

Ф. Д. Журина

МИНИСТЕРСТВО МЕЛИОРАЦИИ И ВОДНОГО
ХОЗЯЙСТВА РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

НАУЧНО—ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ
ОБЪЕДИНЕНИЕ «САНИИРИ»
СРЕДНЕАЗИАТСКИЙ НАУЧНО—
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ИРРИГАЦИИ им. В. Д. Журина

**СБОРНИК
НАУЧНЫХ ТРУДОВ
МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ**

МИНИСТЕРСТВО МЕЛИОРАЦИИ И ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА
РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ "САНИИРИ"

СРЕДНЕАЗИАТСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ ИРРИГАЦИИ им. В.Д.Журина

СБОРНИК
НАУЧНЫХ ТРУДОВ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

Ташкент 1994

В сборнике представлены результаты исследований молодых ученых, специалистов и аспирантов Среднеазиатского научно-исследовательского института им. В. Д. Журина в области мелиорации и водосберегающей технологии, эксплуатации гидромелиоративных систем, водохозяйственного строительства и систем управления водохозяйственным комплексом, выполненных в 1993-1994 гг.

Редакционная коллегия:

Духовный В. А. (гл. редактор), Якубов Х. И., Рахимов Ш. Х., Беглов Ф. Ф., Пулатов А. Г., Меркина А. Ш.

С Среднеазиатский научно-исследовательский институт им. В. Д. Журина, 1994

СОДЕЙСТВИЕ РЕШЕНИЮ ПРОБЛЕМ БАССЕЙНА АРАЛЬСКОГО МОРЯ: МЕТОДЫ РАБОТЫ ВСЕМИРНОГО БАНКА

В связи с вовлечением специалистов-водников Центрально-азиатского региона в проекты, инвестируемые при содействии Всемирного банка, возникает целый комплекс вопросов: что такое Всемирный банк, почему и кому он оказывает содействие, каковы методы его работы и т.п. На основе аналитического обзора публикаций Всемирного банка / 1-3 и др. / попытаемся ответить на эти вопросы.

В июле 1944 г. на валютно-финансовой конференции Организации Объединенных Наций в г.Беттон-Вудс, США, родилась идея создания Международного Банка Реконструкции и Развития, зачастую называемого "Всемирным банком". Банк начал свою работу 25 июня 1946 г.

По всей видимости, идея создания Банка основывалась на сформировавшейся к тому времени в западной идеологии теории "корпоративной социальной ответственности", согласно которой владелец капитала, удовлетворяя своими инвестициями социально-экономические интересы общества, имеет возможность получить рыночную прибыль. Другими словами, фондодержатели, проявляя "просвещенный личный интерес", руководствовались более широкими мотивами, чем простое стяжательство.

Главная цель Всемирного банка - содействовать долгосрочному экономическому росту развивающихся стран. Сегодня 161 государство является членом Всемирного банка, в т.ч. все государства Центральной Азии.

Согласно Уставу, Всемирный банк предоставляет займы развивающимся странам с тем, чтобы помочь финансировать проекты, способствующие экономическому росту, а также предоставляет "техническую помощь", т.е. консультативные услуги экспертов для повышения эффективности отдельных секторов экономики и увязки работы этих секторов с целями развития экономики страны в целом. При этом займы предоставляются только бедным стра-

нам-членам, т.е. странам с годовым доходом на душу населения ниже уровня "порога заимствования" (например, в 1991 финансовом году этот "порог" составлял 4095 долларов США).

Свою главную цель Банк выполняет, выступая посредником между капиталом развитых стран и правительствами развивающихся стран. Только правительство страны-члена Банка может запросить у него фонды для финансирования конкретного проекта. Правительство же является и ответственным за обеспечение всего, что связано с выполнением проекта. На основе потребностей и условий выполнения каждого проекта между правительством и Банком заключается Соглашение-Договор.

Правительство назначает "агентство" (министерство), которое занимается претворением проекта в жизнь. Это "агентство" обеспечивает поставку товаров и оборудования, выбирает подрядчиков для выполнения работ по проекту и нанимает консультантов.

По Программе бассейна Аральского моря в качестве заемщика выступает Межгосударственный Совет стран Центральной Азии по проблеме Аральского моря. В качестве "агентства"-исполнителя - Исполком Межгоссовета.

Следует отметить, что каждый проект - независимо от вида и размера - проходит через многоступенчатый процесс, называемый циклом проекта. Цикл проектов Всемирного банка состоит из шести стадий: определение; подготовка; оценка стоимости; обсуждение и представление на рассмотрение Совету банка; выполнение и надзор; оценка результатов.

Задача определения и предложения проекта для финансирования Всемирным банком возлагается, главным образом, на правительства стран. Прежде чем приступить к обсуждению задачи, необходимо получить ответы на следующие вопросы. Кому выгоден проект? Будет ли прибыль от выполнения проекта превышать затраты? Имеются ли другие возможности для достижения таких же целей? И самое главное, проект должен пройти проверку на приоритетность в ряду социально-экономических интересов страны.

На стадии подготовки проекта "агентство" при помощи Банка оценивает технические, экономические, социальные и природоохранные аспекты проекта. При этом изучаются возможности выпол

неция различных вариантов проекта. В процессе подготовки разрабатывается также график выполнения проекта.

Третья стадия представляет собой независимую экспертизу проекта в четырех основных областях — технической, организационной, экономической и финансовой. Технические вопросы: соблюдены ли действующие технические стандарты и нормы проектирования, влияние на окружающую среду и др. Организационные вопросы: обладает ли заемщик достаточной организацией, кадрами, политикой для реализации проекта; нужны ли какие-либо структурные изменения. Экономические вопросы: перекроет ли доход от реализации проекта расходы на него, как изменится душевой доход, как изменится занятость населения, какова прогнозируемая норма прибыли на вложения и др. Финансовые вопросы: достаточно ли продуман финансовый план заемщика, отвечает ли требованиям система бухгалтерского учета и т.д.

На четвертой стадии происходит согласование точек зрения представителей Всемирного банка и заемщика по принятию мер, обеспечивающих успех проекту. После этого Совет Банка утверждает или не утверждает финансирование проекта.

На стадии выполнения проекта Банк осуществляет надзор, чтобы "гарантировать, что суммы, составляющие ссуду, используются только для целей, для которых ссуда была утверждена". Эти правила обычно требуют от заемщика производить закупки товаров и услуг на международных конкурентных торгах, открытых для фирм из стран-членов Банка. Как показывает предшествующая практика, средства, выделяемые Банком, тратятся в следующих пропорциях: приблизительно 70 % приходится на покупку товаров, оборудования и технологий; 20 % — на осуществление гражданского строительства и 10 % — на консультационные услуги. Фонды перемещаются только после того, как требования Соглашения о ссуде, относящиеся к товарам, проведению работ и услугам, выполнены. Сотрудники Банка производят надзор за закупками и выбором консультантов и проверяют все документы. Обычно заемщики строго следуют требованиям Банка, в противном случае Банк сохраняет за собой право не производить финансирование.

Страна-заемщик производит оплату по контрактам, финансируемым Банком, несколькими способами. Можно платить из своих

источников, напрямую или с помощью аккредитива, а затем добиваться возмещения своих средств от Банка. Если Банк предварительно направил фонды на специальный счет, заемщик может производить оплату напрямую из этого фонда. Иногда заемщик может просить Банк производить выплату поставщику напрямую. Все выплаты производятся в валюте, указанной в контракте.

В составе Всемирного банка существует Отдел оценок результатов операций, где проект проходит завершающую стадию цикла и получает оценку своим результатам. Оценка состоит в сравнении стоимости проекта, пользы от его внедрения, графиков и эффективности (фактических) с тем, что ожидалось на стадии предварительной оценки. Предлагаются также меры по повышению эффективности проекта в будущем.

Следует отметить, что информация о ходе каждой стадии цикла проекта доступна широкой публике посредством периодических публикаций Всемирного банка, а также благодаря распространению информации через различные международные конференции, семинары, симпозиумы и другие форумы.

Следуя теории "корпоративной социальной ответственности", Всемирный банк обратился и к проблемам бассейна Аральского моря. Как известно, в январе 1994 г. Главы государств Центральной Азии в г.Нукусе согласовали и приняли единую Программу первоочередных мер по решению проблем бассейна Аральского моря. Сразу после этого в регион прибыла специальная миссия экспертов Всемирного банка, которая совместно с местными специалистами выполнила первую стадию вышеупомянутого цикла - определение проектов. На основе Программы, утвержденной Главами государств, было определено 8 проектов, в т.ч. и проект "Создание мощностей", который должен обеспечить содействие в планировании, подготовке и внедрении всей Программы. На рисунке показана схема взаимосвязей и суть проектов по Программе бассейна Аральского моря, предложенных к инвестированию при содействии Всемирного банка.

В июне 1994 г. в Париже указанные выше проекты были предложены Всемирным банком для финансирования "донорам". Таким образом, Всемирный банк выполнил свою главную функцию - выступил посредником между государственным капиталом развитых стран

и развивающимися государствами бассейна Аральского моря, нуждающимися в привлечении этого капитала для решения социально-экономических и экологических проблем, перед лицом которых они оказались после развала СССР. При этом определяются фирмы, которые будут участвовать в подготовке и выполнении проектов. Фирмы выбираются на конкурентной основе. Важным является вопрос отбора консультантов. Основные факторы отбора консультантов концентрируются на качестве услуг, а не на цене. Всемирный банк имеет компьютеризованный список консультативных фирм. Заемщик выбирает консультантов из данного списка, согласно поданным ими предложениями. Сотрудники Банка проверяют и комментируют условия, рекомендации, бюджет и окончательный выбор.

Ориентировочно намечены стадии цикла. В ближайшие три года будет выполняться, главным образом, вторая стадия — подготовка проектов. Предусмотрено две фазы. Первая — технико-экономическое обоснование всех проектов программы бассейна Аральского моря (6 месяцев). Вторая фаза — либо подготовка более детального проекта, либо сразу выполнение проекта (например, оснащение БВО "Сырдарья").

Технико-экономическое обоснование проектов будет осуществляться творческими группами экспертов, куда на паритетных началах войдут специалисты из всех стран региона, а также международные консультанты и эксперты Банка.

Всемирный банк особое внимание уделяет экономическому и финансовому анализам проектов. Наиболее полно методические подходы к этим вопросам описаны в монографии, опубликованной Институтом экономического развития Всемирного банка / 2 /. Обычно в практике Всемирного банка доходность проекта выражается в виде внутренней нормы прибыли, иногда также называемой экономической нормой прибыли. Это учетная ставка, которая приводит к нулю нетто стоимость проекта на конкретный момент времени. Она вычисляется по формуле

$$\sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+R)^t} = \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+R)^t},$$

где R – норма дисконтирования, в десятичных долях;
 n – номер года во всем периоде экономической оценки;
 t – заданный год, обычно представленный как переменная $0, 1, 2, \dots, n$;
 B_t – прибыль в год t ;
 C_t – затраты в год t (капитальные, текущие).

Если учетная ставка равна или превышает оптимальные издержки капитала, проект считается оправданным.

Финансовая рентабельность проекта определяется несколькими путями. Подход, близкий по концепции внутренней экономической норме прибыли, – финансовая норма прибыли, – имеет дело с распределением по времени потоков фондов, втекающих и вытекающих из предприятия в результате внедрения проекта. Финансовая норма прибыли определяется как учетная ставка, которая уравнивает действительную стоимость потоков финансовых затрат и прибылей за период существования проекта. Затраты, входящие в финансовый анализ, включают в себя капиталовложения в проект и дополнительные оперативные и административные расходы, связанные с этими капиталовложениями, за время существования проекта. Включаются также изменения в уровне активов (материальные ценности), но не амортизация – поскольку капиталовложения записываются на тот год, в котором они произведены. Поток суммарных выгод включает приростный приток фондов от проекта, являющийся основным способом измерения доходов или поступлений от продукции или услуг проекта. Субсидии включаются в финансовый анализ как поступления, а таможенные пошлины и налоги – как расходы.

Какая финансовая норма прибыли проекта считается приемлемой? Прибыль должна, по крайней мере, равняться той, которую можно было бы получить от альтернативных вложений, учитывая поправку на риск. В большинстве случаев, как показывает практика Банка, дополнительная финансовая прибыль от новых вложений превышает общую норму прибыли от используемых активов (нетто).

Знание требований и методов работы Всемирного банка, а также объективная оценка профессионального уровня местных специалистов Центральноазиатского региона указывает на то, что мы с достаточным оптимизмом можем ожидать успешной реализации вышеуказанных инвестиционных проектов по Программе бассейна Араль-

ского моря (см.рисунок) при непосредственном участии в них и специалистов НПО САНИИРИ.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Узбекистан. План экономических реформ// Региональные исследования Всемирного банка.-Вашингтон, 1993.-336 с.

2. Gittenger J. Price. Economic analysis of agricultural projects// Published for the Economic Development Institute of the World Bank. The Johns Hopking University Press.- Baltimore and London, 1982.-506 p.

3. Planning the management, operation and maintenance of irrigation and drainage systems: a guide for the preparation of strategies and manuals/ International Commission on Irrigation and Drainage. (World Bank technical paper N 99). 1989.- 150p.

ОПТИМАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕФИЦИТНОЙ ОРОСИ-
ТЕЛЬНОЙ ВОДЫ В УСЛОВИЯХ ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ,
ПОДВЕРЖЕННЫХ ЗАСОЛЕНИЮ

(постановка задачи и основа решения)

Сельскохозяйственное производство на орошаемых землях в Узбекистане характеризуется дефицитом оросительной воды — где периодически возникающим, а где и устойчивым. Значительная часть этих земель, в основном из числа освоенных за последние десятилетия, подвержена засолению (по оценке института Узгипрозем, около 50 %). В таких условиях важной задачей управления производством является оптимальное распределение дефицитной оросительной воды в пространстве (по типовым участкам хозяйства, массива) и во времени.

Наиболее эффективно эту задачу можно решить с использованием экономико-математического оптимизационного моделирования водораспределения. Вопросы оптимизации водораспределения с использованием экономико-математического моделирования исследовались в Институте водных проблем АН СССР (ныне РАН) / 1-5 /, Московском гидромелиоративном институте / 6-8 /, Всесоюзном и Украинском НИИ гидротехники и мелиорации / 9, 10 /, СНИИРИ / 11, 12 /, Корнельском университете США / 13 / и других научных центрах. Однако для условий орошаемых земель, подверженных засолению, эти вопросы проработаны недостаточно.

При постановке и решении задачи оптимального водораспределения на орошаемых землях, подверженных засолению, важно учитывать следующие обстоятельства.

· I. При дефиците водозабора в невагетационный период возможны различные варианты распределения оросительной воды между участками с различной степенью засоления почв (незасоленными, слабо-, средне- и сильнозасоленными).

При этом распределение воды зависит, в основном, от того, под посевы каких сельскохозяйственных культур планируются эти

участки, от влаго- и солеустойчивости, доходности рассматриваемых культур.

2. При заданных ограничениях (лимитах) на забор оросительной воды в предстоящие невегетационный и вегетационный периоды имеется возможность, распределяя дефицитную оросительную воду, согласовывать степень рассоления почв различных участков объекта в невегетационный период с уровнем засоления почв на этих участках, поддерживаемым в течение вегетационного периода и влияющим на экономические показатели производства.

3. На поливных участках, занятых под посевы одной сельскохозяйственной культуры, почвы имеют разную степень засоления. Однако на практике вегетационные поливы, как правило, не дифференцируются по объему подаваемой воды и продолжительности в границах одного поля в зависимости от степени засоления почв отдельных его участков. Это объясняется значительной трудоёмкостью такой процедуры и тем, что её выполнение способно нарушить режим проведения прочих агротехнических мероприятий.

4. При дефицитном лимите на водозабор в целом на предстоящий год можно перераспределить на объекте оросительную воду промывного назначения между невегетационным и вегетационным периодами, если это позволяет гидротехническая система.

С учетом перечисленных особенностей и результатов предыдущих исследований общую постановку задачи водораспределения в хозяйстве или на орошаемом массиве предлагается сформулировать таким образом:

- при заданных почвенно-мелиоративных, гидрогеологических, геоморфологических и других природно-хозяйственных условиях;
- при заданных параметрах гидромелиоративной системы;
- при заданной структуре посевов сельскохозяйственных культур и их размещении по площади;
- при заданных ограничениях на водозабор, на удельную водоподачу нетто требуется оптимально распределить оросительную воду в невегетационный период - по планируемым площадям посевов сельскохозяйственных культур с различной исходной степенью засоления почв, в вегетационный период - по планируемым площадям посевов сельхозкультур с учетом рассоления орошаемых почв, достигнутого за невегетационный период.

При такой постановке задачи для оптимизации водораспределения можно использовать приведенную ниже экономико-математическую модель, составленную с учетом результатов исследований / 1-13 /.

Целевая функция

$$\sum_{i=1}^6 \sum_{z=1}^R \sum_{j=1}^J y_{izj} \cdot F_{izj} \cdot (C_i - C_{iz}) - W_i \rightarrow \max \quad (1)$$

Ограничения

$$\frac{1}{\eta_c} \cdot \sum_{i=1}^6 \sum_{z=1}^R M_{iz}^b \cdot F_{iz} \leq W_b, \quad (2)$$

$$\frac{1}{\eta_c} \cdot \sum_{i=1}^6 \sum_{z=1}^R \sum_{j=1}^J M_{izj}^{nb} \cdot F_{izj} \leq W_{nb}, \quad (3)$$

$$M_{izj}^{nbz} \leq M_{izj}^{nb} \leq M_{izj}^{nbt}, \quad (4)$$

$$M_{iz}^{bm} \leq M_{iz}^b \leq M_{iz}^{bt}. \quad (5)$$

где F_{izj} - площадь участка орошаемого массива с z -ми однородными почвенно-хозяйственными условиями и j -ой степенью засоления почвы в начале невегетационного периода, планируемая под посевы i -ой сельскохозяйственной культуры, га;

y_{izj} - урожайность i -ой сельскохозяйственной культуры на z -ом участке орошаемого массива с j -ой степенью засоления почвы в начале невегетационного периода ($y_{izj} = f(M_{izj}^{nb}, M_{iz}^b)$), ц/га

C_i - цена реализации продукции i -ой сельскохозяйственной культуры, руб/ц;

- C_{iz} – полная себестоимость продукции i -ой сельскохозяйственной культуры на Z -ом участке орошаемого массива (включая затраты на реализацию продукции и водохозяйственно-мелиоративные издержки), руб/ц;
- $Ш_i$ – стоимостная оценка штрафных санкций за недопоставку потребителю (заказчику) по договору установленного количества продукции i -ой культуры, руб;
- G – число культур, возделываемых на орошаемом массиве;
- R – число участков орошаемого массива с однородными почвенно-хозяйственными условиями;
- J – число степеней засоления, по которым дифференцируется площадь орошаемого массива;
- $M_{izj}^{нб}$ – удельная водоподача нетто за невегетационный период на Z -ый участок орошаемого массива с j -ой степенью засоления почв в начале невегетационного периода, планируемый под посевы i -ой культуры, $м^3/га$;
- $M_{iz}^в$ – удельная водоподача нетто за вегетационный период на Z -ый участок орошаемого массива, планируемый под посевы i -ой культуры, $м^3/га$;
- $M_{izj}^{нбз}$ – минимальное значение $M_{izj}^{нб}$, численно равное норме запасного (влажзарядового) полива, $м^3/га$;
- $M_{izj}^{нбт}$ – максимальное значение $M_{izj}^{нб}$, численно равное норме водопотребности, позволяющей обеспечить пополнение влагозапасов в активном слое почвы и технически возможное рассоление этого слоя за невегетационный период, $м^3/га$;
- $M_{iz}^{вт}$ – максимальное значение $M_{iz}^в$, численно равное норме водопотребности, рассчитанной на восполнение дефицита биолого-технологического оптимума суммарного испарения и поддержание незасоленного фона орошаемых земель за вегетационный период при его наличии на начало этого периода, $м^3/га$;

M_{iz}^{8M} - минимальное значение M_{iz}^{δ} (на практике, как правило, не ниже $0,5 M_{iz}^{6T}$), $\text{м}^3/\text{га}$;

η_c - КПД оросительной сети, обслуживающей орошаемый массив;

W_{nb}, W_g - лимитируемый дефицитный объём водозабора в оросительную систему массива, соответственно, за невегетационный и вегетационный периоды, м^3 .

При

$$\sum_{z=1}^R \sum_{j=1}^J y_{izj} \cdot F_{izj} < V_i^0$$

$$Ш_i = (V_i^0 - \sum_{z=1}^R \sum_{j=1}^J y_{izj} \cdot F_{izj}) \cdot q_i, \quad (6)$$

а при

$$\sum_{z=1}^R \sum_{j=1}^J y_{izj} \cdot F_{izj} \geq V_i^0$$

$$Ш_i = 0,$$

где V_i^0 - объём поставки продукции i -ой сельскохозяйственной культуры по договору, ц;

q_i - стоимостная оценка удельных штрафных санкций за недопоставку потребителю (заказчику) по договору i -ой сельскохозяйственной культуры, руб/ц.

Если имеется техническая возможность перераспределения лимитируемого в целом на год объёма водозабора в оросительную систему массива между невегетационным и вегетационным периодами, то экономическую целесообразность этого можно установить, решая задачу оптимального водораспределения посредством замены ограничений (2) и (3) на ограничение

$$\frac{1}{\eta_c} \cdot \sum_{i=1}^G \sum_{z=1}^R \left[\left(\sum_{j=1}^J M_{izj}^{nb} \cdot F_{izj} \right) + M_{iz}^{\delta} \cdot F_{iz} \right] \leq W_r, \quad (7)$$

где W_r - лимитируемый дефицитный объём водозабора в оросительную систему массива за год, м³.

Ограничения на переменные (4) и (5) предполагают определение, с использованием выражений (1) - (7), оптимального варианта распределения имеющейся оросительной воды по всем типовым участкам орошаемого массива.

В год острого дефицита водных ресурсов может возникнуть ситуация, когда экономически выгоднее будет совсем не подавать воду на одни типовые участки массива, а направить её на другие. Для того, чтобы охватить экономико-математическим анализом и такие варианты водораспределения, следует заменить ограничения (4) и (5) соответственно на ограничения

$$0 \leq M_{izj}^{nb} \leq M_{izj}^{nbT}, \quad (8)$$

$$0 \leq M_{iz}^b \leq M_{iz}^{bT}, \quad (9)$$

(обозначения известны).

Для оценки основного показателя целевой функции - урожайности y_{izj} - в зависимости от переменных модели M_{izj}^{nb} и M_{iz}^b удобно использовать формулу, рекомендуемую в работе [14]. С учетом принятых обозначений она примет вид:

$$y_{izj} = y_{iz}^{max} \cdot K_{\theta iz} \cdot K_{z izj}, \quad (10)$$

где y_{iz}^{max} - урожайность i -ой сельскохозяйственной культуры, достигаемая на z -ом участке орошаемого массива при биолого-технологическом оптимуме водного режима почв и при условии, что они не засолены;

$K_{\theta iz}$ - коэффициент, обозначающий относительную урожайность и учитывающий влияние фактора водного режима почв за вегетационный период Φ_{θ} на урожайность i -ой сельскохозяйственной культуры, которую планируется высевать на z -ом уча-

стке орошаемого массива, $0 \leq K_{\beta_{iz}} \leq 1,0$;

$K_{z_{ij}}$ – коэффициент, обозначающий относительную урожайность и учитывающий влияние фактора засоления почв за вегетационный период φ_z на урожайность i -ой сельскохозяйственной культуры, которую планируется высевать на z -ом участке массива с j -ой степенью засоления почв в начале невегетационного периода, $0 \leq K_{z_{ij}} \leq 1,0$.

Формула (I0) проста в употреблении. Для её использования имеется достаточно развитая информационная база, состоящая из: данных налаженного в системе Минводхоза и Минсельхоза республики учета засоления почв и показателей, от которых зависит их водный режим (удельный водозабор, КПД оросительной сети и др.); зависимостей $K_z = f(\varphi_z)$ и $K_\beta = f(\varphi_\beta)$, установленных специализированными научно-исследовательскими и проектными институтами и учитывающих особенности почвенно-мелиоративных, гидрогеологических, гидрохимических и других условий орошаемого земледелия республики, а также возделываемых сельскохозяйственных культур / И5-22 и др./.

При оценке величины y_{iz}^{max} важно обеспечить её соответствие имеющемуся на рассматриваемом орошаемом массиве уровню агротехники, обеспеченности удобрениями и других факторов, регулируемых прочими (помимо мелиорации и водного хозяйства) отраслями сельскохозяйственного производства на орошаемых землях. Представляется, что учесть этот уровень можно, оценивая y_{iz}^{max} из записанного с учетом (I0) выражения

$$y_{iz}^{max} = \frac{y_{iz}^{\varphi}}{K_{\beta_i} \cdot \sum_{j=1}^J K_{z_{ij}}^{\varphi} \cdot \alpha_{zj}^{\varphi}}, \quad (II)$$

где y_{iz}^{φ} – фактическая урожайность i -ой сельскохозяйственной культуры на z -ом участке орошаемого массива (средняя за последние 5 лет), ц/га;
 $K_{\beta_i}^{\varphi}$ – коэффициент, обозначающий относительную урожайность и учитывающий влияние фактора водного режима почвы в вегетационный период на урожайность i -ой сельскохозяйственной культуры при сред-

ней за последние 5 лет водоподаче на Z -ый участок орошаемого массива;

K_{zij}

- коэффициент, обозначающий относительную урожайность и учитывающий фактическое влияние фактора засоления почвы в вегетационный период на урожайность i -ой сельскохозяйственной культуры при j -ой степени засоления;

α_{zj}

- площадь Z -го участка орошаемого массива с j -ой степенью засоления почвы в среднем за последние 5 лет, в долях единицы.

При использовании для оптимизации водораспределения модели (I) - (7) предполагается, что изменение фактора водного режима почв в вегетационный период будет происходить под влиянием изменения только переменной M_{iz}^b . Поэтому для определения коэффициента K_{bij} , входящего в формулу (10), достаточно применять зависимость $K_{bi} = f(M_i^b)$.

Сложнее обстоит дело с процедурой оценки коэффициента K_{bij} , несмотря на наличие установленных зависимостей $K_{bi} = f(\Phi_z)$. В соответствии с (I) - (7) фактор засоления почв в вегетационный период Φ_z поставлен в зависимость от переменных M_{izj}^{nb} и M_{iz}^b .

Обозначим показатели фактора засоления почв за вегетационный период, которые необходимо оценить для определения затем значений K_{bij} , через S_{izj}^{nb} , S_{izj}^{kb} , S_{izj}^{cp} . Здесь K_{izj}^{nb} - показатель фактора засоления почвы на конец невегетационного периода (начало вегетационного) на части Z -го участка орошаемого массива с j -ой степенью засоления почвы в начале невегетационного периода, планируемой под посевы i -ой сельскохозяйственной культуры; S_{izj}^{kb} - то же, на конец вегетационного периода; S_{izj}^{cp} - то же, на середину вегетационного периода. Необходимость оценки таких показателей фактора засоления почв за вегетационный период обусловлена тем обстоятельством, что при решении сформулированной задачи водораспределения возможно использование и установленных зависимостей

$$K_{zi} = f(S^{kb}) \quad \text{и} \quad K_{zi} = f(S^{cp}).$$

Оценка показателей $S_{izj}^{кнб}$, $S_{izj}^{кб}$, S_{izj}^{σ} в зависимости от $M_{izj}^{нб}$ и M_{iz}^{σ} может быть произведена с использованием апробированной модели влаго- и солепереноса посредством включения последней в состав экономико-математической модели оптимального водораспределения. Хорошо зарекомендовали себя модели влаго-, солепереноса, разработанные в "Средазгипрохлопко" / 23 / и ВНИИГим / 24 /. Однако представляется, что такой подход существенно усложнит модель оптимального водораспределения и её применение при принятии решений непосредственно на производстве.

