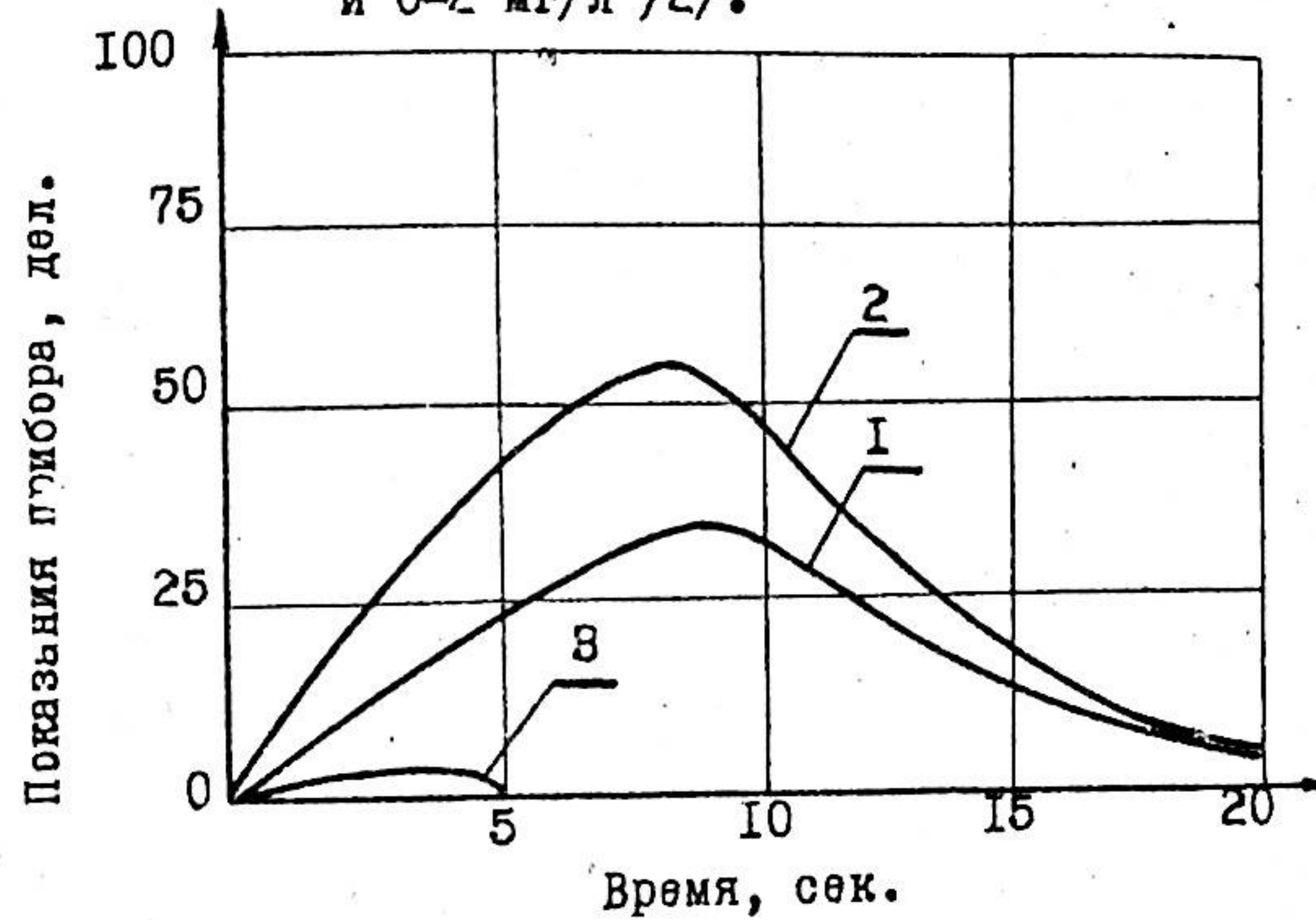


Рис.4 - Зависимость показаний абсорбциометра от характеристики потока контролируемой воды. 1, 2 - последовательный проток, изменение концентрации взвешенных веществ от 0 до 2 и 5 мг/л, соответственно; 3 - параллельный проток, изменение концентрации от 0 до 5 мг/л.

характеристики:

- основная приведенная погрешность - $\pm 2,5\%$,
- повторяемость показаний - $\pm 1,0\%$,
- стабильность показаний - $\pm 1,5\%$,
- дополнительная погрешность от изменения мутности в пределах до 10 мг/л - $\pm 2,0\%$.