По-видимому, более приемлем следующий методический подход. Для оценки $S_{izj}^{кнб}$ при различных значениях $M_{izj}^{нб}$ расчетным путём (с использованием названных моделей влаго- и солепереноса или методики расчета водно-солевого баланса почв) для заданных почвенно-хозяйственных условий орошаемого массива устанавливаются зависимости

$$S_{izj}^{кнб} = f(M_{izj}^{нб}).$$

Здесь $S_{izj}^{кнб}$ - показатель фактора засоления почвы на конец невегетационного периода (начало вегетационного) на части Z -го участка орошаемого массива с j -ой степенью засоления почвы в начале невегетационного периода;

$M_{izj}^{нб}$ - удельная водоподача нетто за невегетационный период на часть Z -го участка орошаемого массива с j -ой степенью засоления почвы в начале невегетационного периода.

Для оценки $S_{izk}^{кб}$ расчетным путём (с использованием моделей влаго- и солепереноса или методики расчета водно-солевого баланса почв) устанавливаются зависимости $S_{izk}^{кб} = f(M_{iz}^{\sigma})$.

Здесь $S_{izk}^{кб}$ - показатель фактора засоления почвы на конец вегетационного периода на Z -ом участке орошаемого массива, планируемом под посевы i -ой сельскохозяйственной культуры, соответствующий заданной величине M_{iz}^{σ} и k -му уровню засоления почвы на конец невегетационного (начало вегетационного) периода - $S_k^{кнб}$. Здесь $S_k^{кнб}$ - k -ый типовой уровень

фактора засоления почвы на конец невегетационного периода, образовавшийся после водоподачи в невегетационный период. Например, если в качестве фактора засоления принять содержание суммы токсичных солей в корнеобитаемом слое почвы, то достаточно предусмотреть пять таких уровней: $S_{k=1}^{кнб} = 0,1\%$; $S_{k=2}^{кнб} = 0,2\%$; $S_{k=3}^{кнб} = 0,3\%$; $S_{k=4}^{кнб} = 0,4\%$; $S_{k=5}^{кнб} = 0,5\%$.

Алгоритм оценки показателей

1. При заданной величине $M_{izj}^{нб}$ с использованием зависимости $S_{izj}^{кнб} = f(M_{izj}^{нб})$ устанавливается значение $S_{izj}^{кнб}$.

2. Устанавливаются два значения $S_k^{кнб}$, между которыми находится оцененное значение $S_{izj}^{кнб}$. Например,

$$S_{k=2}^{кнб} < S_{izj}^{кнб} \leq S_{k=3}^{кнб}.$$

3. При заданной величине $M_{iz}^б$ с использованием зависимостей $S_{izk=2}^{кб} = f(M_{iz}^б)$ и $S_{izk=3}^{кб} = f(M_{iz}^б)$, полученных, соответственно, для $S_{k=2}^{кнб}$ и $S_{k=3}^{кнб}$, определяются искомые величины $S_{izk=2}^{кб}$ и $S_{izk=3}^{кб}$.

4. Значение $S_{izj}^{кб}$ оценивается из выражения

$$S_{izj}^{кб} = S_{izk=2}^{кб} + (S_{izk=3}^{кб} - S_{izk=2}^{кб}) \frac{S_{izj}^{кнб} - S_{k=2}^{кнб}}{S_{k=3}^{кнб} - S_{k=2}^{кнб}}. \quad (I2)$$

$$5. \quad S_{izj}^{ср} = \frac{S_{izj}^{кб} + S_{izj}^{кнб}}{2} \quad (I3)$$

Имея оцененные в зависимости от заданных $M_{izj}^{нб}$ и $M_{iz}^б$ показатели $S_{izj}^{кб}$ и $S_{izj}^{ср}$, с использованием уравнений $K_{bi} = f(M_i^б)$, $K_{zi} = f(S_{iz}^{кб})$ или $K_{zi} = f(S_{iz}^{ср})$ определяют K_{biz} , K_{zizj} и по (10) — y_{izj} .

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Игельник Л.М., Исмаилов Г.Х. Оптимизация водораспределения в оросительных системах аридной зоны // Водные ресурсы. - 1979. - № 5. - С.36-45.
2. Игельник Л.М., Исмаилов Г.Х. Методика построения производственных функций оросительных систем бассейна реки Сырдарья // Водные ресурсы. - 1979. - № 26. - С.48-56.
3. Исмаилов Г.Х., Велиев Ф.И. Оптимизация распределения водных ресурсов между сельскохозяйственными потребителями с учетом внутривегетационного периода // Изучение и использование водных ресурсов / ЦНИИКИВР. М., 1980. - С.37-42.
4. Пряжинская В.Г. Математическое моделирование в водном хозяйстве - М.: Наука, 1985.
5. Воропаев Г.В., Исмаилов Г.Х., Федоров В.М. Моделирование водохозяйственных систем аридной зоны СССР. - М.: Наука, 1984. - 311 с.
6. Галамин Е.П. Оптимизация оперативного распределения водных ресурсов в орошении. - Л.: Гидрометеиздат, 1961. - 271 с.
7. Галамин Е.П. Оперативное планирование водораспределения в орошении. - Водные ресурсы. - № 5. - 1975. - С.47-63.
8. Марголин А.М. Пути совершенствования методов оценки водообеспеченности орошаемых земель. - Водные ресурсы. - 1991. - № 1. - С.153-161.
9. Райнин В.Е., Панферов Г.А. Оптимальное распределение оросительной воды и минеральных удобрений // Обзор. инф. ВНИИТИ. - М., 1989. - С.37-50.
10. Коваленко П.И., Ковальчук П.И., Сапаров К.Б. Оптимизация внутрихозяйственного водопользования при дефиците водных ресурсов. - Мелиорация и водное хозяйство. - 1991. - № 7. - С.46-48.
11. Бочарин А.В. Установление лимитов водоподачи на ограниченных водных ресурсах // Мелиорация и водное хозяйство. - 1991. - № 5. - С.5-8.
12. Мирзаев Н.Н. Расчетный способ построения связей "урожай - оросительная норма" для оптимизации планов водопользования

ния // Сб.тр./САНИИРИ. - 1979. - Вып.158.

13. Лаукс Д., Стедингер Дж., Хейт Д. Планирование и анализ водохозяйственных систем. - М.: Энергоатомиздат, 1984. - 378 с.

14. Рекомендации по оптимизации мелиоративных режимов орошаемых и осушаемых земель. - М.: Агропромиздат, 1990. - 58 с.

15. Методика расчета оросительных норм сельскохозяйственных культур для хлопковой и нехлопковой зоны бассейна Аральского моря. - Ташкент: Средазгипроводхлопок, 1979. - 28 с.

16. Горбачева Р.И., Костюк В.И. Временные методические указания по прогнозированию водопотребления на орошаемых землях. - Фрунзе: АН Кирг.ССР, 1988. - 62 с.

17. Голубаш Т.Д., Исмаилов Г.Х., Лазарева Е.В. Мелиоративный блок в водохозяйственных моделях аридной зоны // Водные ресурсы. - 1989. - № 5.

18. Нерозин А.Е. Сельскохозяйственные мелиорации. - Ташкент: Укитувчи, 1980.

19. Демченко Е.И., Каплинский М.Н. Влияние мелиоративного состояния орошаемых земель Чуйской долины на водно-солевой режим и урожай // Почвоведение. - 1989. - № 12.

20. Рамазанов А.Р., Якубов Х.И. Промывные и влагозарядковые поливы. - Ташкент: Мехнат, 1988.

21. Бреслер Э., Макнил Б., Картер Д. Солончаки и солонцы. - Ленинград: Гидрометеонадат, 1987. - 296 с.

22. Меришенский М.С., Михайлов В.В. Разработать нормативы прибавки урожайности от различных мелиоративных мероприятий: Отчет о НИР, № гос.рег.01880071613, НПО САНИИРИ - Ташкент, 1990. - 334 с.

23. Горизонтальный дренаж орошаемых земель (Духовный Б.А., Серебренников Ф.В. и др.). - М.: Колос, 1979.

24. Рекс Л.М., Якиревич А.М. Расчет водносолевого режима орошаемых земель. Инструкция к программе WAS TP-I. - М.: ВНИИГим, 1986.

Е.М.Рощенко

К ВОПРОСУ О ВЫБОРЕ ОПТИМАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ
РАСТЕНИЕВОДСТВА В РЕСПУБЛИКЕ
УЗБЕКИСТАН х)

В складывавшихся в Республике Узбекистан экономико-политических условиях вопрос выбора наиболее выгодной структуры посевов сельхозкультур, как на орошаемых, так и на богарных землях, приобретает первостепенное значение. Гибко и мобильно изменяя структуру производства с учетом рыночной ситуации, можно добиться положительного баланса в торговых операциях. Решение этой проблемы неразрывно связано с эффективностью использования ресурсного потенциала республики, главным образом земельно-водного.

В республике на основе благоприятных климатических условий, наличия плодородных земель и трудовых ресурсов получили развитие трудоемкие виды растениеводства с выращиванием теплолюбивых культур, что определило основную специализацию по производству хлопка, овощей и фруктов. Однако такая специализация приняла односторонний характер, при котором монокультурное ведение хозяйства привело к нерациональному использованию земельных и водных ресурсов. Совершенствование структуры посевов позволит увеличить производство продуктов питания за счет маловодоемких культур, а также заложить основу экологически безвредного землепользования на долговременную перспективу.

До настоящего времени существовал ряд экономико-математических моделей, позволяющих определить приоритетное развитие отраслей растениеводства / 1, 2 /. Однако эти модели были созданы в условиях централизованного планирования, когда государство полностью контролировало цены и определяло специализацию АПК. Существующие оптимизационные модели имеют свои достоинства и недостатки, они не были адаптированы к рыночным условиям. Следует отметить, что еще в 1987-1988 гг. в работе

х) Работа выполнена под научным руководством проф. В.А. Духовного.

х)
В.А.Духовного и И.С.Авакян отмечалась необходимость изменения структуры посевов в части уменьшения хлопководства и увеличения производства овса, фруктов и других продовольственных культур, главным образом маловодоемких. В последние 6-7 лет эти предложения частично претворялись в жизнь.

Создаваемая нами с учетом накопленного потенциала знаний по проблеме выбора оптимальной структуры растениеводства в Республике Узбекистан и современных условий экономико-математическая модель призвана решить одну из актуальных задач — обеспечение продуктами питания быстрорастущее население республики.

Для проведения модельных расчетов по оптимизации посевов сельхозкультур в качестве исходных предпосылок использованы положения, сформулированные в / 1, 2 /. Суть их сводится к следующему: водные ресурсы тесно взаимосвязаны с земельными ресурсами и размещаемыми на них сельскохозяйственными культурами. Модель учитывает, кроме технических параметров сельскохозяйственной и водохозяйственной системы (урожайность сельхозкультур, площадь земель, оросительные нормы сельхозкультур и т.д.) и показатели социально-экономического характера (себестоимость и цена сельхозпродукции, численность населения в республике и т.д.).

Кроме того, при проведении расчетов учитываются особенности рыночной экономики (законы спроса и предложения, изменения цен, инфляционные процессы и т.п.) и уровень мировых цен.

В условиях рынка, тем более такого неустановившегося как у нас, достаточно сложно спрогнозировать затраты и цены на сельхозпродукцию. В этой ситуации нам представляется целесообразным ориентироваться на мировые цены, которые более или менее стабильны во времени.

Обезизвестно, что цена на сельхозпродукцию увеличиваются по двум направлениям. Во-первых, они растут за счет инфляции, во-вторых, повышаются по чисто рыночным законам. Открытый выход продукции сельхозпроизводства Узбекистана на международный рынок, бесспорно, накладывает определенные ограничения на механизм реализации продукции через уровень мировых цен. В складывавшихся условиях мировые цены выступают в роли ограни-

х) Отчет САНИИРИ, 1988 г.

чения, выше которого внутренние цены подняться не могут, так как тогда будет невыгодно производить сельхозпродукцию.

Для формализованного представления нашего подхода введем следующие обозначения параметров и переменных экономико-математической модели: V_j – объем производства сельхозпродукции в республике; V_j' – объем сельхозпродукции, покупаемой за валюту; V_j'' – объем сельхозпродукции, покупаемой у других республик; $K_{пр}$, K – переводные коэффициенты, устанавливаемые согласно курсу валют; $V_{эл}$ – потребность в экспорте; $[V_i]$ – потребность в сельхозпродукции в целом по республике; j – число сельхозкультур, рассматриваемых в модели; y_j – урожайность j -ой сельхозкультуры с гектара; z_j – затраты, необходимые для выращивания одной тонны j -ой сельхозкультуры; Orb_j – оросительная норма j -ой сельхозкультуры; F_j – площадь, занятая j -ой сельхозкультурой; c_j – цена j -ой сельхозкультуры в республике; c_j' – валютная цена сельхозкультуры; c_j'' – цена сельхозкультуры за пределами республики.

Решается экономико-математическая задача:

$$\sum_{j \in N} y_j F_j (c_j - z_j) - \sum_{j \in N} V_j' c_j' K - \sum_{j \in N} V_j'' c_j'' \cdot K_{пр} \rightarrow \max \quad (1)$$

$$V_j = y_j \cdot F_j \quad (2)$$

$$\sum_{j \in N} F_j \leq F_{ор} \quad (3)$$

$$\sum_{j \in N} F_j \cdot Orb_j \leq W_{ор} \quad (4)$$

$$V_j + V_j'' + V_j' \geq [V_j] + V_{эл} \quad (5)$$

Функция (1) – общая функция удовлетворения потребностей республики в продуктах питания и другом сельскохозяйственном сырье. При заданных условиях (2)–(5) в части ограничений на водные, земельные, материальные и другие ресурсы необходимо найти также планы развития сельскохозяйственного производства (структуру растениеводческих и животноводческих комплексов на орошаемых и богарных землях), которые обеспечивали бы максимум прибыли

от реализации произведенной сельхозпродукции. При этом рассматриваются варианты реализации не только на внутреннем рынке, но и на внешнем.

При выполнении основного критерия оптимизации, как правило, возникает необходимость изменения структуры посевных площадей, то есть изменение сельхозспециализации. При перемене сельхозспециализации потребуются дополнительные капиталовложения в основное производство. Последнее связано с заменой оборудования, изменением орошаемого поля, сменой сельхозтехники и т.д. В этой связи, необходимо оценить предполагаемый объем капиталовложений при различных вариантах изменения площадей под сельхозкультурами, а также текущих затрат на производство по каждому варианту.

Одновременно возникает задача подбора необходимого состава машинно-тракторного парка при условии, что в наличии уже имеется некоторое число сельскохозяйственной техники тракторов и машин, то есть доукомплектование имеющегося парка при возможном изменении сельхозспециализации (при изменении видов и объема работ). Наиболее обоснованным при складывавшихся начальных условиях нам видится критерий минимума приведенных затрат на производство сельскохозяйственных работ и приобретение техники.

Нам представляется также необходимым создание в модели блока, который позволил бы определить, на основании вышеизложенных критериев и функции цели, оптимальный состав машинно-тракторного парка республики.

Поскольку один из основных вопросов в модели — удовлетворение потребностей населения Узбекистана в продуктах питания, то необходимо установить потребность населения в продукции растениеводства на различных этапах социально-экономического развития республики, основываясь на международных медицинских нормах питания. При этом следует учитывать национальный уклад и демографические особенности внутреннего потребительского рынка.

Мы в своих оценках опираемся на нормы питания, рекомендованные СОЛХ АН Республики Узбекистан. На наш взгляд, эти нормы не могут быть приняты как рациональные, а только как временные, необходимые для поддержания жизненного уровня населения на период стабилизации экономики. Нормы потребления продуктов пита-

нии непрерывно связана с уровнем доходов населения ("потребительской корзиной").

Определение уровня доходов населения позволит более или менее точно определить размеры "потребительской корзины", но уже сейчас очевидно, что в условиях рынка она стала резко дифференцированной для различных слоев населения в зависимости от удельного душевого дохода.

Создаваемая модель учитывает эти наиболее важные аспекты.

Задача оптимального размещения и структуры посевов сельскохозяйственных культур на орошаемых и богарных землях, выраженная формулами (1)-(5), представляет собой задачу линейного программирования, для решения которой обычно используются симплекс-метод и его различные модификации / 3, 4 /. Выбор той или иной модификации определяется особенностями конкретной задачи. Специфика рассматриваемой задачи состоит в том, что для её описания используются матрицы большой размерности, содержащие большое количество нулевых элементов, так называемые разреженные матрицы. Для решения задач такого типа нами используется модифицированный симплекс-метод, который предполагает существование линейно-независимых векторов, являющихся базисом некоторого опорного плана. При определенном числе итераций модель на основе базисных решений достигает оптимального решения.

Создаваемая модель универсальна, сфера её использования достаточно широка, она применима для принятия решения на любом уровне иерархии управления сельхозпроизводством. То есть, в качестве возможных потребителей разрабатываемого программного моделирования могут выступать Минсельхоз Республики Узбекистан, СОПХ АП Республики Узбекистан, областные хокимияты и сельскохозяйственные организации, а также отдельные хозяйства.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Прякинская Б.Г. Математическое моделирование в водном хозяйстве. -М.: Наука, 1985.
2. Исмаилов Г.Х., Ковалева И.Г. Модель оптимизации использования водно-земельных ресурсов речного бассейна с учетом охраны окружающей среды // Водные ресурсы.-1988.-№ 6.
3. Зуховицкий С.Н., Авдеева Л.И. Линейное и выпуклое про-

граммирование.-М.: Наука, 1985.

4. Хеди Э., Кандиер У. Методы линейного программирования.-М.: Колос, 1965.

Т.А.Дермоян

А.Н.Крутов, к.т.н.

УСЛОВИЯ ПРИМЕНИМОСТИ НУЛЬМЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА ВОДЫ

Нульмерные модели нашли широкое применение для расчета концентраций различных веществ в водоемах. Однако вопрос их применимости, в особенности для расчета концентраций неконсервативных примесей, остается открытым.

Если принять гипотезу о полном мгновенном перемешивании примеси в водоеме, т.е. рассматривать процесс распространения примеси в таком временном масштабе, когда флуктуациями концентрации вещества в водоеме по отношению к средней величине можно пренебречь, то при отсутствии стоковых течений перемешивание примеси в водоеме обуславливается, главным образом, ветровыми течениями. Однако мгновенно это перемешивание произойти не может. Существует некоторое время, в течение которого происходит перемешивание. Это время определяется следующим образом. Некий источник консервативной примеси помещается в некоторой точке водоема: время, в течение которого концентрация вещества станет одинаковой по всей площади водоема, с некоторой точностью

Еи будет искомым временем T_{ε} . T_{ε} является тем временным масштабом, в котором можно применять нульмерные уравнения, т.е. среднюю для всего водоема концентрацию вещества можно рассматривать только как среднюю по отрезку времени T_{ε} . Внутри промежутка T_{ε} концентрация может значительно отличаться от средней. Если требуется определить среднюю величину по меньшему промежутку времени, необходимо применить более полные модели.

Сложнее охарактеризовать область применимости нульмерных уравнений для неконсервативных примесей. Пусть коэффициент де-струкции будет K_H . Рассмотрим модельную задачу: имеется пря-молинейный канал длиной L , вдоль которого дует ветер со сле-дующими свойствами. Модуль скорости ветра не изменяется, оба направления равновероятны, а функция распределения продолжи-тельности ветра $t \propto \alpha$ (t - время, α - угол, равный $0; 180$) олиз-ка к нормальному закону. В этом случае то же самое можно ска-зать и о течении в канале.

Распространение примеси при этом / I / описывается урав-нением диффузии / I /

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} D \frac{\partial S}{\partial x} = -K_H S, \quad (I)$$

где x - продольная координата

Определим время полного смешения в таком канале. Пусть в начальный момент концентрация примеси равна нулю, на одной из границ подается примесь с концентрацией $S = 1$, другая - не-проницаема. В этом случае при $K_H = 0$ решение уравнения (I) примет вид:

$$S(x, t) = 1 - \sum_{n=1}^{\infty} C_n \exp \left[- \left(\frac{\pi n}{\ell} \right)^2 D t \right] \cdot \sin \frac{\pi n}{\ell} \cdot x, \quad (2)$$

где $C_n = \frac{2}{\pi n} (1 - \cos \pi n), \quad \ell = 2L$

При достаточно большом t ряд (2) сходится очень быстро, поэ-тому для оценок достаточно проанализировать первый член ряда. Очевидно, что время полного смешения, т.е. время, в течение ко-торого S при всех x отличается от единицы на заданную вели-чину ε , будет

$$\frac{4}{\pi^2} \exp \left[- \left(\frac{\pi}{\ell} \right)^2 D T_{\varepsilon} \right] \leq \varepsilon, \quad (3)$$

отсюда $T_{\varepsilon} = \frac{4L^2}{\pi^2} \ln \frac{4}{\pi \varepsilon} \cdot \frac{1}{D}.$ (3)

Предположим, имеется консервативная примесь. Рассмотрим

установившуюся задачу $\frac{\partial S}{\partial t} = 0$ с теми же краевыми условиями. Решение её запишется в виде

$$S = (e^{Kx} + e^{-Kx}) / (2 \operatorname{ch} KL), \quad (4)$$

где $K = \sqrt{K_H / D}$.

Выразив D через T_ε , из (3) при $x=L$ получим

$$S|_{x=L} = 1 / \operatorname{ch} z, \quad (5)$$

где $z = \sqrt{K_H \cdot T_\varepsilon \cdot \pi^2 / (4 \ln \frac{4}{\pi \varepsilon})}$.

Гипотеза о полном смешении будет верна, если

$$S|_{x=L} > 1 - \varepsilon. \quad (6)$$

С учетом (5) и (6) выражение (4) можно записать в виде

$$\frac{z^2}{2} < \varepsilon. \quad (7)$$

Из (7) с точностью до малых второго порядка получим

$$K_H T_\varepsilon < \frac{2 \cdot \varepsilon}{\pi^2} \cdot 4 \ln \frac{4}{\pi \varepsilon}. \quad (8)$$

Таким образом, мы получили ограничение на коэффициент деструкции, при котором можно использовать нульмерные модели. В случае, если коэффициент деструкции не удовлетворяет (8), нульмерные модели приводят к ошибкам, превышающим допустимые.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Монин А.С., Яглом А.М. – Статистическая гидромеханика. В 2-х кн. – М.: Наука, 1965.

С.Д.Тимошенко
А.Г.Савицкий, к.г.н.

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК
КАЧЕСТВА ВОДЫ И ПРИНЦИПЫ УПРАВЛЕНИЯ ИМИ
(на примере р.Амударья)^{х)}

Интенсификация антропогенной деятельности повсеместно приводит к сходным проблемам, одна из которых – загрязнение водных источников. Так, например, на рубеже 60–70-х годов Соединенные Штаты и Канада столкнулись с проблемой загрязнения Великих озер. Оно шло столь быстрыми темпами, что возникла угроза полной их биологической гибели. Со сходными проблемами, усугубляемыми региональными особенностями, приходится сталкиваться и в Центральной Азии.

Здесь в настоящее время практически нет водных источников, не испытывающих в той или иной мере антропогенных воздействий. В наибольшей степени сказанное относится к такому крупному водному источнику, как р.Амударья.

Амударья имеет ряд специфических особенностей, характерных для рек региона. Так, например, в её бассейне четко выделяются зоны формирования стока и его транзита. В зоне транзита происходит интенсивный разбор воды для различных нужд. Качество воды здесь формируется под значительным влиянием коллекторно-дренажного стока, отводимого с орошаемых территорий. Протекая вблизи урбанизированных территорий, река принимает сточные воды промышленности и коммунально-бытового хозяйства. При этом р.Амударья является главным, а для некоторых территорий – единственным источником воды для орошаемого земледелия, хозяйственно-питьевого водоснабжения, промышленности, рыбозаводства.

Именно по этим причинам бассейн р.Амударьи рассматривается в качестве примера, на котором можно продемонстрировать некоторые особенности управления качеством водных ресурсов сложных

х) Работа выполнена под руководством к.г.н. А.Н.Крутова.

речных бассейнов.

Требования, предъявляемые каждым из водопотребителей и водопользователей бассейна различны, но можно выделить главные, или, во всяком случае, те, что ограничивают использование или вынуждают применять специальные методы очистки. Самый крупный из водопотребителей — орошаемое земледелие, на всем протяжении бассейна, за исключением низовий, может использовать воду практически без ограничений / 1 /. Что же касается централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения, то, согласно / 2 /, вода р.Амударьи, начиная с верховий, по некоторым показателям не соответствует предъявляемым / 3 / требованиям.

Влияние коллекторно-дренажного стока на качество воды р.Амударьи изучено достаточно хорошо / 1 /. Напротив, исследования влияния сточных вод промышленности и коммунально-бытового хозяйства не носят систематического характера.

Именно изменение качественного состава, ограничивающего то или иное применение воды, представляет наибольший интерес. В таблице приведены показатели, чаще других превышающие допустимые нормы для централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения.

Случай превышения ЦДК, %

С т в о р	Показатели				
	минерализация	ХПК	БПК ₅	нефте-продукты	фенолы
Термез	1	32	14	10	66
Керки	25	14	10	0	61
Чарджоу	36	11	28	0	78
Дарганата	66	18	0	0	68
Теснина Тюмюн	36	33	30	6	54
Кипчак	41	18	7	7	61
Нукус	57	54	13	8	55
Кзылдар	61	46	14	19	80

На рис. 1-5 показан ход изменения среднегодовых значений минерализации, ХПК, БПК₅, нефтепродуктов и фенолов по длине реки за 1981-1991 гг.

Изменение минерализации речных вод связано с изъятием стока и отведением в русло коллекторно-дренажных вод. На участке Термез-Керки (рис.1) влияние этих факторов незначительно в силу относительно небольшого объема водоотведения и низкой минерализации стоков. Наибольшее влияние отводимые в русло коллекторно-дренажные воды оказывают на участке Керки-Теснина Тюмююн. На этом участке ежегодно в русло отводится до 5,6 км³ дренажных вод с минерализацией от 2 до 12,0 г/л.

Одним из показателей, комплексно оценивающих состояние воды, является ХПК-химическое потребление кислорода. Этот показатель чаще всего связывают с наличием трудноокисляемых органических соединений. Источниками таких соединений могут быть сточные воды промышленности, коммунально-бытового и сельского хозяйства. Следует отметить, что в некоторых случаях уровень ХПК может быть весьма высоким даже в створах, не испытывающих антропогенных воздействий / 2 /. На рис.2 показано изменение этого показателя по створам р.Амударья. Отсутствие данных на постах Ильчик и Дарганата не позволяет судить об изменениях ХПК на этом участке, тем не менее, картина состояния водотока в пределах территории Республики Узбекистан ясна. От верховьев к среднему течению происходит нарастание, а в водохранилищах Тюмююнского гидроузла оседание и очищение, приводящие к снижению ХПК в створе Кипчак. Сбросы загрязненных вод вновь увеличивают потребление кислорода в створе Нукус, а до створа Кызылджар вновь заметны процессы самоочищения.

Аналогичная картина наблюдается с содержанием легкоокисляемой органики, характеризуемое показателем БПК₅ (рис.3).

Реки Центральной Азии характеризуются высоким содержанием фенолов и Амударья в этом отношении не исключение (рис.4). Уже на границе зоны формирования стока концентрации фенолов превышают предельно-допустимые нормы хозяйственно-питьевого водоснабжения. Среднегодовые концентрации фенолов на участке Термез-Теснина Тюмююн практически одинаковы, но к створу Кипчак относительное увеличение концентраций фенолов составляет 27 %.

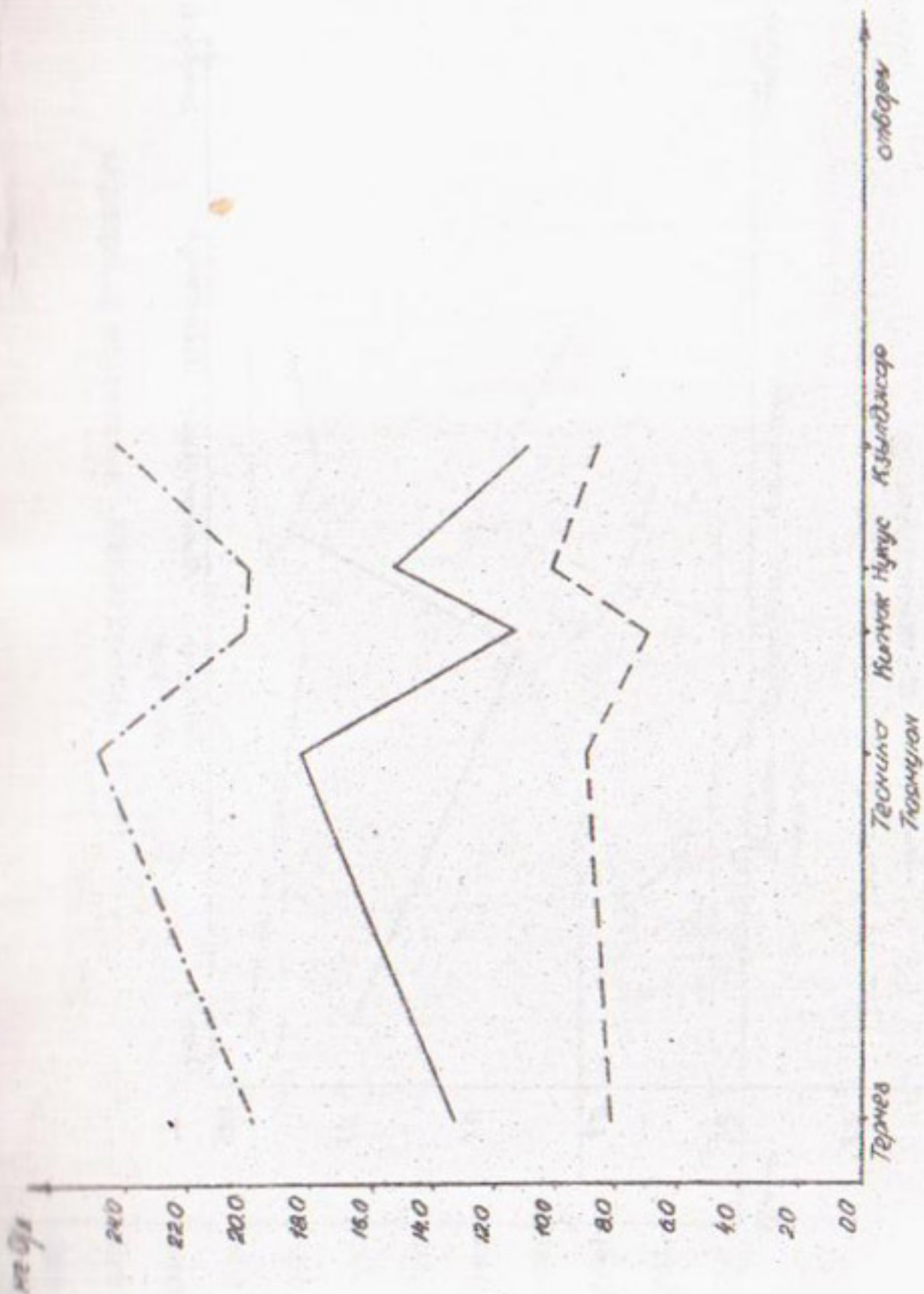


Рис. 2. Изменение ХПК по створам р. Амударья

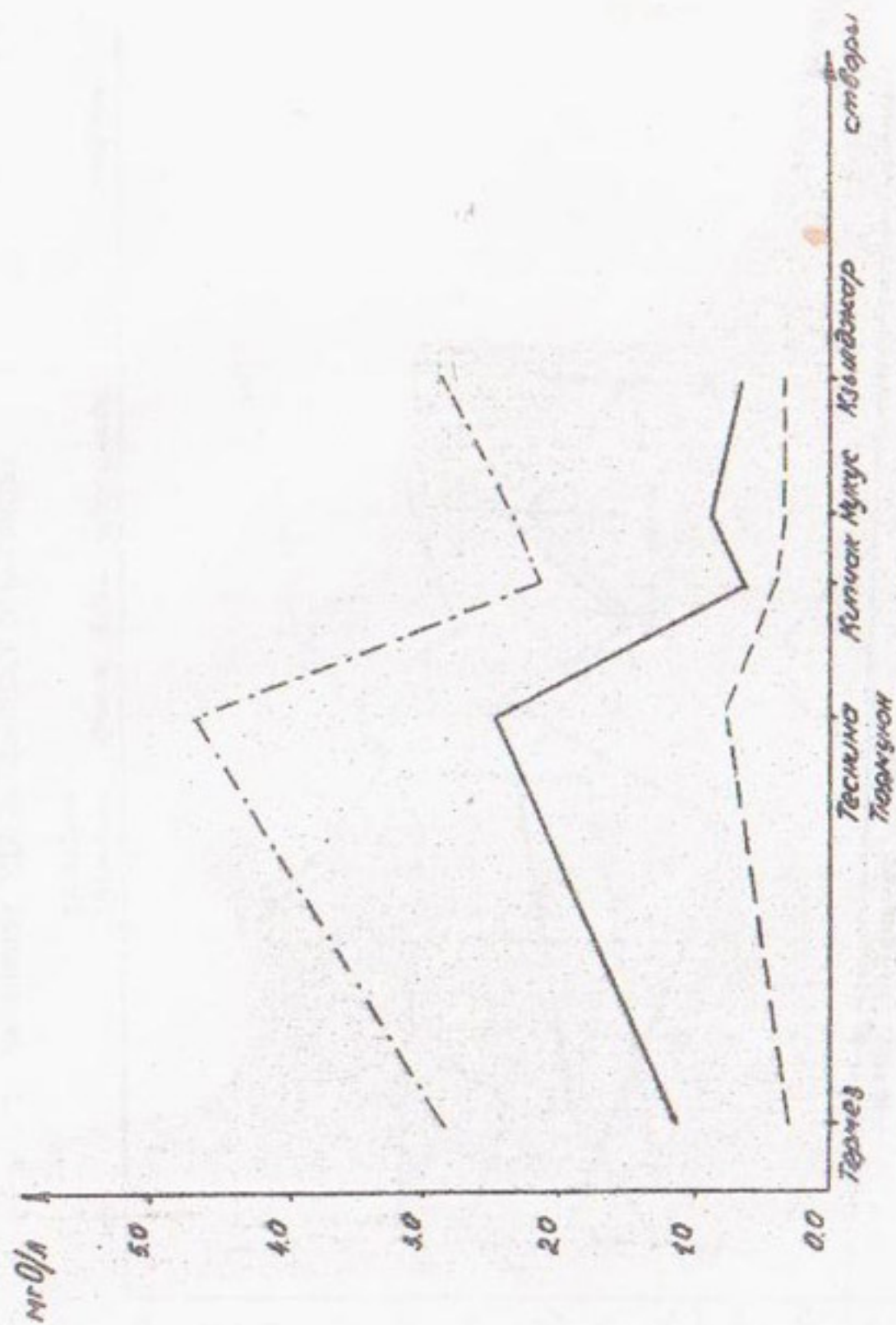


Рис.3. Изменение БПК₅ по створам р.Амур

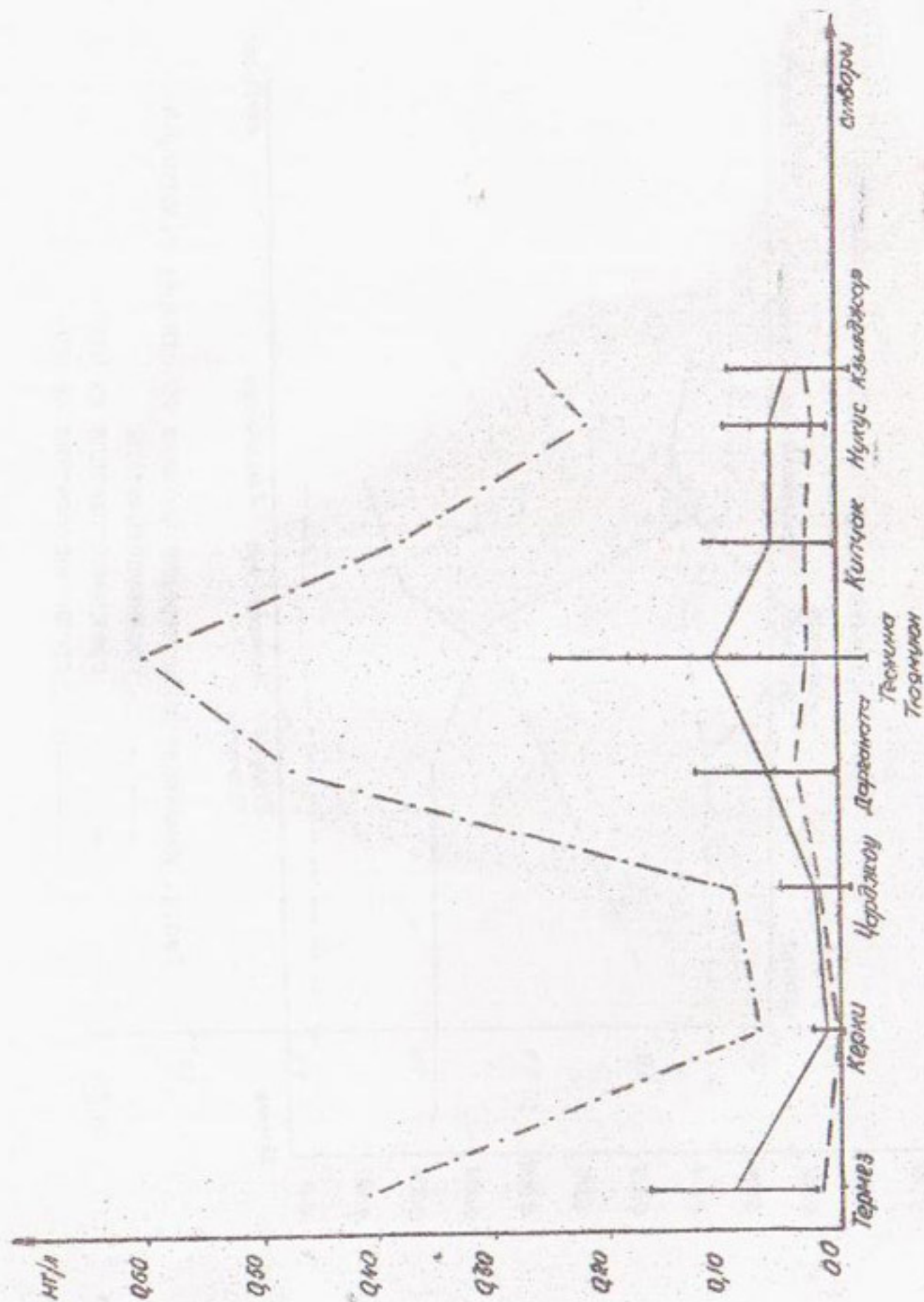


Рис. 5. Изменение концентрации нефтепродуктов по отворам р. Амударья

Анализ имеющейся информации о водоотведении сточных вод в Республике Каракалпакстан не даёт возможности однозначной идентификации источника фенолов. Но с большой долей вероятности можно утверждать, что им является промышленное водоотведение.

Одним из показателей, превышающих ПДК для хозяйственно-питьевого водоснабжения вдоль течения р.Амударьи, является содержание нефтепродуктов. На участке Термез-Керки (рис.5) наблюдается уменьшение их концентраций, а ниже по течению - от Чарджоу до Тесины Тьямури - увеличение. Анализ промышленного водоотведения с территории Республики Узбекистан в части содержания в сбросных водах нефтепродуктов не позволил выявить источник поступления этих загрязнений. Потенциальными источниками могут быть промышленные предприятия левобережья Чарджоуской области Республики Туркменистан, такие, как судоремонтный и нефтеперерабатывающий заводы.

В водохранилищах Тьямуринского гидроузла происходят процессы очищения воды от нефтепродуктов, поэтому содержание их уменьшается, оставаясь, однако, в нижнем течении в многолетнем разрезе стабильно высоким.

Рассмотрим возможные пути решения проблемы регулирования качества воды. Осознание взаимодействия с природной средой в ходе исторического развития человечества пришло лишь как результат осознания невозможности существования в собственных отбросах, как ощущение на собственном опыте последствий деятельности предков и современников, как осознание не беспредельности, а напротив, ограниченности природных ресурсов. Характерным примером в этом отношении может служить сброс загрязняющих веществ в реки. На начальных этапах, из-за наличия механизмов адаптации, антропогенное влияние не ощущалось вовсе. С увеличением объёмов сбросов естественные, природные процессы очищения перестают справляться со всевозрастающим поступлением загрязнений и это, при определенных условиях, может привести к катастрофе, когда водный источник перестает жить естественной жизнью и даже не может быть назван источником, т.е. объектом, служащим удовлетворению определенных потребностей.

С точки зрения сохранения в исходном состоянии природных объектов, какой бы то ни было сброс загрязняющих веществ в вод-

ные источники вообще не допустим. Но, во-первых, часто возникают ситуации, когда это неизбежно, а во-вторых, если подходить достаточно строго к этому условию, то оно просто невыполнимо, хотя бы в силу глобальных явлений переноса загрязняющих веществ. Кроме того, уровень технического развития и экономическая состоятельность стран Центральной Азии пока не позволяют очистить все сточные воды до уровня загрязнения фоновых природных вод.

Таким образом, два принципа, которые могут быть коротко сформулированы как "разбавляй" и "очищай", в настоящее время отдельно применяться не могут. Только на пути их рационального взаимодействия могут быть достигнуты положительные результаты.

Для моделирования управления стоком и качеством воды рек Среднеазиатского региона составлены пакеты программ, адаптированных к бассейнам трех рек: Амударьи, Зерафшана, Сырдарьи. Практика показала, что создание универсального пакета программ, пригодного для любого бассейна, невозможно в связи с уникальностью не только каждого из них, но и их частей. Например, компенсационные потоки воды и соли на участках рек, асинхронность водности гола, подпитывание и др. Поэтому каждый из трех разработанных пакетов строго ориентирован на бассейн реки. Опишем для экономии места, общую структуру пакетов. Прежде всего, это ретроспективная база данных, которая состоит из двух частей:

- хронологически непрерывный поток сведений о расходно-приходных статьях водного баланса;

- срочные наблюдения за качеством воды с указанием даты и места взятия проб.

Первая часть базы данных строго упорядочена и пакет программ обладает режимом проверки информации.

Вторая часть базы данных служит для поиска статистических закономерностей.

Взаимодействие по оригинальной методике частей пакета через систему программ позволяет составить уточненный ретроспективный водно-солевой баланс и построить ретроспективу качественных характеристик стока по участкам. В результате расчета в автоматическом режиме удаётся вскрыть закономерности гидрологических процессов и установить их количественные характеристики. Делается это каждый раз по мере добавления ретроспективной базы

данных. При этом автоматически вычисляются уточненные характеристики процессов по удлинившейся базе данных.

Расчет перспективы протекает на основе прогностических величин ожидаемого стока рек с использованием информации о гидрологических процессах и их количественных характеристиках, найденных по ретроспективе. Моделирование управления осуществляется заданием прогностических величин водозаборов в диалоговом режиме.

Кроме того, в процессе работы удалось найти способ коррекции опытных замеров консервативных характеристик стока реки (объем, минерализация и др.). Оказалось, и математически строго обосновано, что любая случайная, систематическая и даже намеренная ошибка замера на внутреннем створе реки легко обнаруживается, количественно оценивается и может быть исправлена.

Можно обнаружить и оценить неучтенные водозаборы и сбросы, но особую значимость имеет возможность исключительно достоверно корректировать транзитный поток воды и загрязняющих веществ через промежуточный створ реки. В пакеты программы включен режим коррекции входной информации, а в инструкции описана теоретическая основа процесса коррекции. По мере увеличения числа воднобалансовых участков на реке точность коррекции неограниченно возрастает.

Оригинальность данного метода, его возможности и научная новизна делают пакеты программ по управлению стоком и качеством воды инструментом повышенной точности и позволяют использовать их и на других водных объектах при адаптации модельной части.

В качестве положительного примера применения синтетического подхода, технических средств и математического обеспечения рассмотрим управление качеством воды р.Амударьи в 1991-1992 гг.

Объем коллекторно-дренажного стока, поступившего в р.Амударью за рассматриваемые годы, составил 6,0 млрд.м³/год при минерализации от 2,0 до 12,0 г/л. Объем водоотведения промышленности и коммунально-бытового хозяйства за это же время составил 352,7 млн.м³/год.

Анализ водохозяйственной обстановки (прогнозируемый сток потребности питьевого водоснабжения, коммунального хозяйства и

промышленности) позволил предложить перечень эксплуатационных мероприятий, которые в конечном итоге дал положительные результаты.

Суть управления качеством воды заключалась в том, что в период наибольших отборов воды сброс загрязненных сточных вод, в том числе коллекторно-дренажных, сокращался до минимума, а при минимальных отборах осуществлялся залповый сброс. После этого в ствол реки из водохранилищ подавалось специально зарезервированное количество воды, необходимое для его промывки и восстановления требуемого качества. Такой режим работы позволил существенно улучшить качество воды за счет резкого снижения содержания загрязняющих веществ в течение длительного периода времени.

Осуществлению данного режима во многом способствовал несколько необычный гидрограф года, который заставил отказаться от испытанных режимов эксплуатации речной сети и искать новые нетривиальные подходы.

Например, для срезки пиков дождевых паводков были увеличены сверх всякой необходимости водозаборы на каналах, проведена упреждающая сработка водохранилищ Тюямуьнского гидроузла.

В результате произошло даже то, что казалось неосуществимым – рассоление емкостей Копбулак и Султансанжар без всякого ущерба водопользователей.

К недостаткам описанного метода управления можно отнести возможность кратковременного увеличения концентраций загрязняющих веществ выше допустимых пределов. Для предотвращения негативных последствий такого увеличения необходим точный расчет объемов и концентраций загрязняющих веществ, объемов регулирования, режимов сброса, строгий контроль за выполнением рекомендаций по регулированию.

Разработанные математические модели и пакеты прикладных программ позволили решить основные вопросы управления качеством воды наиболее крупных бассейнов рек Центральной Азии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Г. Чембарисов Э.И. Гидрохимия орошаемых территорий/на примере бассейна Аральского моря/. -Ташкент, 1988. -186 с.

2. Характеристика качества воды водотоков и водоёмов УзССР и оценка возможности их использования для хозяйственного водоснабжения: Отчет о НИР/САНИИРИ.-Ташкент, 1991-328 с.

3. Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнения: СанПиН №4630-88.-М., 1988.

И.Ф.Беглов

Р.А.Усманов, к.т.н.

РАСЧЕТ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВСАСЫВАЮЩИХ ТРУБ
ПЕРЕДВИЖНЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ НАСОСНЫХ УСТАНОВОК,
ОБОРУДОВАННЫХ ОСЕВЫМИ НАСОСАМИ

При внедрении передвижных автоматизированных насосных установок на мелиоративных системах наиболее остро стоит проблема пуска насосной установки после её остановки, вызванной отключением электроэнергии или другими причинами. Известны схемы и приемы, обеспечивающие самозалив насоса в процессе его пуска для насосных установок с положительной высотой всасывания / 1 / Эффективным техническим решением является приподнятая всасывающая труба. Технологическая схема этого способа заключается в следующем: после пуска в ход насос начинает срабатывать объем воды, оставшийся в приподнятой всасывающей трубе после остановки насосной установки. В процессе удаления воды во всасывающей трубе возникает разрежение, при этом в полость начинает поступать вода из водозаборной камеры. Важно в этот момент не допустить разрыва между началом поступления воды из источника и завершением полного удаления из всасывающей трубы первоначально имевшейся воды.

В результате исследований / 2, 3, 4, 5 / выявлены основные условия работы, соотношения параметров, разработаны методики расчета и даны рекомендации по проектированию таких труб.

Основной упор в указанных работах делался на использование центробежных насосов как наиболее распространенных и неприхотливых в эксплуатации. Центробежные насосы, как известно, обладают значительными напорами, природные же условия Узбекистана не требуют больших напоров, а следовательно, и затрат, что делает оправданным применение насосов осевых, обладающих большими (по отношению к центробежным) подачами. Проведенные ранее исследования в первую очередь были направлены на сокращение времени самозалива в процессе пуска насосов.

Объем воды, первоначально находящийся в полости приподня-

той всасывающей трубы и рассчитанный по методике / 2, 3 /, как показала практика, в ряде случаев оказывался недостаточным. При выводе соотношений объёмов воды и воздуха, потребных для самозапуска, авторы исходили из закона Бойля-Марриотта. Процесс самозапуска насосной установки протекает сравнительно медленно по отношению к идеальным условиям работы закона. Во время самозапуска во всасывающей трубе вакуума из воды выделяется растворённый в ней воздух, что влечет за собой увеличение его объёма, и, как следствие, нарушение условий запуска. Формула, учитывающая сказанное, имеет вид

$$\frac{W_n}{W_B} = \alpha = \frac{H_A - \frac{V}{900}}{H_A - \frac{V}{900} - h_B} \left(\frac{H_A - \frac{V}{900} - h_{п.ж.}}{H_A - \frac{V}{900} - h_{п.ж.} - h_B - \frac{Q^2}{d^4} 0,083} \right)^{0,71} \quad (I)$$

где W_n - объём воды, содержащийся к моменту пуска в полости приподнятой всасывающей трубы, м³;
 W_B - объём воздуха, содержащийся к моменту пуска в восходящей части всасывающей трубы, м³;
 H_A - атмосферное давление, м;
 V - отметка уровня местности, м;
 $h_{п.ж.}$ - давление водяных паров, м.вод.ст.;
 h_B - расстояние от центра среднего сечения колена трубы до горизонта воды в источнике, м;
 Q - номинальная подача воды насосом, м³/с;
 d - диаметр всасывающей трубы, м.

Давление водяных паров для перекачиваемой воды с температурой 15-35°C можно принять равным 0,33 м.вод.ст. и $\frac{V}{900}$ для условий Узбекистана равным 0,4 м.

Откуда

$$\alpha = \frac{9,93}{9,93 - h_B} \left(\frac{9,6}{9,6 - h_B - 0,083 \frac{Q^2}{d^4}} \right)^{0,71} \quad (2)$$

Возросшая за последнее время стоимость металла выдвинула задачу снижения капитальных затрат при строительстве насосных станций путём уменьшения металлоёмкости конструкций без ухудшения параметров насосной установки. Уменьшение длины горизонтальной части всасывающей трубы, ведущее также к сокращению га-

баритных размеров всей установки в целом, стало возможным за счет увеличения её диаметра по отношению к вертикальной части.

На рис. I приведена конструкция всасывающего трубопровода с приподнятым коленом. Выбор всасывающей трубы такой конструкции объясняется тем, что осевые жестколопастные насосы имеют более низкие кавитационные качества и требуют при запуске открытой задвижки на напорном трубопроводе. Кроме того, конструкция имеет минимальный относительный объем воздуха и может быть получена из всасывающих труб обычной конструкции действующих насосных станций путём устройства в конце горизонтальной части приподнятого колена.

Ранее исходным критерием расчета рабочего объема жидкости во всасывающей трубе, необходимого для самозапуска насоса, выступала допустимая вакууметрическая высота всасывания $H_{\text{вак}}^{\text{доп}}$. Практика эксплуатации выявила ряд неудобных сторон указанного критерия. Прежде всего, как оперировать величиной $H_{\text{вак}}^{\text{доп}}$, данной в паспорте насоса, когда фактическая частота вращения и паспортная отличаются? Законы подобия дают основания проводить расчеты по формуле

$$(H_{\text{вак}}^{\text{доп}})' = H_a - (H_a - H_{\text{вак}}^{\text{доп}}) \cdot \left(\frac{n'}{n}\right)^2, \quad (3)$$

где H_a — приведенное атмосферное давление, м;
 n' — расчетная (новая) частота вращения вала насоса.