Производственные испытания разработанного автоматического прибора проводились на Северной и Западной водопроводных станциях г.Москвы. Они осуществлялись в несколько этапов с целью определения работоспособности абсорбиометра в различных условиях ведения технологического процесса очистки воды. Сравнительный анализ показаний прибора с данными химических лабораторий /см.таблицу/ дал хорошее совпадение результатов, в соответствии с приведенной выше метрологической характеристикой. Положительные результаты промышленных испытаний позволили провести Межведомственные /Государственные/ испытания абсорбиометра и получить разрешение на выпуск опытной партии приборов.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ АБСОРБИОМЕТРА
В КАЧЕСТВЕ ДАТЧИКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО
РЕГУЛИРОВАНИЯ

Для обесцвечивания природных вод применяются коагулянты и окислители. Наиболее целесообразно вести процесс дозирования реагентов по нормированному показателю качества воды, в случае высокоцветных вод - по величине ее остаточной цветности.

Сравнительные данные показаний абсорбиометра и химической лаборатории Северной водопроводной станции г. Москвы

Цветность воды /град./			Отклонения /град./	Цветность воды /град./		
по прибору	лаб. анализ			по прибору	лаб. анализ	
Вода Волжского водосточника						
36	40	-4	25	29	-4	
38	40	-2	29	29	0	
39	41	-2	30	27	+3	
40	41	-1	30	28	+2	
39	43	-4	23	24	-1	
40	42	-2	26	26	0	
37	40	-3	20	23	-3	
38	39	-1	27	25	+2	
41	44	-3	Вода после фильтров			
45	47	-2	18	18	0	
46	47	-1	17	18	-1	
39	43	-4	17	17	0	
40	45	-5	17	19	-2	
41	44	-3	19	18	+1	
Вода после отстойников						
29	28	+1	20	19	+1	
26	27	-1	20	20	0	
25	23	+2	21	20	+1	
26	28	-2	19	19	0	
27	25	-2	20	18	+2	
26	26	0	20	17	+3	
25	26	-1	19	17	+2	
			19	18	+1	

Примечание: мутность воды Волжского водосточника не превышала 5,0 мг/л, воды после отстойников - 3,5 мг/л, а фильтрованной воды - 2,0 мг/л.

Многочисленными исследованиями установлено, что между цветностью обрабатываемой воды и дозой реагента существует сложная зависимость, требующая учета большого количества факторов, влияющих на процесс обесцвечивания. Анализ рассмотренных систем автоматического регулирования /САР/ показал, что ни одна из общепринятых схем не позволяет вести процесс обесцвечивания воды коагулянтами в оптимальном, экономически выгодном режиме, поскольку они не учитывают ряд специфических особенностей, присущих процессу коагуляции примесей. Главными из них являются изменение адсорбируемости окрашивающих воду веществ, инерционность объекта регулирования и отсутствие, до настоящего времени, надежного устройства для непрерывного контроля цветности воды. Используя предложенную конструкцию абсорбциометра, нами сделана попытка создать оптимизирующее устройство, позволяющее построить САР близкую к оптимальной.

Рассматривая процесс обесцвечивания воды коагулянтом в смесителе как изменение концентрации реагирующих масс в сооружении с постоянным объемом, составлено уравнение кинетики для случая линейного изменения цветности обрабатываемой воды при изменении дозы коагулянта. Из него получено значение времени t , в течение которого должно происходить изменение дозы коагулянта, необходимое для достижения требуемой величины цветности:

$$t = \frac{Q(C_0 - C_1)}{B_2 C_2 A}$$

где Q - количество жидкости в смесителе в м³, C_0 - требуемая величина цветности в град/л, C_1 - значение цветности воды, до

изменения дозы коагулянта, в град/л, B_2 - поток коагулянта в м³/час, C_2 - концентрация раствора коагулянта в г/л, A - адсорбируемость органических примесей в град/г. Можно предположить, что предпочтительным вариантом решения оптимизации дозирования коагулянта является прогнозирование, согласно полученного уравнения, времени на изменения дозы, которое для конкретных условий будет минимальным. Рассмотрение процесса регулирования дозы коагулянта с применением вычислительного устройства показывает, что такая САР обеспечивает протекание процесса обесцвечивания практически без перегулирования, т.е. критерием оптимизации в ней служит минимизация величины перегулирования.

Промышленная эксплуатация абсорбциометра для непрерывного автоматического измерения цветности воды позволила выявить и определить условную экономическую эффективность от предполагаемого внедрения прибора в химической технологии очистки природных вод, величина которой составляет ориентировочно 1600 руб. в год.

В Ы В О Д Ы

I. Существующие методы и единичные приборы, используемые на станциях обработки воды для измерения ее цветности, не удовлетворяют требованиям предъявляемым к непрерывному объективному контролю. Основной причиной, задерживающей решение этой актуальной задачи объективного контроля процессов водоподготовки, является отсутствие научно-обоснованной методики, которая учитывала бы специфические особенности, присущие изме-

рению интенсивности окраски разбавленных растворов высокомолекулярных гумусовых веществ, в основном обуславливающих цветность природных вод.

2. Применительно к условиям непрерывного объективного измерения цветности воды определены эти специфические особенности. Установлено, что они в основном обусловлены присутствием в воде нерастворимых примесей находящихся во взвешенном состоянии, изменением состава и оптических свойств окрашенных гумусовых веществ и спецификой фотоэлектрического метода контроля.