Формулой (3) можно пользоваться в случаях сохранения закона подобия скоростных напоров во всасывающем трубопроводе насоса. В общем случае необходимо пользоваться формулой

$$(H_{\text{вак}}^{\text{доп}})' = H_a + \frac{v^2}{2g} - \left(H_a - H_{\text{вак}}^{\text{доп}} + \frac{v^2}{2g}\right) \left(\frac{n'}{n}\right)^2. \quad (4)$$

Более удобным критерием служит величина приведенной высоты всасывания H_s

$$H_s = H_{\text{вс}}^r + \sum h_{\text{вс}}, \quad (5)$$

где $H_{\text{вс}}^r$ — геометрическая высота всасывания, т.е. расстояние между горизонтом воды в источнике и отметкой оси рабочего колеса насоса, м;

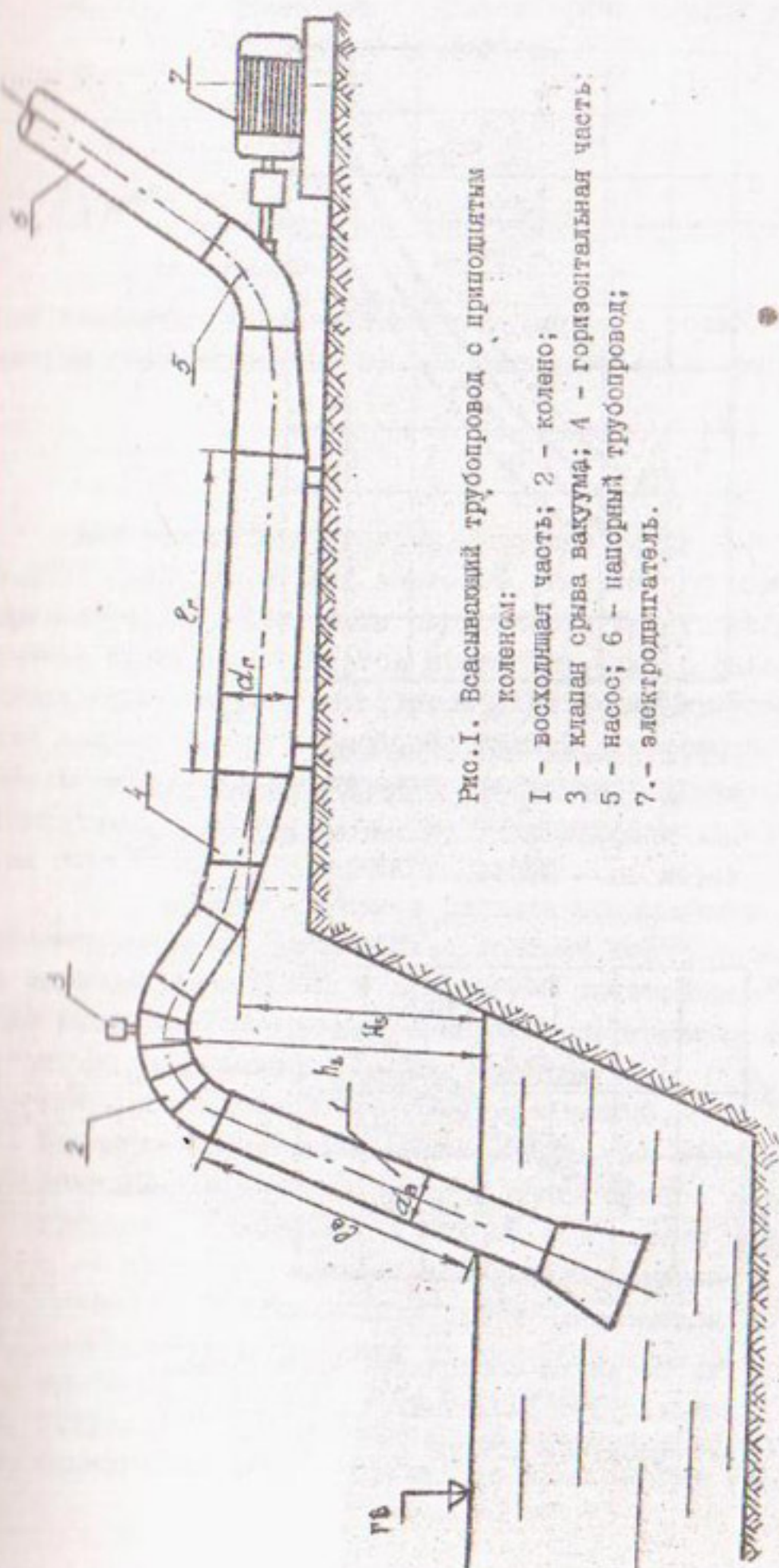


Рис.1. Всасывающий трубопровод с приподнятым коленом:

- 1 - восходящая часть; 2 - колено;
 3 - клапан срыва вакуума; 4 - горизонтальная часть;
 5 - насос; 6 - напорный трубопровод;
 7 - электродвигатель.

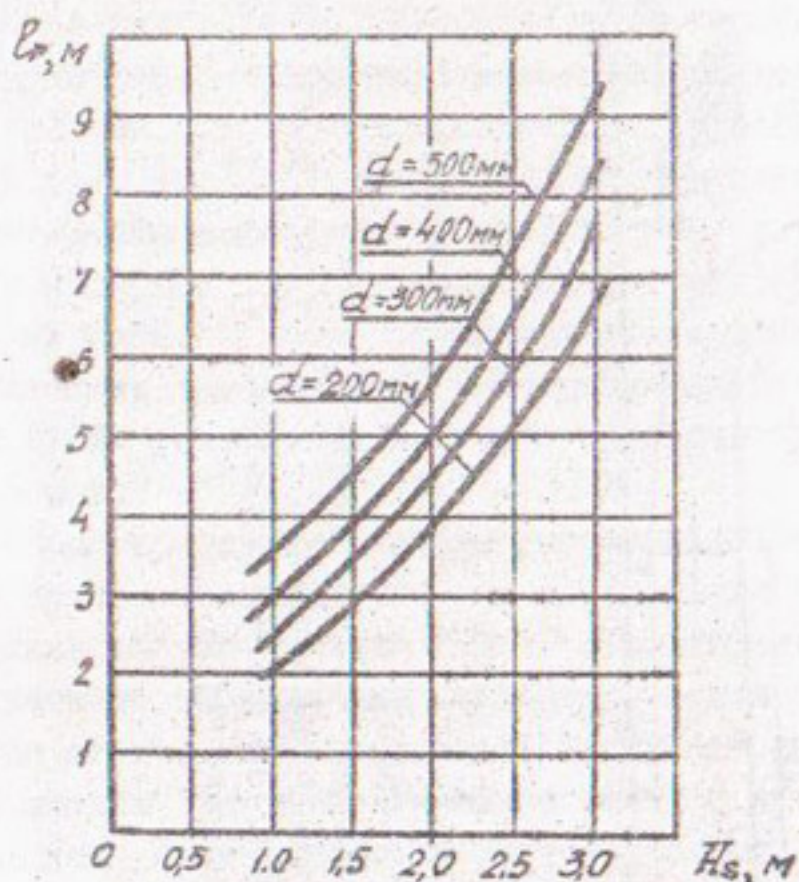


Рис. 2. Длина горизонтальной части всасывающих труб различных диаметров для коэффициента откоса восходящей части $m = 0,364$.

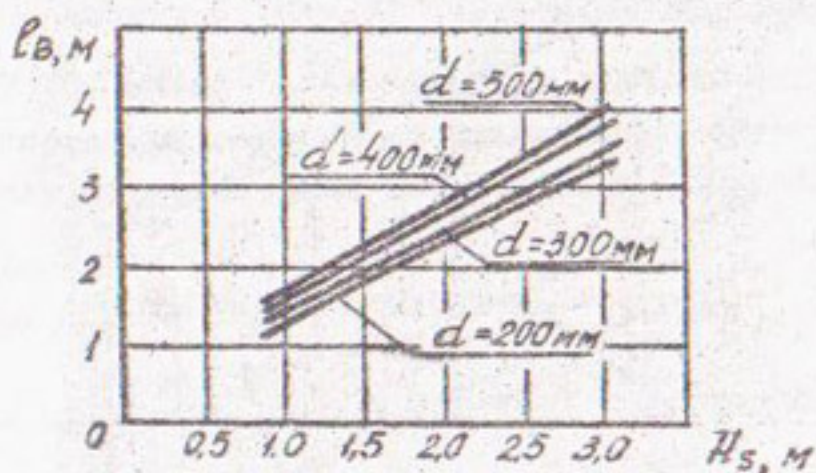


Рис. 3. Длина восходящей части всасывающих труб различных диаметров для коэффициента откоса $m = 0,364$.

$\Sigma h_{вс}$ – суммарные гидравлические потери во всасывающем трубопроводе насоса, м

$$H_s^{доп} = H_a - \Delta h^{доп}, \quad (6)$$

где $\Delta h^{доп}$ – минимально допустимый кавитационный запас насоса, м.

При изменении частоты вращения рабочего колеса насоса расчет величины кавитационного запаса выполняется по формуле

$$(\Delta h^{доп})' = \Delta h^{доп} \left(\frac{n'}{n} \right)^2 \quad (7)$$

Для автоматизированных насосных установок целесообразно расчет рабочего объема жидкости, потребного для самозапуска, проводить для минимально допустимого кавитационного запаса, величина которого снимается соответственно с рабочей (паспортной) характеристики насоса. В этом случае гарантирован автоматический запуск насоса в наиболее худшей допустимой кавитационной обстановке – при максимально допустимой геометрической высоте всасывания и надежный запуск при других режимах с более высоким горизонтом воды в нижнем бьефе.

Предлагаемая методика расчета всасывающих трубопроводов ориентирована на установки с осевыми жестколопастными насосами в подачах до 500 л/с и допустимой высотой всасывания до 3 м. Для расчета геометрических параметров трубопровода на ПЭВМ составлена программа на языке *TURBOPASCAL*. Алгоритм работы этой программы следующий.

1. Вводятся значения исходных данных для расчета минимально допустимого кавитационного запаса насоса для данной частоты вращения; коэффициента откоса восходящей части трубопровода и её диаметра, номинальной подачи насоса.
2. Вычисляется приведенная высота всасывания.
3. Вычисляется расстояние от центра среднего сечения колена трубы до горизонта воды в источнике.
4. Вычисляется длина восходящей части трубопровода.
5. Вычисляется объем воздуха во всасывающей трубе.

6. Вычисляется коэффициент α (см. ф-лу (2)).
7. Вычисляется объем воды, необходимый для самозапуска насосной установки.
8. Вычисляется длина горизонтальной части трубопровода, причем по умолчанию её диаметр выбирается равным диаметру восходящей части; варьированием данного параметра в большую сторону отмечают сокращение длины горизонтальной части и подбирают оптимальное значение в соответствии с имеющимися в наличии сортаментом труб.
9. Результаты всех вычислений выводятся на печать.

При помощи данной программы рассчитаны геометрические параметры всасывающих труб для диаметров 200-500 мм включительно, шагом 25 мм и четырех значений коэффициента откоса. Значение приведенной высоты всасывания при этом изменялось от I до 3 м с шагом 0,5 м. По результатам вычислений составлены графики, представленные на рис. 2, 3.

В ы в о д

Усовершенствована методика расчета геометрических параметров всасывающих труб с приподнятым коленом для автоматизированных установок с осевыми насосами за счет использования в качестве исходных параметров паспортных кавитационных характеристик насоса, коэффициента откоса восходящей части трубопровода, а также за счет дифференциации диаметров и применения ЭЭВМ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Судаков В.П. Способы предпусковых заливок насосов на автоматизированных мелиоративных насосных станциях. Труды ТИИИМСХ/Ташк.ин-т инж.мех.с.-х.-1972.-Вып.52.
2. Судаков В.П. Исследования пуска горизонтальных центробежных насосов с автоматическим заливом на мелиоративных насосных станциях: Автореф.дис...к.т.н.-Ташкент,1973.
3. Переверзев С.К. Упрощенный способ пуска в ход насосных агрегатов ПГ-35М, ПГ-35-2 и ПГ-50 конструкции САНИИРИ. Труды ТИИИМСХ/Ташк.ин-т инж.мех.с.-х.-1957.-Вып.8.
4. Переверзев С.К., Моторин А.М., Судаков В.П., Ступаков

И.В. Исследование упрощенного пуска в ход центробежных насосов. Труды САНИИРИ /Среднеаз.НИИ ирригации.-1959,-Вып.102.

5. Неугодов Г.И. Рекомендации по проектированию и совершенствованию приподнятых всасывающих труб насосных станций подкачки. -М.: Союзводпроект, 1980.

У.Т.Рузиев
И.Бегимов, к.т.н.

ОПТИМИЗАЦИЯ ВНУТРИСТАНЦИОННОГО РЕЖИМА КРУПНЫХ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ

В большинстве случаев насосная станция с системой насосных агрегатов работает в режимах, при которых недоиспользуются значительные возможности, заложенные в агрегатах. Следовательно, возникает необходимость создания таких методов управления, которые позволяют максимально использовать все потенциальные возможности оборудования и создать оптимальную систему управления по заданному критерию.

Рассмотрим насосную станцию, на которой установлено M насосных агрегатов. Подачу насосной станции регулируют:

- а) изменением частоты вращения вала насосного агрегата;
- б) изменением сопротивления сети при помощи дросселирования затвора;
- в) изменением числа и состава включаемых насосных агрегатов;
- г) изменением характеристик насосного агрегата при помощи разворота лопастей рабочего колеса.

Заслуживают внимания последние два варианта регулирования подачи, так как в большинстве случаев крупные насосные агрегаты оснащены синхронными электродвигателями с постоянной частотой вращения, а изменение сопротивления сети путём дросселирования энергетически невыгодно / 1, 2, 3 /.

Регулирование изменением характеристик, числа и состава насосных агрегатов выполняется на основе анализа следующих параметров.

1. Высота подъема (статический напор) — определяется как разность уровней верхнего и нижнего бьефов насосной станции

$$H = H_{ВБ} - H_{НБ}. \quad (1)$$

2. Характеристики потерь напора в трубопроводе — представлены в каталогах-справочниках / 4, 5 / в виде функциональных кривых, зависящих от подачи и высоты подъема

$$\Omega_T^i = \begin{cases} Q_j^i & j = \overline{1, K} \quad (i = \overline{1, N}), \quad N \leq M \\ H_T^j & j = \overline{1, K} \end{cases}, \quad (2)$$

где Q_j^i — аргумент напорной характеристики трубопровода т.е. подача i -го насосного агрегата;
 K — количество точек в напорной характеристике;
 N — количестве работающих насосных агрегатов;
 $H_j^T = H + \Delta H_j$ — функция напорной характеристики;
 ΔH_j — потери напора.

3. Эксплуатационные характеристики насосного агрегата — представлены в виде семейства кривых, зависящих от высоты подъема воды при различных углах разворота лопастей рабочего колеса

$$\Omega_{\varphi}^i = \Omega_{H, Q, \varphi}^i \cup \Omega_{H, \eta, \varphi}^i, \quad i = \overline{1, N}, \quad (3)$$

где

$$\Omega_{H, Q, \varphi}^i = \begin{cases} Q_j^i & i = \overline{1, N} \quad (j = \overline{1, K}) \\ H_i & i = \overline{1, N} \\ \varphi_j & j = \overline{1, K} \end{cases} \quad \left. \vphantom{\begin{cases} Q_j^i \\ H_i \\ \varphi_j \end{cases}} \right\} \text{— расходная характеристика насосного агрегата;}$$

$$\Omega_{H,\eta,\varphi}^i = \left\{ \begin{array}{ll} \eta_j^i & i = \overline{1, N} \quad (j = \overline{1, K}) \\ H_i & i = \overline{1, N} \\ \varphi_j & j = \overline{1, K} \end{array} \right\} \quad \text{— энергетическая характеристика насосного агрегата;}$$

φ_j — угол разворота лопастей, соответствующий j -ой кривой

η_j^i — КПД i -го насосного агрегата для j -ой кривой.

4. Допустимая область D работы насосного агрегата в координатах Q — H определяется следующими внешними границами:

$$\left. \begin{aligned} D_{1\max}^i &= \Omega_T^{i\max} \cap \Omega_{H,Q,\varphi}^i \\ D_{1\min}^i &= \Omega_T^{i\min} \cap \Omega_{H,Q,\varphi}^i \\ D_{2\max}^i &= \Omega_{H,Q,\varphi_{\max}}^i \\ D_{2\min}^i &= \Omega_{H,Q,\varphi_{\min}}^i \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

где $\Omega_T^{i\max}, \Omega_T^{i\min}$ — характеристика трубопровода при максимальной и минимальной геометрической высоте подъёма;

$\varphi_{\max}, \varphi_{\min}$ — максимальный и минимальный углы разворота лопастей насосного агрегата.

Если заданные значения Q и H расположены внутри области D , считается, что требуемый расход воды можно обеспечить этим агрегатом, в противном случае этот режим невозможно реализовать данным агрегатом.

При работе нескольких агрегатов границы допустимой области определяются суммированием расходов в границах областей при постоянной высоте подъёма.

5. Расход, манометрическая высота подъёма и КПД работающего насосного агрегата

$$\Omega_p^i = (\Omega_T^i \cap \Omega_{H,Q,\varphi}^i) \cap \Omega_{H,\eta,\varphi}^i$$

$$\varphi_i = \varphi_i^p, \quad \Omega_{H,Q,\varphi}^i \subset \Omega_{\Sigma}, \quad \Omega_{H,\eta,\varphi}^i \subset \Omega_{\Sigma},$$
(5)

т.е. состояние каждого работающего насосного агрегата, характеризуются тройкой:

$$\Omega_p^i \equiv \{Q_p^i, H_p^i, \eta_p^i\},$$
(6)

где φ_p^i - угол разворота лопастей i -го работающего насосного агрегата.

Следовательно, расход и КПД i -го насосного агрегата определяются из выражений:

$$Q_i = Q_T^i \cap Q_{H,Q,\varphi}^i, \quad Q_T^i \in \Omega_T^i, \quad Q_{H,Q,\varphi}^i \in \Omega_{H,Q,\varphi}^i,$$
(7)

$$\eta_i = Q_i \cap Q_{H,\eta,\varphi}^i, \quad Q_{H,\eta,\varphi}^i \in \Omega_{H,\eta,\varphi}^i.$$
(8)

6. Общий расход и потребляемая мощность для насосной станции в целом определяются как алгебраические суммы расходов и мощностей каждого работающего насосного агрегата / 5 /:

$$Q^{HC} = \sum_{i \in N^p} Q_i,$$
(9)

$$N^{HC} = \sum_{i \in N^p} N_i,$$
(10)

здесь $N_i = \frac{\gamma H_i Q_i}{102 \eta_i}$ - мощность i -го насосного агрегата, кВт;

γ - объёмный вес перекачиваемой жидкости.

Оптимизация управления заключается в определении количества и номеров работающих насосных агрегатов, а также углов разворота их лопастей, обеспечивающих минимум потребляемой насосными станциями мощности для реализации заданного графика водо-

подачи.

Задача оптимизации ставится следующим образом.

Пусть управляемый процесс в области

$$D(\varphi_{\min} < \varphi < \varphi_{\max}, H_{кр}^- < H < H_{кр}^+, M \in N) \quad (I1)$$

характеризуется определением регулирующей тройки

$$U^{HC} = \{N, N^P, \varphi^P\}, N \leq M, \quad (I2)$$

где M - общее количество насосных агрегатов;

N - количество работающих насосных агрегатов;

$N^P = \{n_i^P, i = \overline{1, N}\}$ - множество номеров работающих насосных агрегатов;

$H_{кр}^+, H_{кр}^-$ - критические уровни верхнего и нижнего бьефов насосных станций,

при которой функционал

$$I = \sum_{i \in N^P} N_i \rightarrow \min \quad (I3)$$

и выполняется ограничение

$$\left| \sum_{i \in N^P} Q_i - Q_n \right| \leq \varepsilon, \quad \varepsilon = 0,05 \times Q, \quad (I4)$$

где Q_n - плановый расход насосной станции по графику водоподдачи.

Следовательно, для оптимизации внутростанционного режима работы насосной станции требуется, используя известные характеристики (I-4), определить такую тройку (I2), которая минимизирует функционал (I3) при выполнении ограничения (I4).

Поставленную задачу решаем на основе теории выбора / 6 /:

I. Исходя из количества работающих насосных агрегатов на насосной станции определяем область D_n покрытия заданного по графику водоподдачи расхода как область, границы которой определены критическими уровнями верхнего и нижнего бьефов и угла-

ми разворота лопастей рабочего колеса:

$$\forall N, N \leq M \quad \exists (Q_n \in D : D_n \subset D). \quad (I5)$$

2. Определяем всевозможные составы работающих насосных агрегатов, способные покрывать данный расход:

$$\forall N, \forall N^p \quad \exists (U = \{N, N^p, \varphi^p\} : |Q - Q_n| \leq \varepsilon, Q \in D_n). \quad (I6)$$

3. Делая выборку из множества углов разворота лопастей насосных агрегатов по каждому составу, определяем всевозможные варианты состояний насосной станции:

$$\forall N_j, \forall N_j^p, \forall \varphi_j^p \quad \exists (Q_j^{nc} \in D_{N_j} : |Q_n - Q_j^{nc}| \leq \varepsilon). \quad (I7)$$

4. Вычисляем мощность насосной станции для всех вариантов состава работающих насосных агрегатов и множества углов разворота лопастей:

$$N_j^{nc} = \sum_{i \in N_j^p} N_i^j, \quad (I8)$$

где j - количество вариантов.

5. Выбираем из всех вариантов состава работающих насосных агрегатов и множества углов разворота лопастей тот вариант и то множество углов, при которых мощность насосной станции минимальная:

$$\forall D_{N_j} \subset D \quad \exists (j_* \in j, U_{j_*} = \{N_{j_*}, N_{j_*}^p, \varphi_{j_*}^p\} : N_{j_*} = \min_j N). \quad (I9)$$

На основе изложенного выше алгоритма разработан комплекс программ для ЭВМ IBM-XT/AT, оптимизирующий внутростанционный режим эксплуатации насосной станции.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

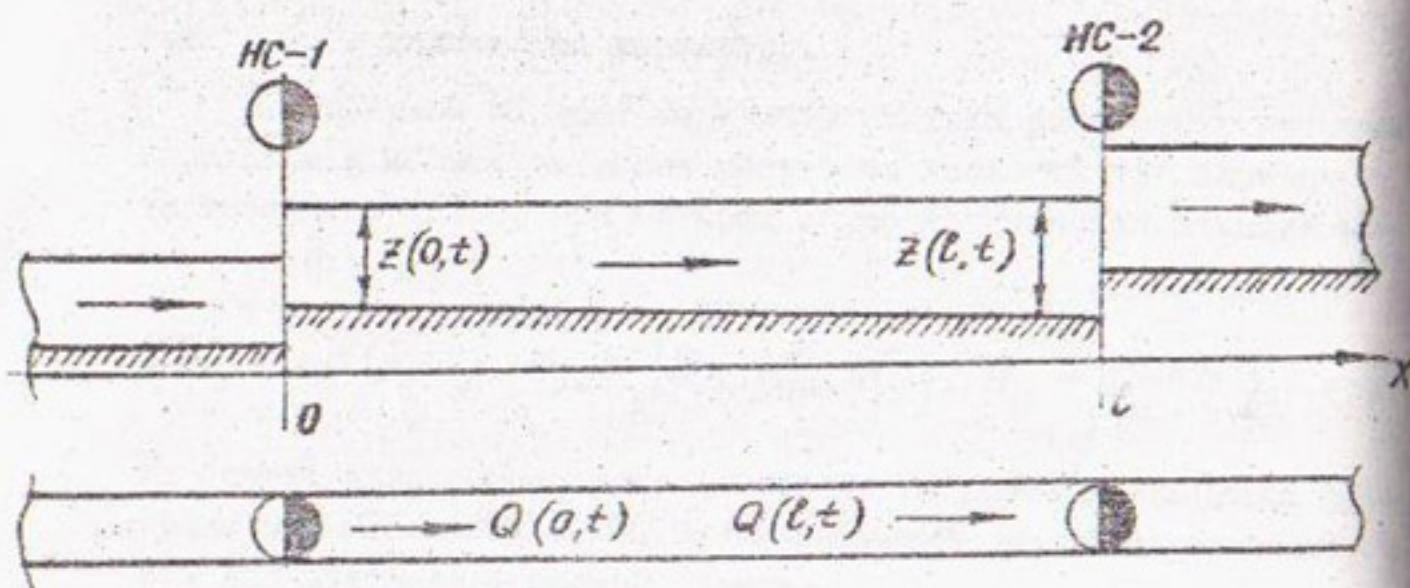
1. Рахимов Ш.Х. Влияние режимов работы синхронных двигателей крупных насосных станций на показатели электрической сети // Изв. АН УзССР. - 1975. - I. - С.89-90.
2. Бегимов И., Ходжаниязов А.Д. Оптимизация внутростанционного режима насосной станции // Управление водохозяйственными системами, регулирование стока и охрана водных ресурсов бассейнов рек Средней Азии. -Ташкент, 1990. - С.10-15.
3. Захаров О.В. Опыт эксплуатации крупных осевых насосов на магистральных каналах//Гидротехническое строительство, 1976, - № 8, -С.41-44.
4. Насосы осевые типа "О", "ОП" и центробежные вертикальные типа "А" - каталог-справочник. -М.: ЦНТИХИМНЕФТЕМАШ, 1970. -30 с.
5. Юселев П.Г. Справочник по гидравлическим расчетам. -М., -Л.: Госэнергоиздат, 1957. -342 с.
6. Макаров И.М. и др. Теория выбора и принятия решений. -М.: Наука, 1982. -328 с.

ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТИПОВЫМ ЭЛЕМЕНТОМ СИСТЕМЫ МАШИННОГО ВОДОПОДЪЕМА

Использование принципов оптимального управления в режимах работ гидротехнических систем позволяет экономить энергетические и водные ресурсы, сохранить силовое оборудование. В связи с этим представляет практический интерес проблема математической реализации схемы оптимального управления системами машинного водоподъема.

Для постановки задачи используем принцип разделения системы машинного водоподъема на ряд типовых элементов, взаимосвязанных между собой (насосная станция, магистральный канал, гидротехническое сооружение и т.д.) / I /.

Рассмотрим математическую постановку задачи оптимального управления типовым элементом "насосная станция-канал-насосная станция", т.е. участком канала, ограниченным по краям двумя насосными станциями (см.рис.).



Участок системы машинного водоподъема

В качестве математической модели участка открытого канала используем систему уравнений Сен-Венана, которую для данного случая удобно записать в следующей форме /3/:

$$\begin{cases} \frac{\partial z}{\partial t} = -\frac{1}{B} \frac{\partial Q}{\partial x} \\ \frac{\partial Q}{\partial t} = -\frac{g\omega i Q^2}{(\omega c)^2} - \frac{g\omega Q|Q|}{K^2} - \frac{2Q}{\omega} \frac{\partial Q}{\partial x} - g\omega \left(1 - \frac{Q^2}{(\omega c)^2}\right) \frac{\partial z}{\partial x}, \\ 0 < t < T, \quad 0 < x < \ell \end{cases} \quad (I)$$

где $z = z(x, t)$, $Q = Q(x, t)$ - соответственно ордината свободной поверхности и расход воды;

$B = B(z)$ - ширина живого сечения по поверхности;

$\omega = \omega(z)$ - площадь живого сечения;

$c = c(z)$ - скорость распространения мелких волн;

$K = K(z)$ - модуль расхода.

Последние четыре величины определяются по морфометрическим параметрам участка канала / 3 /. Начальные условия имеют вид

$$\left. \begin{aligned} Q(x, 0) &= Q_0(x) \\ z(x, 0) &= z_0(x) \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

здесь $Q_0(x)$, $z_0(x)$ - известные функции.

Граничные условия в точках $x_1 = 0$ и $x_2 = \ell$ записываются следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} Q(0, t) &= U_1 \\ Q(\ell, t) &= U_2 \end{aligned} \right\}, \quad (3)$$

где U_1 , U_2 - производительность насосных станций № 1 и 2 соответственно.

Для канала обычно задается план водораспределения в течение некоторого заданного промежутка времени / 0, T /.

Целью управления является сокращение значительных колебаний уровней воды в канале машинного водоподъёма, т.е. оперативная стабилизация неустановившегося режима и сохранение баланса

водоподачи и водопотребления. В рассматриваемом случае задано плановое значение $Z^*(t)$ ординаты свободной поверхности в верхнем створе канала.

Таким образом, на отрезке времени $/ 0, T /$ требуется найти такие управления

$$u_1^- \leq u_1 \leq u_1^+; \quad u_2^- \leq u_2 \leq u_2^+, \quad (4)$$

которые минимизируют линейную комбинацию интегральных отклонений фактического и планового значений ординаты свободной поверхности в верхнем створе участка магистрального канала.

Здесь $u_1^-, u_1^+, u_2^-, u_2^+$ — критические значения управляющих функций.

Критерий оптимальности имеет вид

$$I = \int_0^T (z(t) - z^*)^2 dt \rightarrow \min. \quad (5)$$

Для получения необходимых условий оптимальности задач (I) — (4) используем теорию оптимального управления системами с распределенными параметрами $/ 2, 4 /$.

Пусть известна совокупность подозреваемых на оптимальность программных управлений $u_1(t), u_2(t)$. Анализируем влияние на оптимальность этих программ соответствующих вариаций $\delta u_1, \delta u_2$.

Разлагая (I) в степенной ряд в окрестности оптимальной траектории и пренебрегая членами разложения выше первого порядка малости, получаем уравнение в вариациях:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \delta z}{\partial t} &= \left(\frac{\partial f_1}{\partial z} \right) \delta z + \left(\frac{\partial f_1}{\partial Q'} \right) \frac{\partial \delta Q}{\partial x} \\ \frac{\partial \delta Q}{\partial t} &= \left(\frac{\partial f_2}{\partial z} \right) \delta z + \left(\frac{\partial f_2}{\partial Q} \right) \delta Q + \left(\frac{\partial f_2}{\partial z'} \right) \frac{\partial \delta z}{\partial x} + \left(\frac{\partial f_2}{\partial Q'} \right) \frac{\partial \delta Q}{\partial x} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

где $Q' = \frac{\partial Q}{\partial x} \quad z' = \frac{\partial z}{\partial x}$

$$\frac{\partial f_1}{\partial z} = \frac{B'}{B^2} \frac{\partial Q}{\partial x} \quad \frac{\partial f_1}{\partial Q'} = -\frac{1}{B}$$

$$\frac{\partial f_1}{\partial z} = - \frac{gQ^2(2\omega c' + c\omega')}{(\omega \cdot i)^2} - \frac{gQ|Q|(2\omega K' - K\omega')}{K^3} +$$

$$+ \frac{2Q\omega'}{\omega^2} \frac{\partial Q}{\partial x} - g \left\{ \omega' \left(1 - \frac{Q^2}{\omega c^2} \right) + \frac{2Q^2(\omega c' - c\omega')}{\omega^2 c^3} \right\} \frac{\partial z}{\partial x}$$

$$\frac{\partial f_2}{\partial Q} = \frac{2g \cdot i Q}{\omega c^2} - \frac{2g\omega|Q|}{K^2} - \frac{2}{\omega} \frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{2gQ}{\omega c^2} \frac{\partial z}{\partial x}$$

Здесь $B' = \frac{\partial B}{\partial z}$ $C' = \frac{\partial C}{\partial z}$ $K' = \frac{\partial K}{\partial z}$.

Аналогично для вариации критерия оптимальности получим

$$\delta I = 2 \int_0^T (z(\ell, t) - z^*) \delta z(\ell, t) dt. \quad (7)$$

Введем сопряженные переменные, или множители Лагранжа, с помощью выражений:

$$\int_0^T \int_0^\ell (\lambda_1(x, t) \left\{ \frac{\partial \delta z}{\partial t} - \left(\frac{\partial f_1}{\partial z} \right) \delta z - \left(\frac{\partial f_1}{\partial Q} \right) \frac{\partial \delta Q}{\partial x} \right\}) dx dt \quad (8)$$

$$\int_0^T \int_0^\ell (\lambda_2(x, t) \left\{ \frac{\partial \delta Q}{\partial t} - \left(\frac{\partial f_2}{\partial z} \right) \delta z - \left(\frac{\partial f_2}{\partial Q} \right) \delta Q - \left(\frac{\partial f_2}{\partial z'} \right) \frac{\partial \delta z}{\partial x} - \left(\frac{\partial f_2}{\partial Q'} \right) \frac{\partial \delta Q}{\partial x} \right\}) dx dt \quad (9)$$

Вычитая (8) и (9) из (7), получаем для δI новое значение

$$\delta I = 2 \int_0^T (z(\ell, t) - z^*) \delta z(\ell, t) dt + \int_0^T \int_0^\ell \left\{ \left(\frac{\partial H}{\partial z} \right) \delta z + \left(\frac{\partial H}{\partial Q} \right) \delta Q + \right.$$

$$\left. + \left(\frac{\partial H}{\partial z'} \right) \frac{\partial \delta z}{\partial x} + \left(\frac{\partial H}{\partial Q'} \right) \frac{\partial \delta Q}{\partial x} - \lambda_1 \frac{\partial \delta z}{\partial t} - \lambda_2 \frac{\partial \delta Q}{\partial t} \right\} dx dt \quad (10)$$

где гамильтониан определяется по формуле

$$H = \lambda_1 f_1 + \lambda_2 f_2. \quad (11)$$

Проинтегрируем по частям следующие выражения:

$$\int_0^T \int_0^l \left[\left(\frac{\partial H}{\partial z'} \right) \frac{\partial \delta z}{\partial x} \right] dx dt = \int_0^T \left\{ \left(\frac{\partial H}{\partial z'} \right) \delta z \right|_0^l - \int_0^l \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial H}{\partial z'} \right) \delta z dx \right\} dt \quad (12)$$

$$\int_0^T \int_0^l \left[\left(\frac{\partial H}{\partial Q'} \right) \frac{\partial \delta Q}{\partial x} \right] dx dt = \int_0^T \left\{ \left(\frac{\partial H}{\partial Q'} \right) \delta Q \right|_0^l - \int_0^l \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial H}{\partial Q'} \right) \delta Q dx \right\} dt \quad (13)$$

$$\int_0^T \int_0^l \lambda_1 \frac{\partial \delta z}{\partial t} dx dt = \int_0^l \left\{ \lambda_1 \delta z \right|_0^T - \int_0^T \frac{\partial \lambda_1}{\partial t} \delta z dt \right\} dx \quad (14)$$

$$\int_0^T \int_0^l \lambda_2 \frac{\partial \delta Q}{\partial t} dx dt = \int_0^l \left\{ \lambda_2 \delta Q \right|_0^T - \int_0^T \frac{\partial \lambda_2}{\partial t} \delta Q dt \right\} dx \quad (15)$$

Подставив (12) - (15) в (10), получим

$$\begin{aligned} \delta I = & \int_0^T \int_0^l \left\{ \left[\left(\frac{\partial H}{\partial z} \right) - \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial H}{\partial z'} \right) + \frac{\partial \lambda_1}{\partial t} \right] \delta z + \left[\left(\frac{\partial H}{\partial Q} \right) - \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial H}{\partial Q'} \right) + \frac{\partial \lambda_2}{\partial t} \right] \delta Q \right\} dx dt + \\ & + \int_0^T \left(\frac{\partial H}{\partial z'} \right) \delta z \Big|_0^l dt + \int_0^T \left(\frac{\partial H}{\partial Q'} \right) \delta Q \Big|_0^l dt + 2 \int_0^T (z(l, t) - z^*) \delta z(l, t) dt - \\ & - \int_0^l [\lambda_1(x, T) \delta z(x, T) + \lambda_2(x, T) \delta Q(x, T)] dx = \\ = & \int_0^T \int_0^l \left\{ \left[\left(\frac{\partial H}{\partial z} \right) - \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial H}{\partial z'} \right) + \frac{\partial \lambda_1}{\partial t} \right] \delta z + \left[\left(\frac{\partial H}{\partial Q} \right) - \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial H}{\partial Q'} \right) + \frac{\partial \lambda_2}{\partial t} \right] \delta Q \right\} dx dt + \\ & + \int_0^T \left(\frac{\partial H(l, t)}{\partial z'} \delta z(l, t) - \frac{\partial H(0, t)}{\partial z'} \delta z(0, t) \right) dt + \\ & + \int_0^T \left(\frac{\partial H(l, t)}{\partial Q'} \delta Q(l, t) - \frac{\partial H(0, t)}{\partial Q'} \delta Q(0, t) \right) dt + \\ & + 2 \int_0^T (z(l, t) - z^*) \delta z(l, t) dt - \\ & - \int_0^l [\lambda_1(x, T) \delta z(x, T) + \lambda_2(x, T) \delta Q(x, T)] dx. \end{aligned} \quad (16)$$

Из последнего выражения ясно, что явная зависимость δI от $\delta z(x, t)$, $\delta Q(x, t)$ исчезает, если $\lambda_1(x, t)$, $\lambda_2(x, t)$ удовлетворяет условию

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \lambda_1}{\partial t} &= - \left[\frac{\partial H}{\partial z} - \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial H}{\partial z'} \right) \right] \\ \frac{\partial \lambda_2}{\partial t} &= - \left[\frac{\partial H}{\partial Q} - \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial H}{\partial Q'} \right) \right] \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

так как при этом равны нулю выражения в квадратных скобках для двойного интеграла. Теперь, если в конце процесса сопряженные переменные $\lambda_1(x, T)$ и $\lambda_2(x, T)$ равны нулю, то последний интеграл выражения (16) всегда равен нулю.

Для вариации граничных условий

$$\left. \begin{aligned} \delta Q(0, t) &= \delta u_1 \\ \delta Q(l, t) &= \delta u_2 \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

Подставив (18) в (16), с учетом (17) получим

$$\begin{aligned} \delta I &= 2 \int_0^T (z(l, t) - z^*) \delta z(l, t) dt + \\ &+ \int_0^T \left\{ \frac{\partial H(l, t)}{\partial z'} \delta z(l, t) - \frac{\partial H(0, t)}{\partial z'} \delta z(0, t) \right\} dt + \\ &+ \int_0^T \left\{ \frac{\partial H(l, t)}{\partial Q'} \delta u_2(t) - \frac{\partial H(0, t)}{\partial Q'} \delta u_1(t) \right\} dt \end{aligned} \quad (19)$$

Если переменные удовлетворяют граничным условиям

$$z(l, t) - z^* + \frac{\partial H(l, t)}{\partial z'} = 0 \quad (20)$$

$$\frac{\partial H(0, t)}{\partial z'} = 0, \quad (21)$$

то выражение для вариации δI имеет вид

$$\delta I = \int_0^T \left\{ \frac{\partial H(\ell, t)}{\partial Q'} \delta u_2(t) - \frac{\partial H(0, t)}{\partial Q'} \delta u_1(t) \right\} dt \quad (22)$$

Теперь в (22) влияние вариаций δu_1 и δu_2 на вариацию δI выражено явным образом.

Поскольку предполагалось, что эти вариации произвольны, необходимым условием положительности и оптимальности u_1, u_2 является равенство коэффициентов при этих вариациях нулю.

Таким образом, необходимое условие оптимальности для рассматриваемой задачи оптимального управления водораспределением в типовом элементе каскада "насосная станция-магистральный канал-насосная станция" формулируется следующим образом.

Для того, чтобы управления u_1, u_2 были оптимальными с учетом ограничений (4), необходимо, чтобы $\delta I = 0$, т.е. выполнялись условия:

$$\frac{\partial H(0, t)}{\partial Q'} = 0, \quad (23)$$

$$\frac{\partial H(\ell, t)}{\partial Q'} = 0. \quad (24)$$

При управлении внутри области ограничений соответствующие величины в левых частях равенств (23), (24) должны быть неположительными в случае достижения управления в нижних границах и неотрицательными в случае достижения управления в верхних границах.

Сопряженные переменные $\lambda_1(x, t), \lambda_2(x, t)$ при этом определяются с помощью уравнений (I7) с краевыми условиями (20), (2I), а гамильтониан с помощью выражения (II).

Подставив (II) в (I7), (20), (2I), (23), (24), после несложных алгебраических преобразований получим необходимые условия оптимальности.

Необходимые условия оптимальности при управлениях внутри области ограничений имеют вид

$$\left(\frac{1}{B}\right)\lambda_1 + \left(\frac{2Q}{\omega}\right)\lambda_2 \Big|_{x=0} = 0 \quad (25)$$

$$\left(\frac{1}{B}\right)\lambda_1 + \left(\frac{2Q}{\omega}\right)\lambda_2 \Big|_{x=l} = 0. \quad (26)$$

В случае достижения управлением своих верхних (нижних) границ, соответствующие величины в левых частях выражений (25), (26) должны быть неположительными (неотрицательными). Сопряженные переменные λ_1, λ_2 удовлетворяют следующим дифференциальным уравнениям:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \lambda_1}{\partial t} = & - \left\{ \left(\frac{B'}{B^2} \frac{\partial Q}{\partial x} \right) \lambda_1 + \left[\frac{2Q\omega'}{\omega^2} \frac{\partial Q}{\partial x} - g \frac{iQ^2(2\omega c' + c\omega')}{\omega^2 c^3} - \right. \right. \\ & \left. \left. - g \frac{Q|Q|(2\omega K' - K\omega')}{K^3} \right] \lambda_2 - \left[g\omega \left(1 - \frac{Q^2}{(\omega c)^2} \right) \frac{\partial \lambda_2}{\partial x} \right] \right\} \end{aligned} \quad (27)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \lambda_2}{\partial t} = & - \left\{ \left(\frac{B'}{B^2} \frac{\partial z}{\partial x} \right) \lambda_1 + \left[\frac{2giQ}{\omega c^2} - \frac{2g\omega|Q|}{K^2} + \left(\frac{2g}{\omega} \frac{Q}{c^2} + \frac{2Q\omega}{\omega^2} \right) \frac{\partial z}{\partial x} \right] \lambda_2 + \right. \\ & \left. + \left(\frac{1}{B} \right) \frac{\partial \lambda_1}{\partial x} + \left(\frac{2Q}{\omega} \right) \frac{\partial \lambda_2}{\partial x} \right\} \end{aligned} \quad (28)$$

а граничными условиями

$$z(l, t) - z^* + g\omega \left(1 - \frac{Q^2}{\omega c^2} \right) \lambda_2 \Big|_{x=l} = 0 \quad (29)$$

$$g\omega \left(1 - \frac{Q^2}{\omega c^2} \right) \lambda_2 \Big|_{x=0} = 0 \quad (30)$$

а условиями в конце процесса управления:

$$\lambda_1(x, T) = \lambda_2(x, T) = 0 \quad (31)$$

Наиболее распространенный метод расчета оптимальности управления, использующий необходимые условия оптимальности – метод градиентного поиска. Идея метода для рассматриваемой задачи заключается в том, что если управление $u_1(t)$, $u_2(t)$ не является оптимальным, то приращение управлений выбирается так, чтобы обеспечить движение в направлении, противоположном градиенту вариации функционала.

С учетом (5) – (7) приращение управлений имеет вид

$$\Delta u_1(t) = \varepsilon_1 \left\{ \left[\left(\frac{1}{8} \right) \lambda_1 + \left(\frac{2Q}{\omega} \right) \lambda_2 \right] \right\}_{x=0} \quad (32)$$

$$\Delta u_2(t) = \varepsilon_2 \left\{ \left[\left(\frac{1}{8} \right) \lambda_1 + \left(\frac{2Q}{\omega} \right) \lambda_2 \right] \right\}_{x=l} \quad (33)$$

где $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ – малые постоянные величины.

Алгоритм градиентного поиска состоит из следующих шагов:

1. Задать начальные значения управлений $u_1(t)$, $u_2(t)$;
2. Решив основную задачу (1)–(3), рассчитать значение критерия I (5);
3. Решить сопряженную краевую задачу (27)–(31);
4. Провести приближение управлений методом проекции градиента;
5. Провести локальное улучшение управлений $u_1(t)$, $u_2(t)$, минимизируя выбором $\varepsilon_1, \varepsilon_2$;
6. Проверить условие останова $|I_K - I_{K-1}| \leq \delta_0$, где δ_0 – положительная малая константа;
 K – шаг вычислений;
7. Если условие останова не выполнено, возвратиться в начало схемы алгоритма оптимального управления водораспределением в типовом элементе каскада "насосная станция–магистральный канал–насосная станция".

Программная реализация данного алгоритма выполнена на языке *Turbo – Pascal 6.0* по принципам объектного программирования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абуталиев Ф.Б., Рахимов Ш.Х., Бегимов И. Оптимальное управление системами машинного водоподъема. -Ташкент: Фан, 1999. -152 с.
2. Вутковский А.Г. Теория оптимального управления системами с распределенными параметрами. -М.: Наука, 1965. -270 с.
3. Грушевский Н.С. Неустойчившееся течение воды в реках и каналах. -Л.: Гидрометеопиздат, 1982. -288 с.
4. Рахимов Ш.Х., Бегимов И. Оптимальное управление ирригационными каналами как системами с распределенными параметрами //Изв.АН УзССР. Сер.техн.наук. -1986. -№1. -С.25-29.

Е.Г.Цурикова

А.У.Усманов, к.т.н.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЛЯ СКОРОСТЕЙ ПЕРЕД РАБОЧИМ КОЛЕСОМ НАСОСА ОПВ-260 КМК

Отсутствие равноценных условий подвода воды ко всем насосным агрегатам насосных станций КМК, образование вихревых воронок у входа во всасывающие трубы насосных агрегатов - причиной неустойчивой работы последних / 1 /. Повышенная турбулентность потока во всасывающих участках порождает технологические ограничения по водозабору. По данным САНИИРИ, для КМК в год 95 %-ной обеспеченности величина недоподачи воды составляет 20 %.

Для повышения надежности и устойчивости работы насосных агрегатов нами предложено улучшить структуру потока перед входом в рабочее колесо насосного агрегата.

Для решения этой задачи: исследовано поле скоростей перед рабочим колесом насоса при различных гидравлических режимах на входе во всасывающую трубу насоса; разработаны и испытаны конструктивные элементы в колоне всасывающей трубы насоса, позво-

лящие улучшить поле скоростей перед входом в рабочее колесо насоса.

С этой целью в САНИИРИ была построена экспериментальная крупномасштабная модельная установка ($\lambda = 7,43$), которая имитировала геометрию всасывающих труб насосных агрегатов насосной станции № I ЮМК.

Экспериментальная модельная установка представляет замкнутую систему, включающую вспомогательный насос ДП 60-42, систему трубопроводов диаметром 500 мм, модель всасывающей трубы насосного агрегата, аванкамеру. За коленом всасывающей трубы насосного агрегата установлен прибор-крестовина для определения поля скоростей перед входом в рабочее колесо насоса. Прибор имеет 17 пьезометрических трубок (4 статических и 13 динамических), которые определяют давление в 13 точках сечения, расположенного перед входом в рабочее колесо (что соответствует сечению расположенного ниже на 80 см оси колеса натурн). 12 точек находятся на трех окружностях, радиусы которых выбраны в соответствии со швейцарскими требованиями для определения поля скоростей в трубопроводе, 4 точки на каждой окружности и одна точка посередине сечения (рис. I). Все трубки выведены на стенд с линейками для определения высоты подъема водяного столба. Отверстия трубок располагаются на крестовине, одна перекладина которой лежит вдоль оси симметрии аванкамеры и имеет четные номера точек (2, 4, 6, 7, 8, 10, 12), а другая перекладина располагается поперек оси фрагмента аванкамеры и имеет нечетные номера (1, 3, 5, 7, 9, 11, 13). По разности давлений определялись скорости в 13 точках сечения.

Масштаб модели определялся по рекомендациям В. И. Богдановского, который отмечал резкое искажение величины КПД насоса, связанное с большим уменьшением рабочего колеса модельного насоса. К примеру, если диаметр рабочего колеса модельного насоса меньше 350 мм, то КПД модельного насоса снижается на 15% от КПД натурального насоса, если же оно (модельное колесо) в диаметре имеет 350 мм и более, то величина КПД натурального насоса отличается от КПД модельного насоса на 2%. С учетом сказанного принят минимально возможный размер диаметра рабочего колеса модели — 350 мм и рассчитывались основные размеры эксперимен-

тальной установки. Для этого был подсчитан линейный множитель по формуле

$$\alpha_e^0 = 7,43,$$

где 380 мм — диаметр выходного сечения всасывающей трубы для модельного насоса с рабочим колесом диаметром 350 мм. В соответствии с этим показателем определим значения масштабных множителей по формулам для гидравлических составляющих потока:

для расхода $\alpha_Q^0 = \sqrt{(\alpha_e^0)^5} = \sqrt{(7,43)^5} = 150,48$;

для скорости $\alpha_v^0 = \sqrt{7,43} = 2,73$.

Зная значения гидравлических составляющих потока для природы, можно определить необходимые режимы потока для модельной установки:

расход на модельной установке

$$Q_m = \frac{Q_n}{\alpha_Q^0} = \frac{41 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}}{150,48} = 0,273 \frac{\text{м}^3}{\text{с}};$$

скорость течения во фрагменте аванкамеры на экспериментальной установке

$$V_m = \frac{V_n}{\alpha_v^0} = \frac{0,8 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}}{2,73} = 0,29 \text{ м/с}.$$

Экспериментам предшествовало обобщение ранее проводимых опытов по аванкамерам насосных станций НК / I, 2, 8 /, в результате которого получена схема движения жидкости в аванкамере насосной станции № I НК, которая позволила определить режимы и параметры течений на модельной установке.

Анализ гидравлических течений в аванкамере перед входом во всасывающие трубы насосных агрегатов указывает на неравноценность подвода воды ко всем насосным агрегатам насосной станции, которая выражается в том, что поток призматической части канала, поступая на расширяющийся участок, растекается не пол-

ноотью, а сосредоточенно устремляется к середине аванкамеры, образуя по бокам водовороты, которые приводят к образованию воронок у крайних агрегатов. Эти воронки являются источником высокой турбулентности потока во всасывающих трубах насосных агрегатов, особенно крайних, они прорываются во всасывающие трубы в виде мощных вихрей с вертикальной осью вращения. Этим скоростей в створах аванкамеры при повышенных расходах по-называют, что перед входом во всасывающие трубы насосных агрегатов образуются вихревые зоны с горизонтальной осью вращения. По структуре гидравлического потока перед входом во всасывающие трубы насосных агрегатов имитирован процесс на модельной установке. Для этого были изготовлены перегораживающие устройства (щиты, решетки), которые устанавливались перед входом во всасывающую трубу /3,4,5,6,7/.

На экспериментальной установке проведено 175 серий опытов, каждая из которых состояла из трёх опытов. По каждой серии опытов строились графики распределения скоростей (абсолютных по перекладинам прибора-крестовины, рис. 2). По каждой серии опытов вычерчивались также эпюры относительных скоростей — поля скоростей в сечении перед входом в рабочее колесо насоса (рис. 3).

Для анализа полученных экспериментальных данных необходимо знать, какие требования предъявляются к полю скоростей в сечении на входе в рабочее колесо насоса. Согласно В.И.Богдановскому, основное требование к подводу осевого насоса заключается в том, чтобы при минимально возможных величинах заглубления насоса получить перед рабочим колесом постоянные осевые скорости по всему сечению потока и незначительную окружную скорость, величину которой можно не учитывать в расчете насоса. Неравномерность осевых скоростей приводит к ухудшению КПД и всасывающей способности насоса.

Оценку равномерности можно произвести по следующим критериям равномерности:

1. Градиент скорости: разность между максимальной и минимальной скоростью, деленная на среднюю скорость

$$\frac{V_{max} - V_{min}}{V_{cp}} ;$$

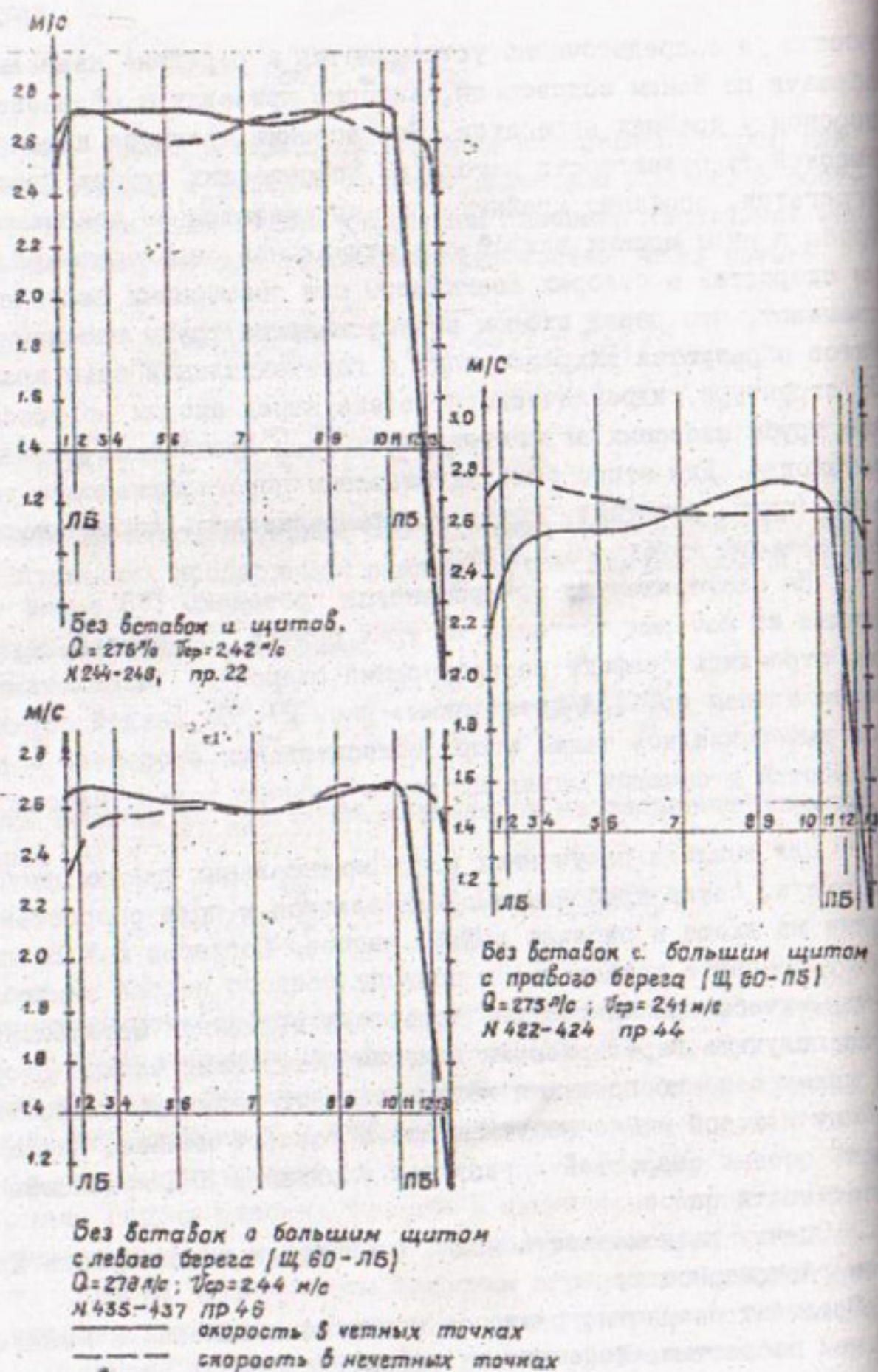
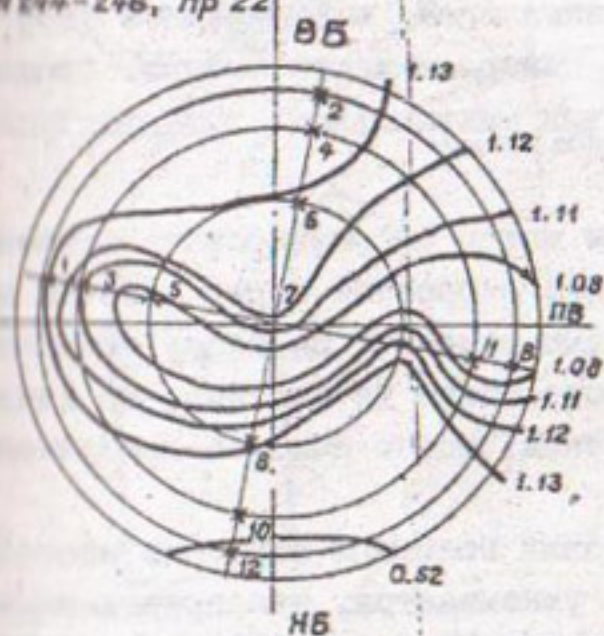
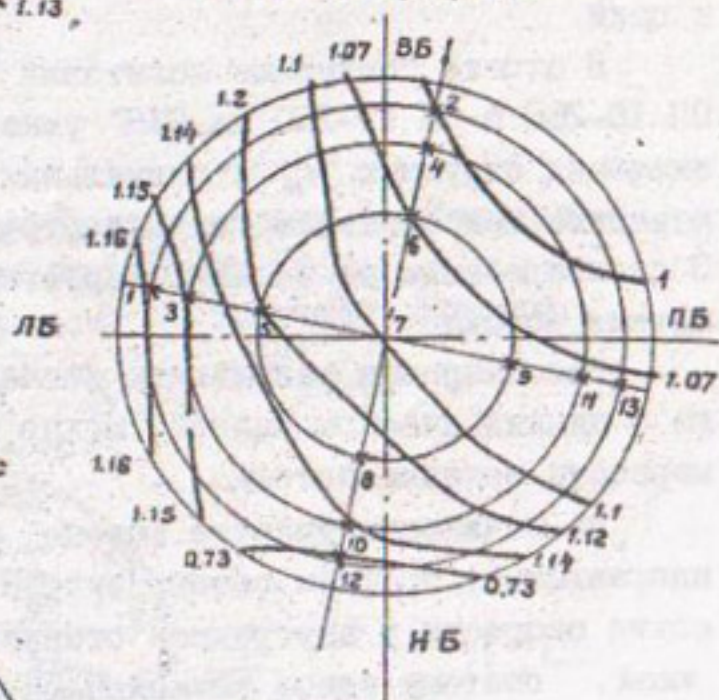