3. Определено влияние этих особенностей на результат измерения цветности воды. Спектрофотометрические исследования спектров поглощения природных вод, стандартного эталонного раствора цветности и его имитации, а также суспензий взвешенных веществ различного характера позволили выявить условия, при которых возможно непрерывное измерение цветности.

4. Показано, что для устранения влияния изменения концентрации взвешенных веществ на результат измерения цветности воды толщины просвечиваемых слоев должны быть обратно пропорциональны коэффициентам ослабления света этими веществами в выбранных спектральных диапазонах.

5. Определены, теоретически обоснованы и экспериментально проверены необходимые и достаточные условия непрерывного селективного определения цветности, путем дифференциального фотометрирования в коротковолновой и длинноволновой областях видимого спектра с применением кювет различной длины.

6. Предложена и исследована схема абсорбиометра для непрерывного контроля цветности воды, основанная на оптическом компенсационном методе измерения, с модуляцией светового потока и периодической коррекцией показаний. Определена частота модуляции для выбранного типа фотоприемника из соображений получения оптимального соотношения сигнал/шум.

7. Выведены передаточные функции абсорбиометра, найдены условия при которых скачкообразное изменение концентрации взвешенных веществ не влияет на динамические характеристики абсорбиометра. Этими условиями является равенство постоянных времени измерительной и компенсационной кювет при параллельном протоке через них контролируемой воды. Составлено уравнение для динамической погрешности измерений.

8. Экспериментально исследованы статистические характеристики помех, возникающих при измерении цветности воды и обусловленных не идеальным устранением влияния взвешенных веществ. Определена величина вариации коэффициента отношения длин кювет для различных видов нерастворимых примесей. Сняты динамические характеристики абсорбиометра при скачкообразном изменении как величины цветности воды, так и концентрации взвешенных веществ в ней. В результате проведенных исследований получено подтверждение теоретических положений, изложенных в настоящей работе.

9. Для обработки высокоцветных вод коагулянтом, на основании математического моделирования процесса обесцвечивания воды в смесителе, предложена система автоматического регули-

рования дозы коагулянта с применением абсорбциометра для измерения цветности воды. В качестве критерия оптимизации принята минимизация величины перерегулирования остаточной цветности.

10. Проведены исследования абсорбциометра в лабораторных условиях и на промышленных объектах. Они показали высокие метрологические качества прибора и перспективность применения его взамен существующего в настоящее время лабораторного контроля. Проведены Межведомственные испытания и получено разрешение Госстандарта при Совете Министров СССР на выпуск опытной партии. Определена условная экономическая эффективность от предполагаемого внедрения прибора для измерения цветности в химической технологии очистки природных вод. Срок окупаемости абсорбциометров составляет 1,4 года.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. Алхазивили Р.И., Ершов В.С., К вопросу автоматического контроля цветности воды, Сб. докладов научно-технической конференции УВКХ Мосгорисполкома, Москва, 1968 г.

2. Ершов В.С., Автоматический анализатор цветности воды, Сб. докладов научно-технической конференции УВКХ Мосгорисполкома, Москва, 1969 г.

3. Ершов В.С., Султанов Э.Г., Динамика автоматических фотоэлектрических анализаторов с двумя проточными кюветами, Тезисы докладов Всесоюзного совещания "Основные направления

в разработке новых приборов для анализа жидких сред", Тбилиси, 1970 г.

4. Ершов В.С., Горюновский И.Т., Оптимизация процесса дозирования коагулянта при обработке высокоцветных вод, Сб. "Организация реагентного хозяйства на водопроводных станциях", М., 1971 г.

5. Ершов В.С., Горюновский И.Т., Статистические характеристики помех, возникающих в некоторых типах автоматических абсорбциометров, Сборник докладов Всесоюзного совещания по аналитическому приборостроению, Тбилиси, 1971 г.

6. Ершов В.С., Горюновский И.Т., К вопросу оптимального дозирования коагулянта при обработке природных вод, Сб. "Прогрессивные методы очистки природных и сточных вод", Москва, МИСИ им.Куйбышева, 1971 г.

7. Ершов В.С., Горюновский И.Т., Методы и приборы для измерения цветности воды, Сб. "Новая аппаратура и автоматические устройства по технологии обработки воды", Изд-во "Науковедумка", Киев, 1971 г.

Результаты работы доложены:

1. На научно-технической конференции по итогам исследовательских работ УВКХ Мосгорисполкома, М., 14-15 июня 1969 г.

2. На семинаре "Современные методы очистки и обеззараживания воды", Киев, 19-21 апреля 1969 г.

3. На Всесоюзном совещании "Основные направления в разработке новых аналитических приборов", Тбилиси, 5-6 октября 1970 г.

4. На Всесоюзном семинаре "Организация реагентных хозяйств на водопроводных станциях", М., 18-21 марта 1971 г.