Рис. 2. Распределение абсолютных скоростей по перекладинам

Без щитов и вставок
 $Q = 270 \text{ л/с}$; $V_{\text{ср}} = 242 \text{ м/с}$
 № 244-246, пр 22



Без вставок с большим щитом
 с правого берега
 (Щ-ВВ-ПБ) $Q = 275 \text{ л/с}$; $V_{\text{ср}} = 241 \text{ м/с}$
 № 422-424, пр 44



Без вставок с большим
 щитом с левого берега
 (Щ-ВВ-ЛБ) $Q = 278 \text{ л/с}$; $V_{\text{ср}} = 244 \text{ м/с}$
 № 435-437, пр 46

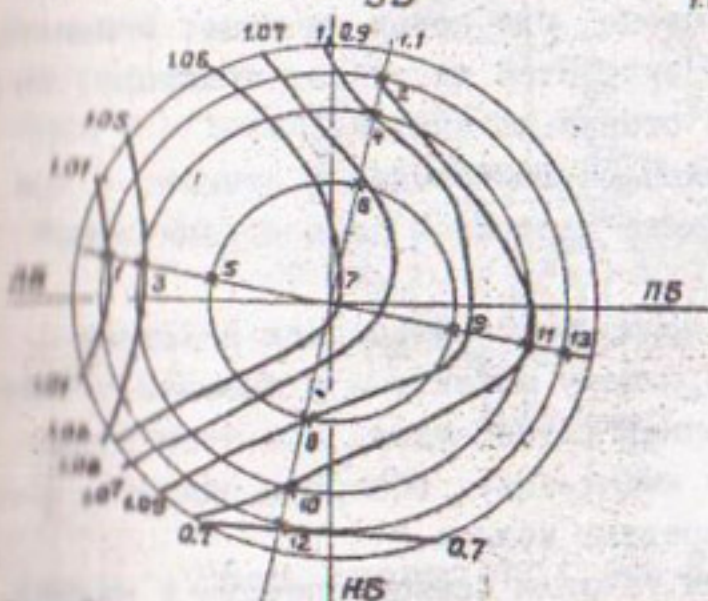


Рис. 3. Эпюры относительных скоростей потока на входе
 на рабочее колесо насоса

2. Площадь, занимаемая средней скоростью, в процентном отношении от всей площади сечения.
3. Эксцентриситет средней, минимальной, максимальной скорости (имеется в виду отклонение центра тяжести фигуры, площадь которой занимает средняя или минимальная, или максимальная скорость от центра сечения).

Обобщив сказанное, мы можем сформулировать основное требование, предъявляемое к полю скоростей перед рабочим колесом насоса – постоянные осевые скорости по всему сечению. Это своего рода эталон, которого можно не достичь, но каждый шаг, сделанный в этом направлении, можно считать приближением к цели.

В отчете "Натурные испытания головных образцов насосов ОП IO-260 и ОП II-260 на ЮМК" указывается, что приведенные значения окружных V_n и радиальных V_r составляющих скорости невелики и в основном определяются формой всасывающей трубы. В распределении же осевых скоростей отмечается осевая асимметрия потока.

Рассматривая результаты исследований равномерного потока в цилиндрическом колене, можно выделить следующие закономерности течения потока:

на начальном участке колена, где поток начинает изменять направление, профиль осевых скоростей имеет вид трапеции; высокие скорости у внутренней стенки колена, а низкие – у наружной, поэтому здесь возможен отрыв потока от стенки, а при небольших скоростях образование застойной зоны ограниченной длины;

при переходе колена в прямолинейный водовод действие центробежных сил ведёт к обратному эффекту – у внешней стенки скорость растёт, а у внутренней уменьшается, при этом отрыв потока от внутренней стенки имеет более обширную область, распространяющуюся далеко за пределы колена.

На рис.4 показана схема течения осевого потока в цилиндрическом изогнутом водоводе, на рис.5 – поле скоростей за крутым поворотом трубы. Как видно из рис., наибольшие скорости смещены к наружной стенке и изолинии равных скоростей имеют сложную форму / 7 /.

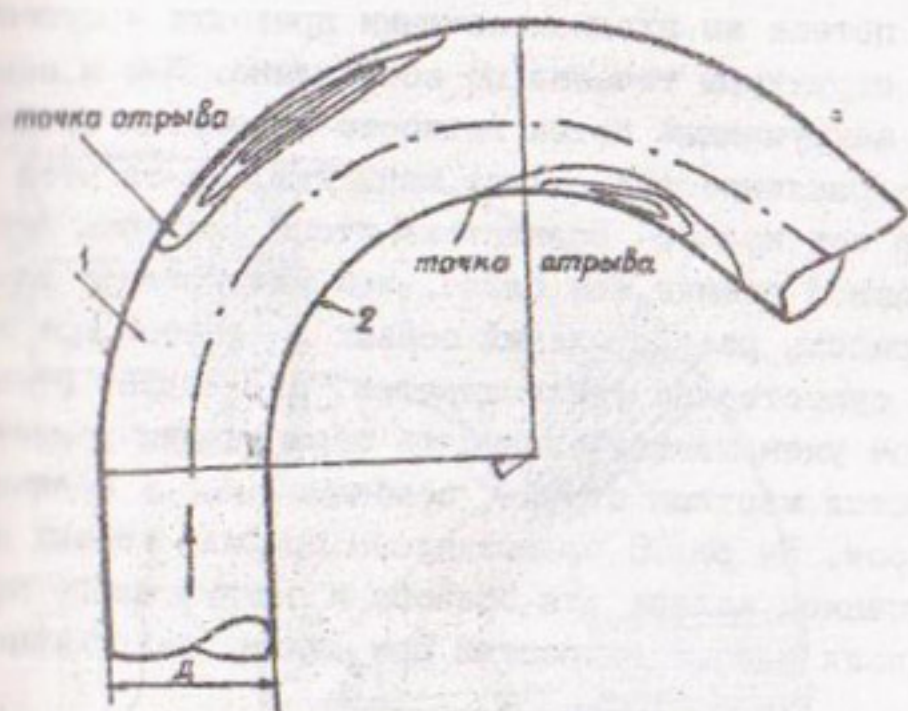


Рис. 4. Схема течения осевого потока жидкости в цилиндрическом водоводе [4]:
1- внешняя стенка; 2- внутренняя стенка

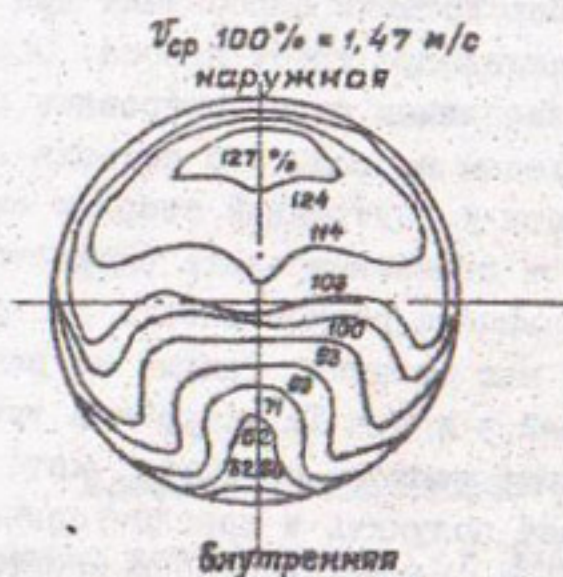


Рис. 5. Поле скоростей за крутым поворотом трубы [7]

Закручивание потока во входном сечении приводит к существенным изменениям структуры течения по всей длине. Как и всякое вращающееся тело, закрученный поток жидкости стремится сохранить неизменным направление оси своего вращения, из-за чего меняет направление оси колена. Вследствие этого вращения поток приближается к внешней стенке тем ближе, чем интенсивнее закрутка. Неравномерность распределения осевых скоростей при закручивании потока существенно увеличивается, но следует отметить, что при этом уменьшается опасность образования развитого отрыва, образуются местные отрывы, особенно, когда колено имеет крутой поворот. На рис.6 представлены профили осевых скоростей в цилиндрическом колене для осевого и закрученного потока, на рис.7 - поля осевых скоростей при сильно закрученном потоке.

После того как были получены данные о распределении скоростей в различных сечениях колена при равномерном и закрученном потоке и проанализированы результаты экспериментов, были изготовлены, установлены и исследованы на модельной установке шесть видов вставок. Все вставки опробованы при возможных ситуациях на входе во всасывающую трубу насоса. Определена наиболее эффективная, позволяющая стабилизировать скорости в сечении перед рабочим колесом насоса. Эта вставка дала возможность увеличить скорости у внутренней стороны сечения (см. рис.1, НБ, или точка I2) и стабилизировать скорости в общем по сечению, т.е. была увеличена равномерность распределения скоростей в интересующем нас сечении. График на рис.8 показывает зависимость скоростей в точке I2 (крайняя точка с внутренней стороны сечения) от расхода и эффект, который даёт вставка. Вставка позволяет получить и дополнительный эффект - увеличение надёжности работы всего насосного агрегата. К недостаткам данного предложения можно отнести потери напора, но они незначительны.

Исследования показали, что возможность оптимизации размера, формы и местоположения предложенной вставки существует.

По результатам исследований определено влияние на эпюру скоростей перед входом в рабочее колесо насоса различных си-

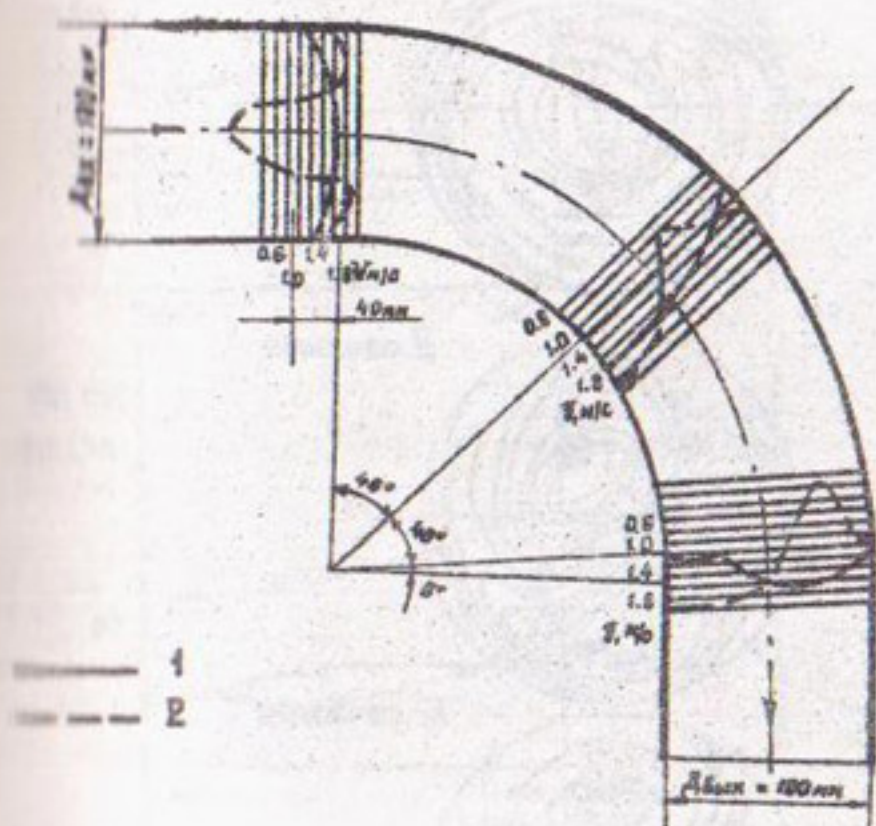


Рис. 6 Профили осевых скоростей V в цилиндрическом колене для осевого (1) и закрученного (2) потоков

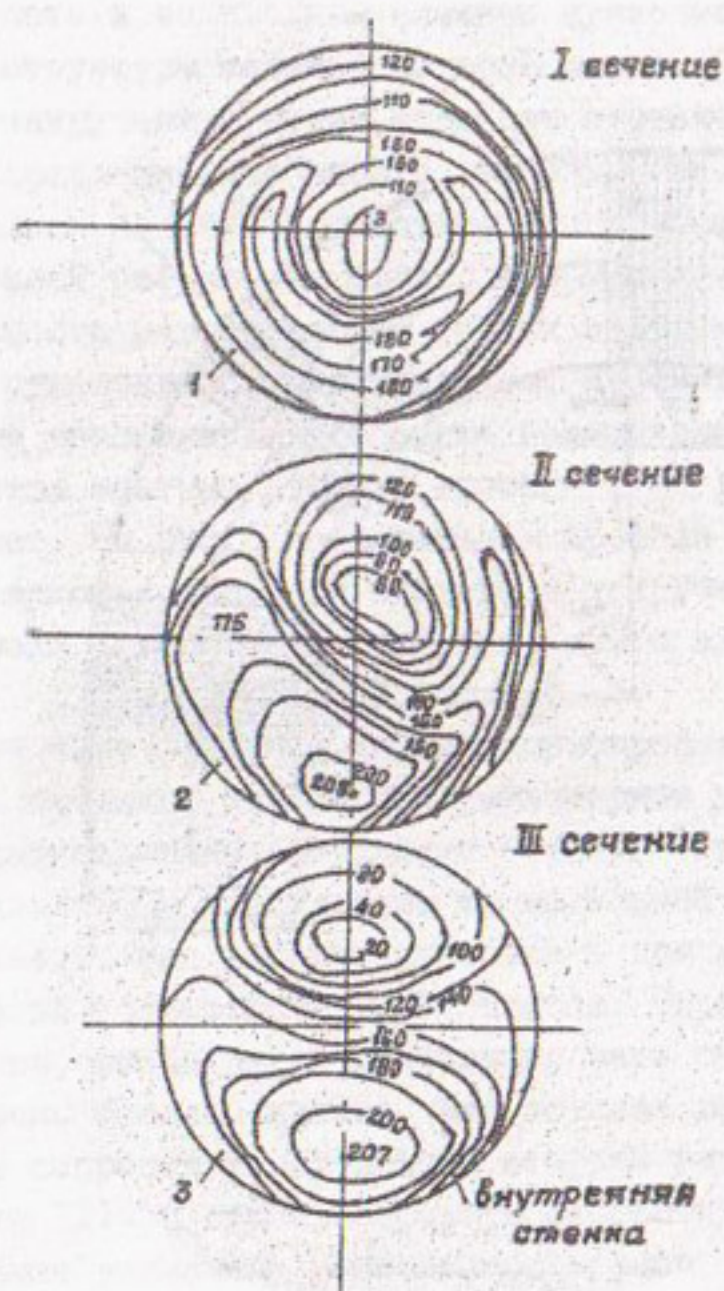


Рис. 7.

Поля осевых скоростей (см/с) в цилиндрическом колене при сильном закручивании потока во входном сечении всасывающей трубы

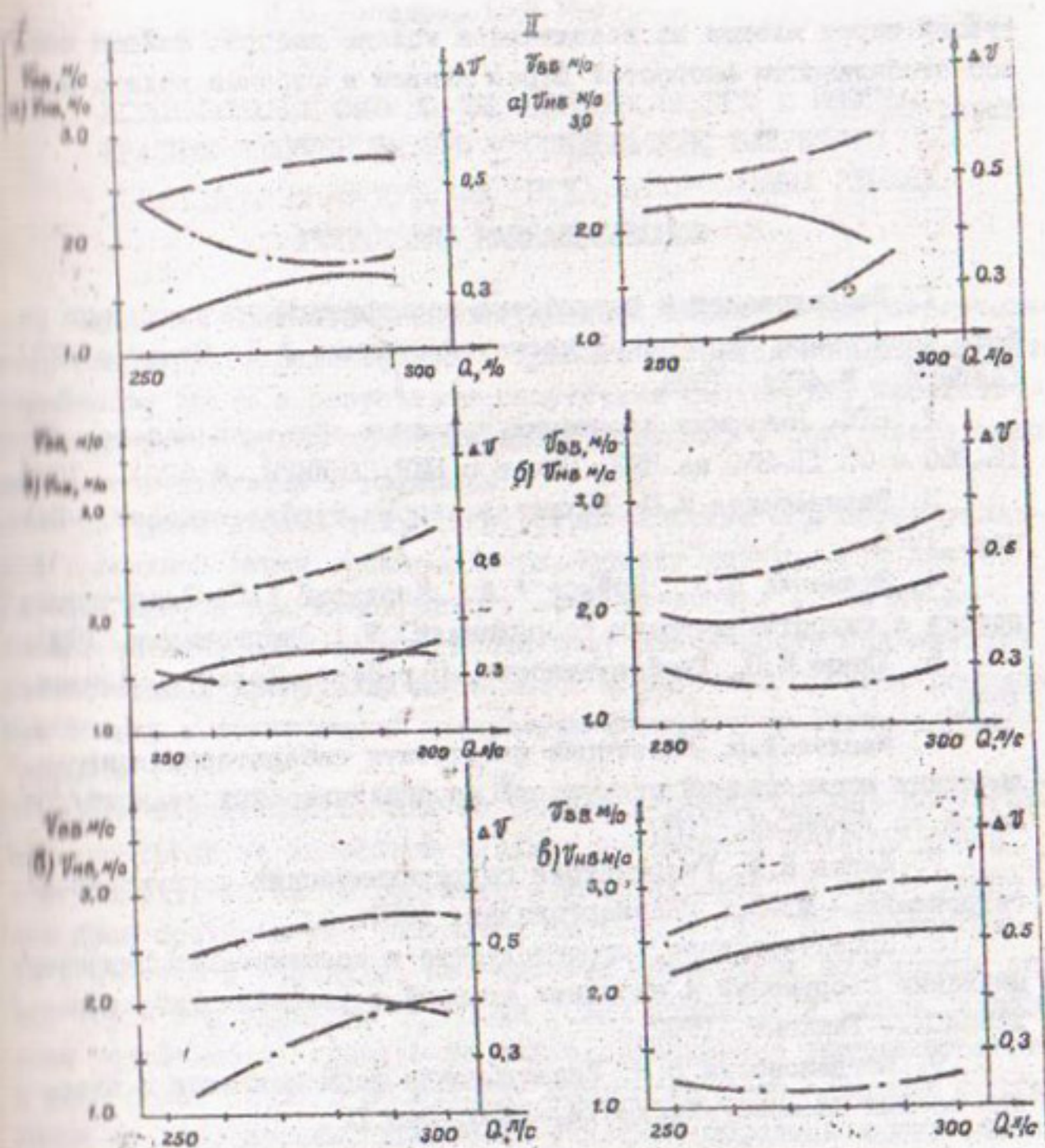


Рис. 8 Графики зависимости абсолютных скоростей в крайних точках со стороны нижнего (т.12) и верхнего (2.2) бьефов от расхода и градиента скорости $\Delta V = \frac{V_{\text{max}} - V_{\text{min}}}{V_{\text{cp}}}$

I- без вставок; II- со вставкой; а) без щитов; б) со щитом справа; в) со щитом слева;

— V_{top} ; — — V_{bottom} ; — · — ΔV .

туаций перед входом во всасывающее колено насоса; найден способ стабилизации скоростей перед входом в рабочее колесо насоса.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Исследования и разработка мероприятий по улучшению работы аванкамеры Каршинской насосной станции № I: Отчет о НИР/САНИИРИ.- № 4224.-1975.
2. НТО, Натурные испытания головных образцов насосов ОП IO-260 и ОП II-260 на КМК: Отчет о НИР/САНИИРИ.-№ 4224.- 1975.
3. Залишаускас М.П. Вихревая теория турбулентности. -Вильнюс, 1966.
4. Волшаник В.В., Зуйков А.А., Мордасов А.П. Закрученные потоки в гидротехнических сооружениях. М.: Энергоиздат, 1990.
5. Хинце И.О. Турбулентность.-Нью-Йорк, Торонто, Лондон, 1959.
6. Маслов А.Б. Некоторые результаты лабораторных гидравлических исследований сооружений крупных насосных станций//Сб. научн.тр./ВНИИГим.-1987.
7. Шапов Н.М. Гидрометрия гидротехнических сооружений и гидромашин.- М.-Л.: Госэнергоиздат, 1957.
8. Проектирование, строительство и эксплуатация гидротехнических сооружений и насосных станций в условиях Узбекистана/ТИИМСХ.- Ташкент, 1992.
9. Богдановский В.И. Исследование форм подводов и отводов осевых насосов//Тр./ВИТМ.-1958.-Вып.12.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ С ИНФРА-КРАСНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЗАКРЫТОГО ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ДРЕНАЖА (ЗГД) НА ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЛЯХ

Одним из наиболее распространенных дефектов при строительстве закрытого горизонтального дренажа является невыдержанность линейности дрена в результате отсутствия систем для высокоточной планировки трасс дрена под дренаукладчик, в результате чего появляются переломы в уклонах.

По существующей технологии строительства ЗГД перед укладкой дренажной линии производят планировку поверхности земли. Глубина срезки при планировке трассы достигает 1,5 м из-за сложности микрорельефа местности и ограниченности большинства отечественных дренаукладчиков высотой рабочего органа. Полученную выемку в технической литературе называют профилированным "корытом".

При строительстве ЗГД по разным технологиям без достаточного контроля за качеством укладки отклонения отметок дрена достигают 11-12 см. В результате дополнительного сопротивления дрена приток к ним снижается на 15-60% /1/. По наблюдениям В.М.Зубца и В.С.Куля, на глубоких торфяниках вследствие осадки торфа под влиянием осушения резко изменяется уклон, нарушается устойчивость дрена; в местах с содержанием закисного железа в воде более 10 мг/л происходит закупорка дрена окисными соединениями железа, причем, именно на участках обратных и незначительных уклонов дренажных линий /2/.

Следовательно, необходимо увеличить требования к точности соблюдения геометрических параметров сооружений. Существующая до настоящего времени технология производства земляных работ при строительстве ЗГД не позволяет обеспечить качество в соответствии с требованиями СНиП /3/, согласно которым отклонения фактических отметок дна "корыта" от проектных должны составлять 10% от диаметра укладываемых труб. Американские коллеги, например, ужесточили предел отклонений до 0,5 на 100 м /4/, тогда как в наших бригадах отклонения до ± 5 см являются основанием для подписания акта о приеме работ.

Обеспечить качественное строительство очень трудно из-за большого объёма ручного геодезического контроля. Необходимо отметить, что для высокоточного контроля и управления в различных областях строительства широко используются, как в странах СНГ, так и за рубежом, лазерные системы. Однако эти системы довольно громоздки, дорогостоящи, экологически небезопасны, кроме того, имеют небольшой срок действия. Возникает необходимость в поисках альтернативных методов управления землеройно-транспортной техникой на базе доступных и экологически чистых приборов. Этим требованиям отвечает оптико-электронная система ПУЛ-Н-І на основе инфракрасного излучения, выпускаемая заводом "ТАЛЛЭКС" / 5 /.

Исследуемая система ПУЛ-Н-І с инфракрасным спектром излучения выпускается серийно. Гостирована в условиях повышенной влажности (свыше 50 %), минимальной запыленности воздуха, частых туманов и дождей. Аридная же зона характеризуется условиями распространения инфракрасного излучения, противоположными описанным. К тому же опыта использования этих систем в отечественной практике не имеется. Поэтому необходимо исследовать и определить её реальные возможности для использования в условиях Средней Азии. В данной статье рассматриваются технические характеристики системы в производственных условиях. Задача исследования закономерностей распространения оптических волн, в частности инфракрасного спектра в приземном слое атмосферы, и факторов, влияющих на прохождение этих лучей, здесь не решается.

ПУЛ-Н-І - прибор управления лучом - приобретен НПО САНИИРФИ в 1990 г. для использования при строительстве "корыт" закрытого горизонтального дренажа под дренаукладчик ДБ-252. С помощью прибора в совхозе І-а им.Г.Гуляма Сырдарьинской области на участках У-ІІ, У-У-49 построено 15 дрен длиной 480-500 м каждая.

Система ПУЛ-Н-І состоит из передающей и приёмной частей. Передающая - из аккумулятора, теодолита с закрепленными на его зрительной трубе прожектором и механизмом отсчета (ось зрительной трубы теодолита параллельна оси прожектора). Приёмная часть - из фотоприёмника, блока обработки сигнала и

необходимого кабеля. Вес всего комплекта (около 11 кг) даёт возможность обслуживать и эксплуатировать её одному человеку. Прибор безопасен в эксплуатации и экологически чист. Проектор излучателя выдаёт конусообразный ИК-луч, состоящий из двух разномодулированных половин с переходом между ними (равносигнальная зона или зона нечувствительности). При нахождении центра фотоприёмника на равносигнальной плоскости на него попадает равное количество энергии обеих частот и блок обработки сигнала команды не выдаёт. Когда приёмник перемещается относительно равносигнальной зоны, равенство нарушается и выдаётся соответствующая команда на подъём и опускание ковша скрепера.

Основные технические характеристики системы проверялись при обычных метеорологических условиях в отсутствие туманов и сильной запыленности воздуха, при температурах от + 25 до + 35 °С и различных уровнях внешней освещённости. В ходе исследований получены следующие результаты:

работоспособность системы сохраняется в широких пределах питающих напряжений, вплоть до 3,5 В (по паспорту 6 В);

максимальная погрешность заданного уклона составляет 0,2 тыс. долей, что удовлетворяет требованиям строительства закрытого горизонтального дренажа;

большой угол раскрытия пучка луча (2°) и величина угла поля зрения фотоприёмника (7°) практически исключают возможность потери управления в процессе работ на линейно протяжённых трассах;

достаточно узкая зона нечувствительности, равная 18 мм, на расстояниях 50, 100, 500 м обеспечивает планировку дна "корыта" соответственно требованиям СНиП на их строительство, исключает обратные уклоны и сводит к минимуму длину участков с одинаковыми отметками.

Полученные результаты исследований приняты за основу при разработке новой технологии строительства ЗГД с использованием ПУЛ-Н-1. Данная технология позволяет значительно сократить объём трудозатрат (до 40%) за счёт уменьшения работ на разбивку трассы дрена (рисунок). Отпадает необходимость в детальной рекогносцировке теодолитных ходов и техническом нивелировании трассы дрена. Достаточно определить высотное положение

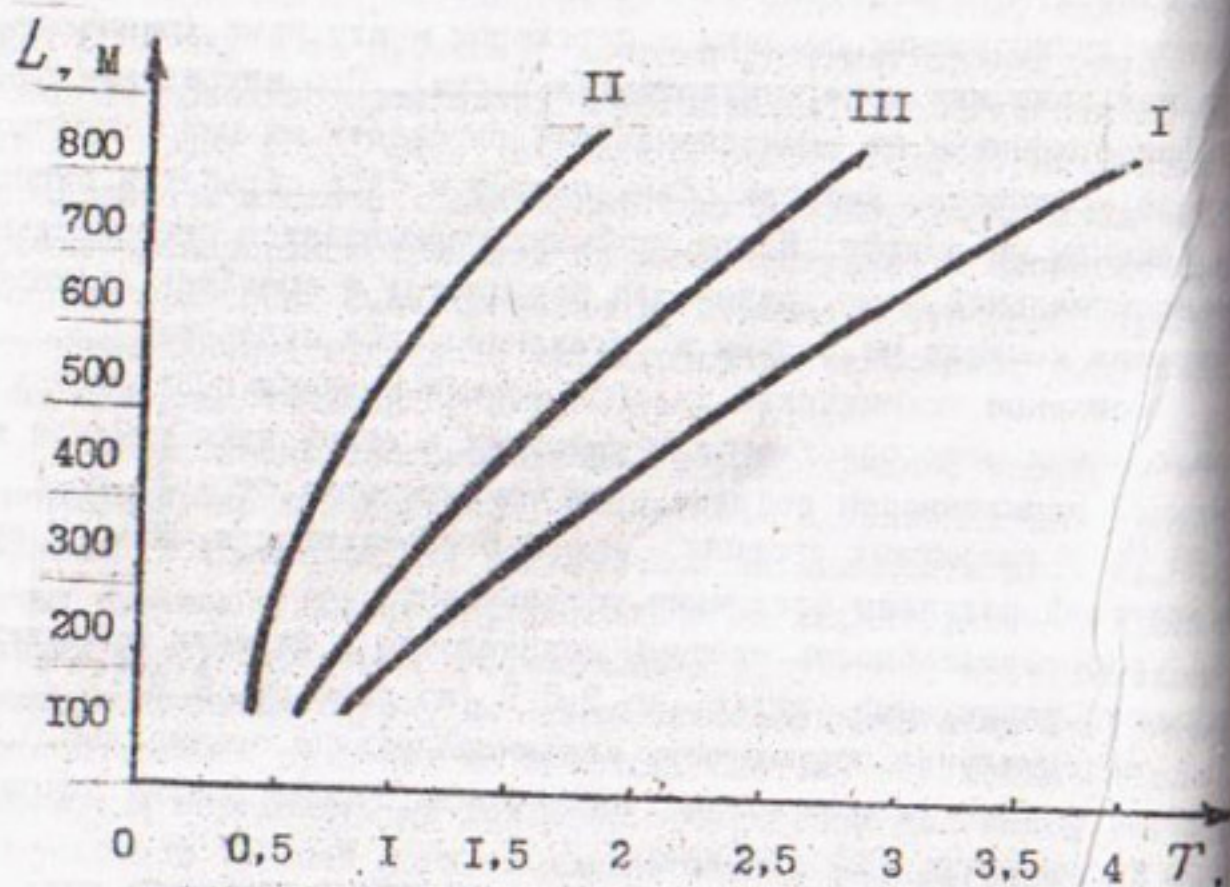


График зависимости трудозатрат от длины трассы дрены при ее разбивке:

- I - техническое нивелирование по пикетам;
- 2 - вариант с использованием системы ПУЛ-Н-І;
- 3 - вариант с использованием системы САУЛ-І.

ние излучателя и угол сопряжения дрены с коллектором, т.е. направление осей дренажных линий. Кроме того, по рекомендуемой технологии исключается разбивка "корыта" по глубине на ярусы. Ведущей машиной становится скрепер ДЗ-77-1 (объем ковша 7-8 м³) с электрогидравлической системой управления; полностью исключается работа бульдозера и планировка дна "корыта" грейдером. Скреперы, оборудованные электронной системой управления, могут работать как в ручном, так и в автоматическом режиме, при этом число проходов при планировке "корыта" сокращается до 30%, производительность труда увеличивается на 15-20%; можно использовать труд менее квалифицированных механизаторов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. В.А.Духовный и др. Оптимизация технологических процессов в мелиоративном строительстве с учетом надежности//Вопросы теории и практики надежности гидромелиоративных систем и сооружений/ ГрузНИИГиМ.-Тбилиси, 1989.- С.51-57.
2. Мелиорация и использование осушенных земель. Т.ХІХ.- Минск: Урожай, 1971.- С.52-58.
3. СНиП 3.07.03-85.-М., 1986.
4. Land Drainage David W.Rycroft Ph.D.Did App.Sc.ARCATS, Ceng, mice. - 68 p.
5. Система ПУЛ-Н-1. Паспорт. Таллинн, 1989.

Е.Г.Цурикова,
Р.А.Усманов, к.т.н.

К ВОПРОСУ О ТЕХНИЧЕСКИХ ПРЕДЛОЖЕНИЯХ ПО ПОВЫ- ШЕНИЮ НАДЕЖНОСТИ ВОДОЗАБОРА НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ КМК

Каршинский магистральный канал (КМК) с каскадом насосных станций — объект мелиоративного назначения, предназначенный для подачи воды из р.Амударьи на поля Каршинской степи. Проектом предусматривалась эксплуатация канала в течение II месяцев в году с постоянной подачей $175 \text{ м}^3/\text{с}$ при нижней отметке горизонта воды в Амударье 243,6, но в действительности КМК эксплуатируется не по проекту. Основными причинами отступления от требований проекта являются технологические ограничения по водозабору, эксплуатационные особенности основного насосно-силового оборудования. Указанные причины привели к тому, что для обеспечения потребного объема водоподачи КМК на сегодняшний день эксплуатируется круглосуточно с изменением подачи в годовом цикле от 40 до $230 \text{ м}^3/\text{с}$. Необходимо отметить, что последние годы были многоводными, а в связи с ожидаемым периодом маловодных лет, когда наиболее остро скажутся на подаче КМК дефициты горизонтов воды в р.Амударье, каскад насосных станций будет испытывать определенные трудности с водозабором, что может привести к недоподаче воды в оросительные системы.

Для определения причин, ограничивающих водоподачу, необходимо рассмотреть следующие вопросы.

1. Водоподача головной насосной станции КМК в зависимости от горизонта воды в р.Амударье.

2. Увеличение максимальной подачи, т.е. числа работающих насосных агрегатов на головной насосной станции КМК в условиях низких горизонтов в реке.

Так как снижение отметок нижнего бьефа влечет за собой уменьшение количества работающих агрегатов, данные вопросы следует рассматривать не только с гидротехнической, но и с гидромеханической точки зрения. В периоды низких горизонтов

воды головная насосная станция может работать только двумя-тремя насосными агрегатами, т.е. с подачей 80-120 м³/с.

Основной причиной, технологически ограничивающей работу насосной станции № I, является вибрация насосных агрегатов при включении 4-го агрегата при низких отметках нижнего бьефа. Природа этих явлений исследовалась в САНИИРИ и ТИИИМСХ.

При натурных исследованиях гидравлических режимов аванкамер и водоприёмников крупных насосных станций КМК выделены следующие особенности гидравлического режима потока в отдельных элементах насосных станций / I /:

1. Поток в целом отклоняется от оси сооружения и характеризуется отсутствием устойчивости во времени. Поперечные колебания динамической оси потока во времени приводят к тому, что в различные моменты времени наибольшие расходы воды протекают через центральные насосные агрегаты № 3, 4, 5. На участке расширения канала перед сороудерживающим сооружением происходит стеснение потока двумя водоворотными зонами.

2. Эпюры осредненных скоростей в пределах аванкамеры представляют собой фигуры, сильно искаженные в плане и по вертикали (рис.1 дает представление об эпюрах осредненных скоростей в вертикальной плоскости напротив 1-, 3-, 6-го агрегатов насосной станции № I). Распределение скоростей свидетельствует о сосредоточении потока в центральной части водоприёмной камеры. Непосредственно перед входом во всасывающие трубы насосных агрегатов наблюдается продольное, относительно фронта всасывающих труб, течение с достаточно высокой скоростью (рис.2). Это течение вызывает появление мощных вихрей с вертикальной осью вращения. Транзитный поток до подхода к сороудерживающим сооружениям в результате неравномерности эпюр скоростей в плане и по вертикали и взаимодействия с водоворотными зонами приобретает внутреннюю структуру, характеризующуюся повышенной интенсивностью турбулентности, и несёт в себе значительные массы вихревых образований. Следует отметить резкое усугубление режима распределения скоростей, которое происходит при снижении отметок в аванкамере.

3. В силу турбулентности потока лопасти рабочего колеса

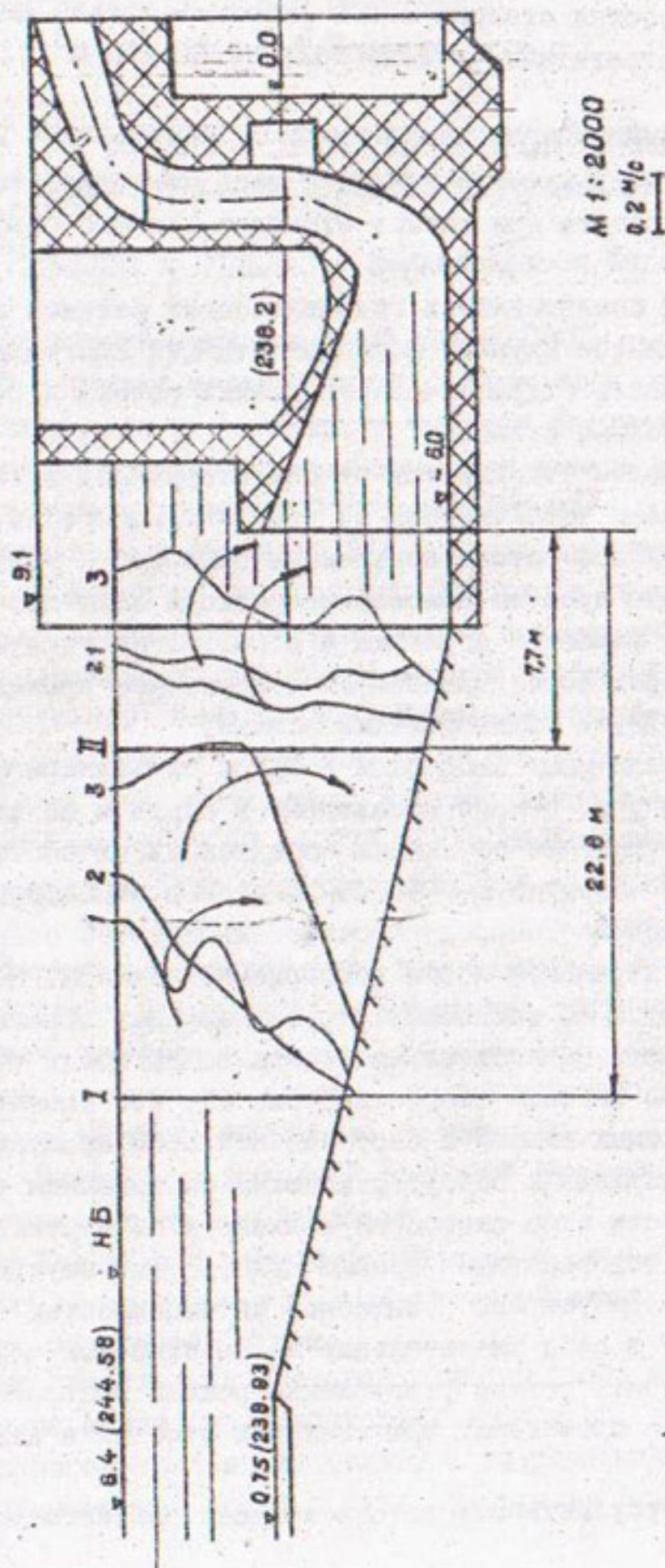


Рис. 1. Распределение скоростей в абанкамере НС-1:

- 1-элюра скоростей напротив 6-го опр;
- 2-элюра скоростей напротив 1-го опр;
- 3-элюра скоростей напротив 3-го опр;

I - 1-й створ;

II - 2-й створ

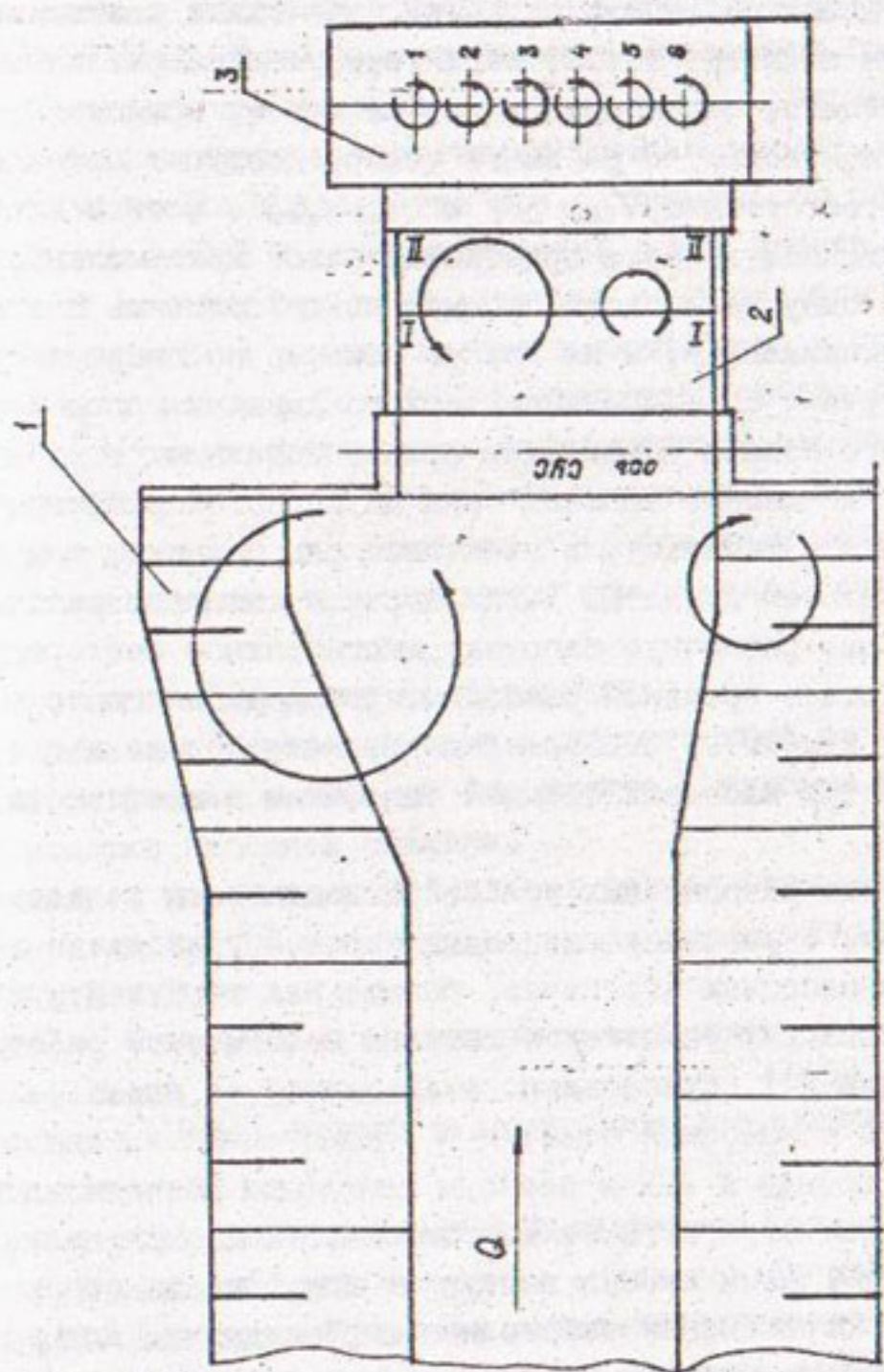


Рис. 2 Схема образования вихревых зон в подводящем тракте НС-1 КМК:
1 - подводящий канал; 2 - абанкамера; 3 - здание НС.

насоса испытывают различную нагрузку, так как в разные моменты времени к ним подходит поток, характеризующийся различными скоростями. Возможно, что в один и тот же момент времени к двум противоположным лопастям рабочего колеса поступит поток со скоростями, соответственно, $V_{cp} + \Delta V$ и $V_{cp} - \Delta V$. Если в этот момент пульсационная добавка приобретает своё максимальное значение, то на одну из лопастей начнет воздействовать поток со скоростью максимальной, а на другую лопасть со скоростью минимальной. Нагрузка от гидродинамического давления потока на лопасти рабочего колеса изменяется пропорционально V^2 , поэтому в один и тот же момент времени одна из лопастей рабочего колеса будет испытывать нагрузку, в несколько раз большую, чем другая, противоположная ей лопасть. Таким образом, лопасти рабочего колеса испытывают различную нагрузку, многократное повторение которой может стать причиной разбалансировки рабочего колеса.

Следует отметить, что основные геометрические и геодезические параметры насосных станций выполнены в соответствии с проектом.

Отсутствие равноценных условий подвода воды ко всем насосным агрегатам, образование вихревых воронок у входа во всасывающие трубы насосных агрегатов, повышенная турбулентность потока на всасывающих участках – причины неритмичной работы насосной станции № I, существенно уменьшающие её производительность. Именно с насосной станцией № I надо начинать вопрос о максимальной подаче в ЮЖ в периоды маловодья. Возникновение вибраций насосных агрегатов вследствие кавитационных явлений в зоне рабочего колеса насоса выступает как одно из основных технологических ограничений работы насосной станции. Для устранения этого ограничения шли на такие дорогостоящие мероприятия, как расширение русла подводящего канала, перенос точки водозабора выше и т.д. Между тем, получение такого же эффекта возможно за счет технологических преобразований, направленных на улучшение кавитационной картины – затраты будут намного меньше. Сравнивая фактические данные эксплуатационных служб о минимальных уровнях воды, при которых насосы работают устойчиво, т.е. кавитационные явления не проявляются в повышенной вибрации насосных агрегатов и допустимые (согласно кавитационным требо-

ниям насосов), можно сделать вывод о хороших кавитационных качествах насосов насосной станции. При работе агрегатов I-3 фактические минимальные уровни воды в аванкамере оказываются ниже допустимых, что закономерно, так как в допустимых величинах кавитационных запасов присутствует 20-30 % запаса. Величина этого запаса наглядно проявляется при режиме работы одним насосным агрегатом - 0,8 м, гидравлический режим потока в аванкамере насосной станции при этой величине наиболее благоприятный. При неблагоприятном режиме потока в аванкамере и перед всасывающими трубами, когда работают 3-6 агрегатов, работа насосов сопровождается резким ухудшением кавитационной картины. При этом требуется дополнительное повышение горизонтов (более 1 м при работе 6 агрегатов) по сравнению с требованием характеристик насосов и дополнительное заглубление при подаче более 120 м³/с.

В результате натурных исследований:

установлены качественное и количественное различия в гидравлическом режиме потока по его ширине и глубине на рассматриваемом участке насосной станции;

выявлены неравноценные условия подвода воды ко всем насосным агрегатам при поступлении потока в призматическую часть канала (рис.2);

поток, устремляясь к середине аванкамеры, образует водовороты по бокам, вовлекаемые во всасывающие трубы насосных агрегатов в виде мощных вихрей и являющиеся источником высокой турбулентности.

Для улучшения гидравлической структуры потока перед входом во всасывающие трубы насосных агрегатов предложено несколько решений. Для предотвращения воронкообразования - расширить и развить навстречу потоку вход во всасывающие трубы или установить фронтальную заборную стенку (рис.3). Устранить турбулентность потока и следующую за ней вибрацию насосных агрегатов (особенно крайних) с помощью плавучего устройства - растекателя (рис.4), обеспечив этим равноценный подвод воды ко всем насосным агрегатам насосной станции.

Предложены также конструктивные изменения в компоновке аванкамеры - увеличение обратного уклона дна аванкамеры (при нулевом и отрицательном уклонах) / 2 /. Но эти предложения трудно

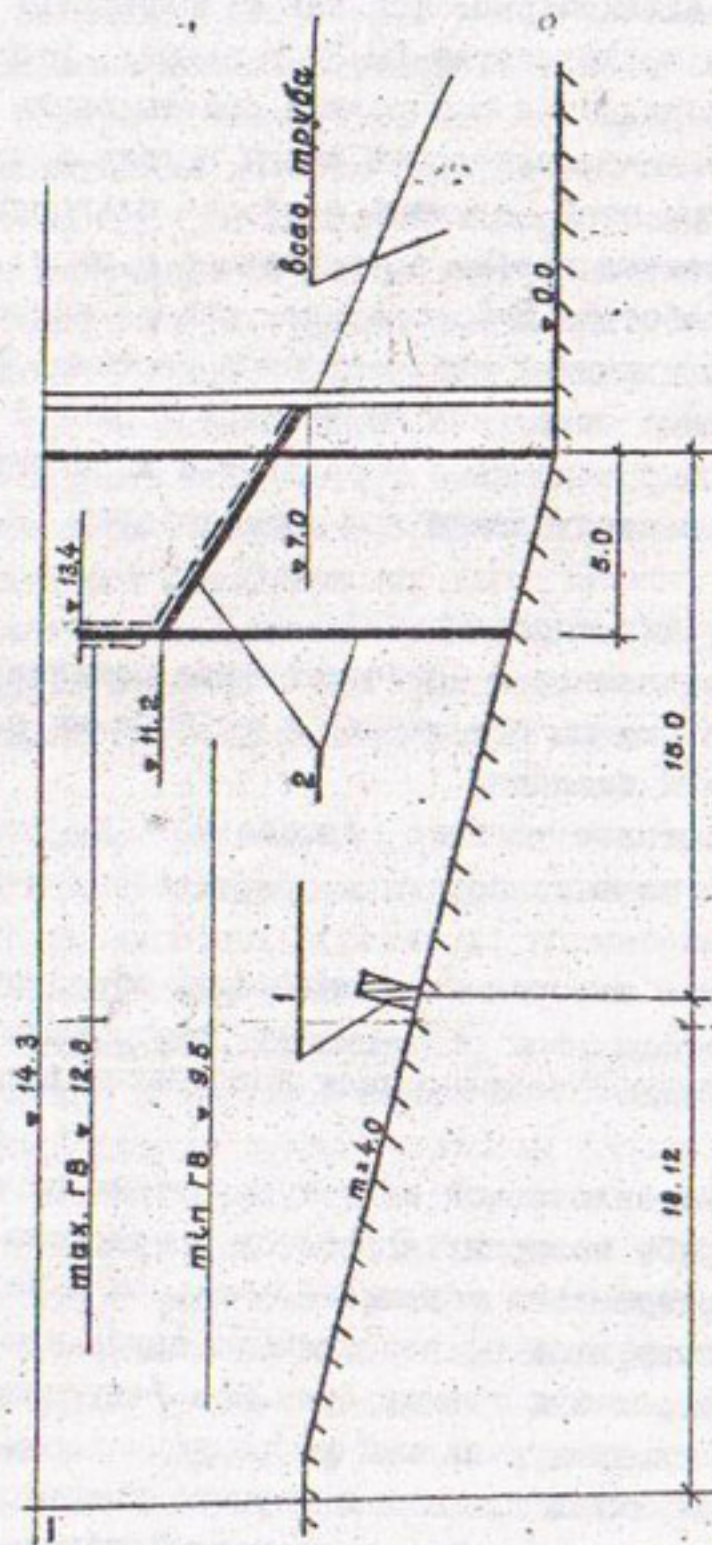


Рис. 3. Мероприятия по улучшению подвода воды ко всем насосным агрегатам (предложеном С.И. Кеберте и О.Я. Глобачного): 1 — железобетонная стенка; 2 — разбитый вход, каркас которого выполняется из стальных труб.

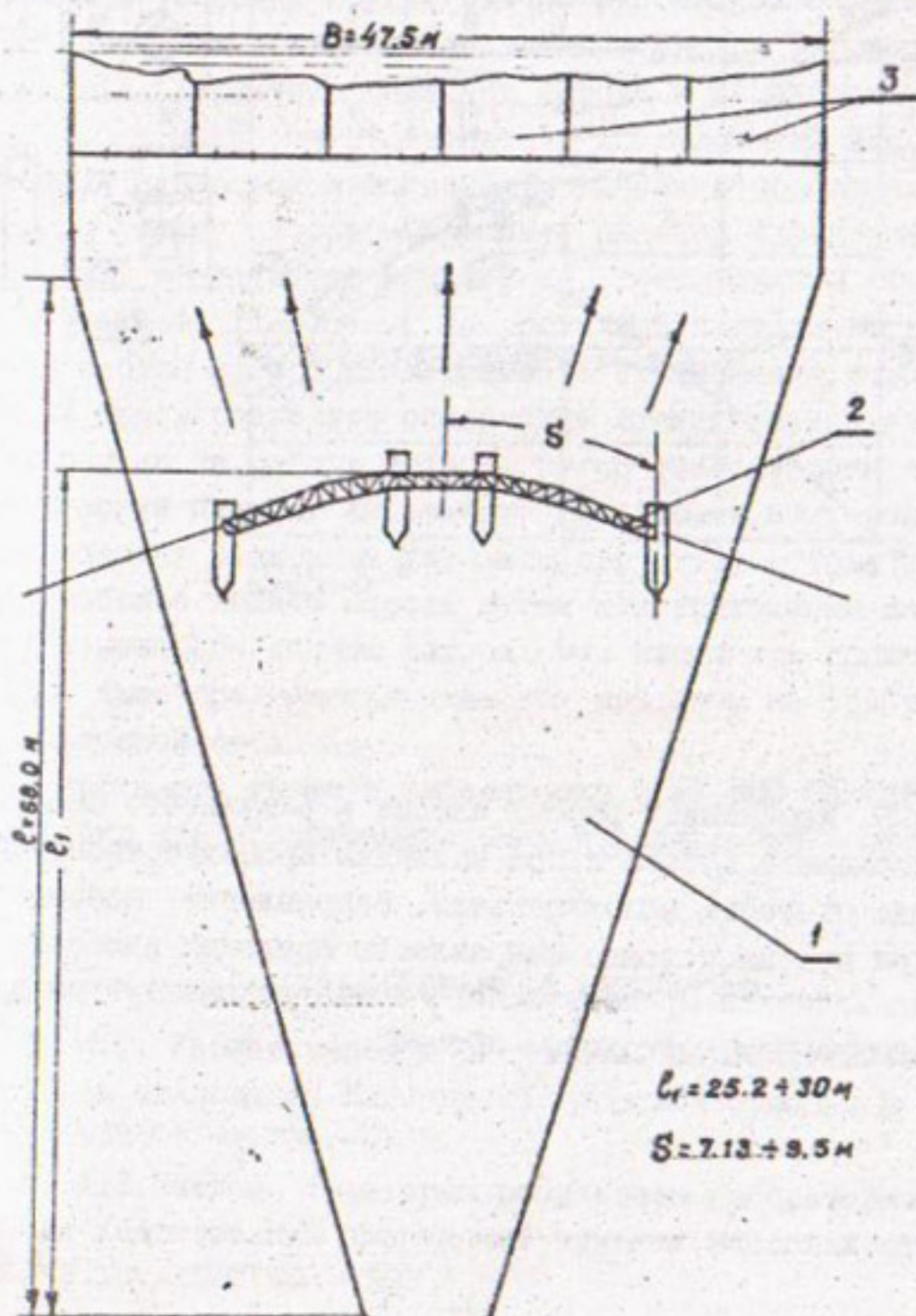


Рис. 4. Растекатель:
 1 — аванкамера;
 2 — растекатель;
 3 — всасывающие трубы.

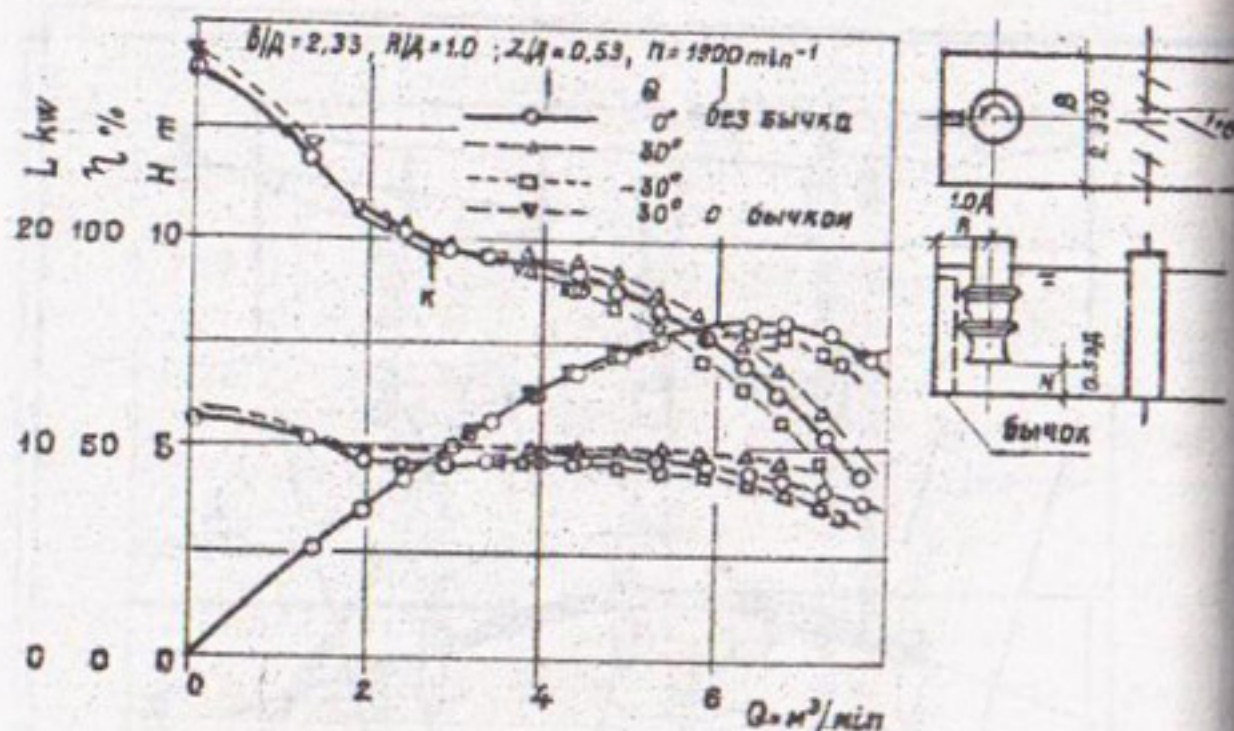


Рис.5. Изменение работы насоса в результате смещения подводящего потока и под влиянием промежуточного бычка (когда скорость положительная, направление вращения вихря противоположно направлению вращения насоса; использование промежуточного бычка рекомендуется при неоднородном подводящем потоке).

выполнимы в условиях круглогодично работающей насосной станции.

В статье японских исследователей Масашити Тагомори и Масанори Готоха "Характеры движения потока и водоворотов в насосных колодцах" приводятся результаты исследований влияния распределения скоростей в подводящем канале и образования водоворота на работу насоса. На основе анализа характера движения потока, образующего водовороты, предлагаются способы, предупреждающие их появление. На рисунке 5 показан характер изменения работы насоса в зависимости от смещения потока. Промежуточный бычок позволяет ограничить отрицательное влияние вихревого потока на работу насоса путём стабилизации скоростей около воронки насоса. Анализируя результаты этих исследований, представляется возможным улучшить структуру потока перед входом в рабочее колесо насоса путём конструктивных изменений самого всасывающего колена насоса, что выполнить проще, чем предложенные выше предложения, так как при этом не требуется остановка насосной станции.

В настоящее время в лаборатории НСмУ НПО САНИИРИ смонтирован стенд для экспериментальных исследований в этом направлении.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. НТО. Исследования и разработка мероприятий по улучшению работы аванкамеры Каршинской насосной станции № I: Отчет о НИР/САНИИРИ. - №4224. - 1975.

2. А.Б. Маслов. Некоторые результаты лабораторных гидравлических исследований сооружений крупных насосных станций. Сб. научн. тр./ВНИИГМ. - 1987.

МЕТОД ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА УВЛАЖНЕНИЯ ПРИ ПОЛИВЕ ПО БОРОЗДАМ С УЧЕТОМ ОПТИМИЗАЦИИ ЕГО ПАРАМЕТРОВ

При организации поливов возникают проблемы оценки качества увлажнения сельхозкультур, рационального использования поливной воды и режима увлажнения орошаемого участка. Предлагаемая большинством исследователей оценка качества полива по величине продуктивности посевов не вполне справедлива по той причине, что урожайность зависит не только от качества полива, но и еще от очень большого числа факторов, таких, как водно-физические свойства почвы, агротехнические мероприятия, качество семян, болезни растений, метеорологические условия и др.

Объективными характеристиками качества полива, не зависящими от других показателей, являются:

а) коэффициент полезного действия (КПД) полива, который мы обозначаем через η . Он определяется как отношение объема воды $W_{\text{нетто}}$, профильтровавшейся в почву, включая и часть воды в бороздах, оставшуюся по окончании полива $\alpha_n W_{\text{бор}}$ (где α_n — доля воды, профильтровавшейся из борозды в конце полива), за минусом объема воды, ушедшей ниже глубины корнеобитаемого слоя H_k , к объему поданной на участок воды $W_{\text{брутто}}$.

Следует уточнить, что не всегда верно пренебрегать объемом воды, профильтровавшейся ниже глубины H_k , особенно при сравнительно неглубоком залегании уровня грунтовых вод. Профильтрованная вода часто может вновь подняться вверх к корневой системе при нарушении равновесного состояния влаги в зоне аэрации, когда происходит подсушка её верхней части. Этот процесс может происходить и в течение самого полива, неоднократно изменяя влажность корневой зоны. Таким образом, в более общем случае для определения η необходимо добавить параметр, учитывающий влагообмен на границе корнеобитаемой зоны. Обозначим его как $W_{\text{кор}}$, а знак его значения будет определяться направлением движения потока влаги в почве (при движении вглубь "+", при движе-

нии к поверхности земли "-"). С учетом сказанного уравнение для определения КПД полива можно записать в следующем виде:

$$\eta = \frac{(W_{\text{нetto}} - W_{\text{кор}}) + \alpha_n W_{\text{вop}}}{W_{\text{вpучго}}} ; \quad (1)$$

б) неравномерность полива по длине борозды. Абсолютная величина неравномерности определяется среднеквадратическим отклонением слоя профильтровавшейся в разных точках поливного участка воды θ_{nf} от среднего слоя фильтрации $\bar{H}_f$. Более показательной мерой неравномерности полива следует считать относительную неравномерность C_{vn} (коэффициент вариации профильтровавшегося слоя воды на участке)

$$C_{vn} = \theta_{nf} / \bar{H}_f . \quad (2)$$

В дальнейшем за показатель неравномерности полива удобнее принять величину λ

$$\lambda = \frac{1}{(1 + C_{vn})} ; \quad (3)$$

в) коэффициент, учитывающий влияние полива на динамику солевого обмена в корнеобитаемом слое, т.е. солевой прогноз в зависимости от типа полива и сочетания его элементов. Этот коэффициент, обозначенный через δ , может изменяться от 0 до 1,0 и представлен в виде

$$\delta = \left(1 - \frac{2}{1 + D_s} \right) , \quad (4)$$

где D_s - отношение фактической концентрации соли в корнеобитаемой зоне к оптимальной;

г) отношение идеального времени увлажнения участка $T_{ид}$ к фактическому $T_{факт}$. Под идеальным временем увлажнения $T_{ид}$ понимается время увлажнения, при котором в участок просачивается заданный объем (слой) воды и начало орошения всех точек участка происходит одновременно (время добегания равно нулю). Эту характеристику мы обозначим через ξ

$$\xi = T_{ид} / T_{факт} . \quad (5)$$

Для нахождения идеального времени увлажнения определим необходимый средний слой воды $S_{нф}$, который должен впитаться по всему поливному участку

$$S_{нф} = H_k (1 - \alpha_1) (\varphi_{2к} - \varphi_{2н}), \quad (6)$$

где α_1 - относительный объём скелета грунта, $\varphi_{2к}$ - начальная влагонасыщенность почвогрунтов, $\varphi_{2н}$ - конечная влагонасыщенность.

Слой профильтровавшейся воды H_f за время фильтрации τ согласно формуле Хортона, равен

$$H_f = \frac{R}{\alpha_h} (1 - \exp(-\alpha_h \tau)) + U_{уст} \tau, \quad (7)$$

где $U_{уст}$ - установившаяся скорость инфильтрации, R - разность между начальной и установившейся скоростью инфильтрации, α_h - коэффициент затухания процесса впитывания.

Подставив в (7) вместо H_f величину $S_{нф}$ и вместо τ идеальное время полива $T_{ид}$, получим

$$S_{нф} = \frac{R}{\alpha_h} (1 - \exp(-\alpha_h T_{ид})) + U_{уст} T_{ид}. \quad (8)$$

Уравнение (8) не решается явно относительно $T_{ид}$, поэтому вычисление этой величины следует проводить итерационным методом

$$T_{ид}(i+1) = T_{ид}(i) - \left[\frac{R}{\alpha_h} (1 - \exp[-\alpha_h T_{ид}(i)]) + U_{уст} T_{ид}(i) \right] / \left[R \exp[-\alpha_h T_{ид}(i)] + U_{уст} \right]. \quad (9)$$

Таким образом, определяя качество полива четырьмя основными критериями n , λ , δ и ξ , мы имеем дело с многокритериальным

ной задачей. Наилучшие значения каждого из этих критериев равны единице, а наихудшие — нулю.

Данную многокритериальную задачу можно свести к однокритериальной следующим образом.

Рассмотрим четырехмерное пространство с ортогональной системой координат η , λ , δ и ξ . Каждую точку этого пространства можно сопоставить с вектором $\vec{G}(\eta, \lambda, \delta, \xi)$, выходящим из начала координат. Идеальное значение этого вектора есть $\vec{G}_{ид}(1, 1, 1, 1)$. Мерой эффективности полива может служить расстояние L между указанными векторами

$$L = \left[\left[\vec{G}(1, 1, 1, 1) - \vec{G}(\eta, \lambda, \delta, \xi) \right]^2 \right]^{\frac{1}{2}} = \left[(1-\eta)^2 + (1-\lambda)^2 + (1-\delta)^2 + (1-\xi)^2 \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (10)$$

Чем меньше расстояние L , тем эффективнее полив. Из практики, однако, известно, что влияние каждого из приведенных факторов на качество полива не одинаковое и в предыдущую формулу нужно ввести весовые коэффициенты, т.е. считать рассматриваемое пространство анизотропным. Обозначим эти коэффициенты через A_1 , A_2 , A_3 , A_4 . Сумма этих коэффициентов должна быть равна единице

$$A_1 + A_2 + A_3 + A_4 = 1 \quad (11)$$

а их величины определяются экспертным путем.

Коэффициент эффективности полива, который мы обозначим через $K_{фр}$, выразится следующим образом (причем, $K_{фр} = L$):

$$K_{фр} = \left[A_1 (1-\eta)^2 + A_2 (1-\lambda)^2 + A_3 (1-\delta)^2 + A_4 (1-\xi)^2 \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (12)$$

В результате проведенных исследований получены следующие осредненные значения весовых коэффициентов:

$$A_1 = 0,30; A_2 = 0,27; A_3 = 0,28; A_4 = 0,15.$$

Рассмотрим на основе изложенного выше оптимизацию параметров трех основных типов поверхностного полива.

1. Полив с постоянной водоподачей в борозду.

Управлять этим типом полива можно только путём подбора определенного значения расхода в голове борозды q_0 , получая при этом значения K_{fp} в зависимости от величины q_0 , изменяющейся в интервале от $q_{0\min}$ (из условия добега фронта полива до конца борозды) до $q_{0\max}$ (из условия неразмываемости борозд). В полученном диапазоне расходов необходимо найти такое значение q_0 , которое бы давало минимальное значение K_{fp} при изменении q_0 в интервале от $q_{0\min}$ до $q_{0\max}$. Для нахождения оптимального расхода интервал $(q_{0\max} - q_{0\min})$ делится на n частей

$$q_0(i) = q_{0\min} + (q_{0\max} - q_{0\min}) / n, \quad (13)$$

где $0 \leq i \leq n$.

Для каждого значения i вычисляются $q_0(i)$ и K_{fp} и находится значение $q_0(i)$, соответствующее минимальному значению K_{fp} . Этот расход и будет оптимальным для полива с постоянным расходом в голове борозды.

2. Полив с переменной водоподачей.

Проанализировав относительно четырех чисел - критериев $(\eta, \lambda, \delta, \xi)$ - качество увлажнения при различных изменениях расхода в голове борозды, установили, что наиболее эффективен полив, при котором добега до конца борозды обеспечивается максимальным (из условия неразмываемости борозд) расходом $q_{0\max}$, впоследствии плавно снижающимся до завершения полива. При данном типе полива для его оптимальности необходимо точно определить значение $q_{0\max}$ и характер кривой изменения водоподдачи в голове борозды после фазы добега.

Максимальное значение расхода, согласно формуле Шези, запишется как

$$q_{0\max} = b h \frac{h^y}{n} \sqrt{h I} = \frac{b}{n} \sqrt{I} h^y \quad (14)$$

где b - ширина потока воды в борозде по урезу, м;
 h - глубина наполнения в голове борозды, м;
 n - коэффициент шероховатости ложа борозды;

I - уклон поверхности земли;

y - показатель степени в формуле Шези ($\gamma = y + \frac{3}{2}$).

Следовательно, из уравнения (I4) мы можем получить величину наполнения в начале борозды

$$h = \left[\frac{q_0 \max n}{b \sqrt{I}} \right]^{\frac{1}{\gamma}}. \quad (I5)$$

Имея для каждого типа почвогрунта значение неразмывающей скорости потока, $U_{\text{нер}}$, согласно формуле Шези, запишем

$$U_{\text{нер}} = \frac{h^y}{n} \sqrt{hI} = \frac{\sqrt{I}}{n} h^{\gamma-1} \quad (I6)$$

Подставив уравнение (I5) в (I6), получим

$$U_{\text{нер}} = \frac{\sqrt{I}}{n} \left[\frac{q_0 \max n}{b \sqrt{I}} \right]^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}, \quad (I7)$$

откуда можно получить значение $q_0 \max$

$$q_0 \max = \frac{b \sqrt{I}}{n} \left[\frac{U_{\text{нер}} n}{\sqrt{I}} \right]^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}. \quad (I8)$$

Полученная величина расхода должна быть сохранена до тех пор, пока фронт полива не достигнет конца борозды. В дальнейшем изменение расхода во время полива будет определяться из основного уравнения движения воды в борозде

$$\frac{dS}{dt} = \frac{1}{h} \left[\frac{q_0}{b} - \int_0^{s_f} (U_f + E) dx \right], \quad (I9)$$

где U_f - скорость фильтрации, м/с;

E - интенсивность испарения, м/с.

Причем, $\frac{dS}{dt} = 0$, когда фронт полива достигнет конца борозды.

Уравнение (19) в этом случае примет вид

$$q_0 = b \int_0^{s_f} (u_f + E) dx. \quad (20)$$

Уравнение (20) определяет расход в голове борозды после достижения фронтом полива конца борозды.

Полученная система уравнений (18) и (20) определяет значение расхода воды в голове борозды, при котором полив переменной струей наиболее эффективен.

3. Дискретный полив по бороздам.

Дискретный полив, или полив с прерыванием водоподачи в голове борозды, теоретически можно проводить различными способами, однако на практике выбор вариантов водоподачи довольно ограничен. В основном он зависит от заданной технологии водообеспеченности участка.

Рассмотрим каждый импульс полива n отдельно. Он характеризуется тремя величинами: первая – постоянный расход в голове борозды $q_0(n, i)$; вторая – продолжительность водоподачи $t_{um}(n)$; третья – продолжительность паузы $t_n(n)$. Продолжительность каждого отдельного импульса T равна сумме продолжительности водоподачи $t_{um}(n)$ и продолжительности паузы $t_n(n)$

$$T(n) = t_{um}(n) + t_n(n). \quad (21)$$

Согласно существующей технологии дискретного полива, вода попеременно подаётся то в правое, то в левое плечо трубопровода или в четные и нечетные борозды, что вынуждает сохранить равными по продолжительности время водоподачи и время паузы. Таким образом, при дискретном поливе мы можем выбирать по своему усмотрению только две независимые величины: первая – расход в голове борозды $q_0(n)$; вторая – продолжительность водоподачи – паузы $T(n)$.

В самом простом варианте величины q_0 и T могут быть приняты постоянными и не зависящими от номера импульса n , хотя их значения пока не известны. Чтобы найти оптимальные значения q_0 и T , т.е. те их значения, при которых коэффициент эффективности полива K_{fp} принимает наименьшее значение, опре-

делим диапазоны изменения q_0 и τ :

$$q_0 \min \leq q_0 \leq q_0 \max ; \quad (22)$$

$$\tau \min \leq \tau \leq \tau \max , \quad (23)$$

где $q_0 \min$ - минимальный расход, обеспечивающий добега фронта полива до конца борозды, $\text{м}^3/\text{с}$;

$q_0 \max$ - максимальный расход из условия неразмываемости борозд, $\text{м}^3/\text{с}$;

$\tau \min$ - время добега фронта полива до конца борозды при $q_0 \max$, с;

$\tau \max$ - время добега фронта полива до конца борозды при $q_0 \min$, с.

Интервал ($q_0 \max - q_0 \min$) делится на m частей, а интервал ($\tau \max - \tau \min$) на k частей и составляется таблица значений коэффициента эффективности полива $K_{fp}(q_0, \tau)$ по результатам расчета программы дискретного полива. Таким образом, мы можем определить минимальное значение $K_{fp \min}$ и соответствующие ему значения q_0^* и τ^* , которые будут оптимальными для проведения дискретного (импульсного) полива в конкретных условиях.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бутников Г.И. Некоторые вопросы оптимизации бороздочного полива хлопчатника: Дис.канд.техн.наук.-Ташкент, 1972.
2. Венцель Е.С. Исследование операций. - М.: Знание, 1976.
3. Воронов А.А. Исследование операций управления. - М.: Наука, 1970.
4. Гафт М.Г. Принятие решений при многих критериях. - М.: Знание, 1976.
5. Лактаев Н.Т. Теоретическое обоснование технологии полива сельскохозяйственных культур по бороздам. - М.: Колос, 1972.

6. Левитяна Е.Ю., Письменский В.Р., Хранович И.Л. Применение математических моделей для оценки эффективности использования водных ресурсов в оросительных системах // Водные ресурсы. - 1990. - № 5.

7. Evaluation of irrigation systems. - ASAE Standards. - 1987; EP 419.

8. Blair A.W., Smerdon E T Unimodel surface irrigation efficiency. // Journal of Irrigation and Drainage Engineering. - 1988. - T.114. - № 1. - pp.156-168.

Ф.А.Гаптаров

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ВОДЫ ВОДОХРАНИЛИЩ

При расчете испарения с поверхности водохранилищ по формуле ГТТ или аналогичным формулам необходимо знать температуру поверхностного слоя воды / 2, 5 /. При отсутствии наблюдений за температурой воды на существующих или проектируемых водохранилищах рекомендуется принимать в расчет температуру воды водохранилища-аналога.

В Гидрологических ежегодниках имеются данные о температуре поверхностного слоя воды лишь по некоторым водохранилищам Средней Азии. Подобрать водохранилище-аналог часто невозможно.

Авторы статьи / 2 / проводили расчет максимальной упругости водяного пара, определяя температуру воды по зависимости, построенной по данным наблюдений на водоемах различных высотных зон. Эта зависимость представлена лишь графически, что затрудняет её использование. Кроме того, чтобы зависимость была более точной, следовало использовать для её получения безразмерные отношения $\frac{t_{вод}}{t_{возд}}$ и $\frac{t_{возд}}{t_{возд}}$, где $t_{вод}$ и $t_{возд}$ - средне-месячные температуры воды и воздуха, $t_{возд}$ - среднегодовая температура воздуха.

Для определения температуры поверхности воды в водохранилищах нами выведена статистическая зависимость температуры поверхности воды от данных наблюдений за температурой воздуха, которые систематически ведутся на метеорологических станциях / 1 /.

Составлено корреляционное уравнение I-го порядка / 4 / следующего вида:

$$\frac{t_{вод}}{t_{возд}} = A + B \frac{t_{возд}}{t_{возд}} + C \frac{(t_{возд})_{n+1} - (t_{возд})_{n-1}}{\bar{t}_{возд}}, \quad (I)$$

где $(t_{возд})_{n+1}$ и $(t_{возд})_{n-1}$ - средние температуры воздуха за месяцы, последующий и предшествующий рассчитываемому. Последнее слагаемое необходимо для учета того обстоятельства, что при повышении температуры воздуха нагревание воды происходит медленнее из-за большой теплоемкости воды, а при снижении температуры воздуха вода остывает медленнее.

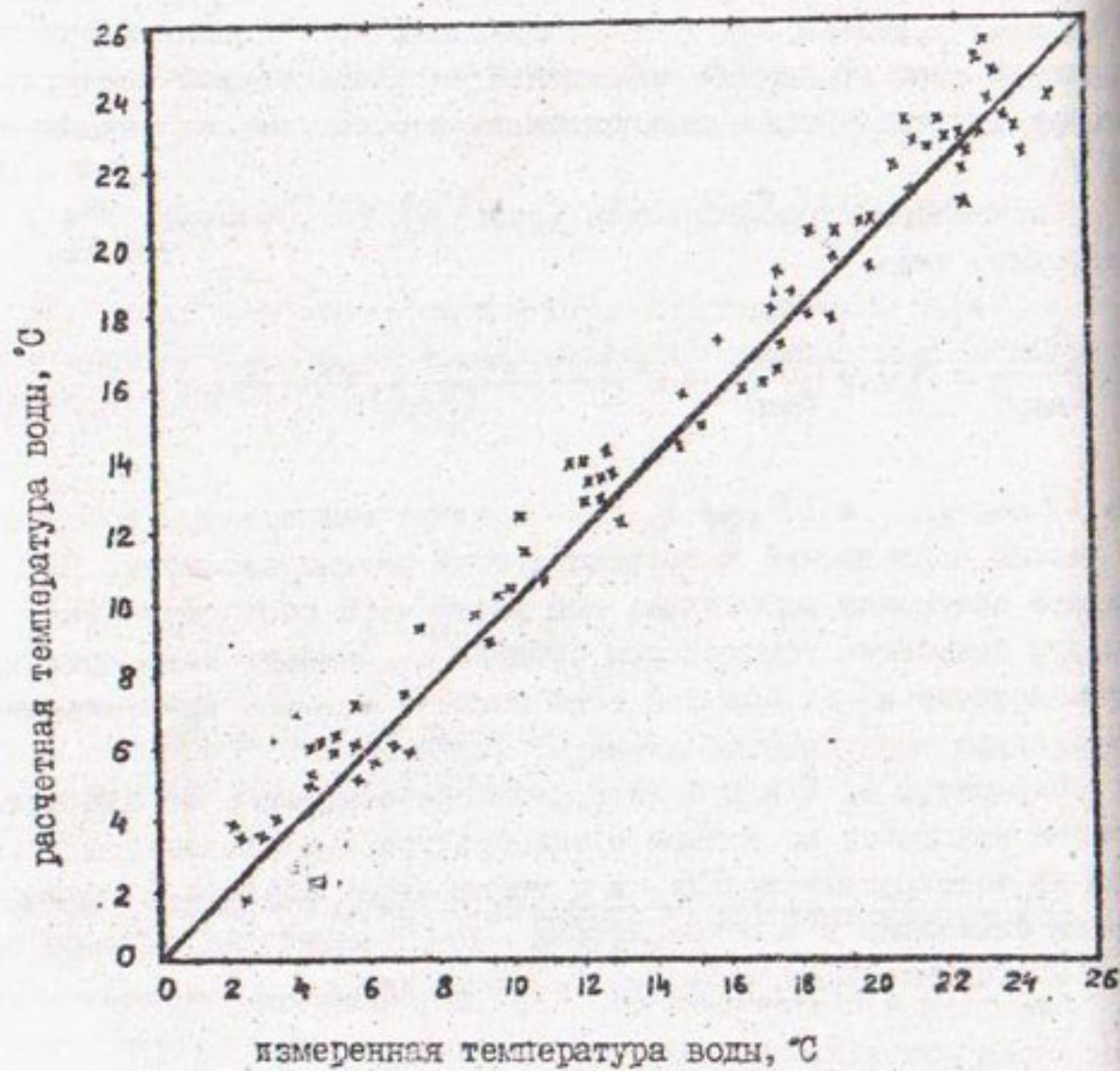
Параметры A, B и C были определены с помощью метода наименьших квадратов по данным о температуре поверхностного слоя воды на водохранилищах РУЗ и о температуре воздуха по наблюдениям ближайших к водохранилищам метеостанций (за 1979-88 гг.).

Полученная нами зависимость имеет вид

$$t_{вод} = 0,78 t_{возд} + 0,17 \bar{t}_{возд} - 0,11 [(t_{возд})_{n+1} - (t_{возд})_{n-1}]. \quad (2)$$

Однако в этом уравнении не учтен фактор глубины водоёма, который также оказывает влияние на температуру поверхности воды. Нагревание или охлаждение водоёма за некоторый промежуток времени пропорционально количеству тепла, им поглощенному или отданному окружающему воздуху. Количество тепла, поглощенного или отданного, пропорционально объёму водоёма, который, в свою очередь, пропорционален глубине воды.

Таким образом, коэффициент C в (I) - величина не постоянная, а пропорциональная глубине водоёма, т.е. $C \frac{\bar{h}}{h_{нпг}}$.



Сравнение температуры поверхности воды,
вычисленной по формуле (3), с измеренной.

Полученное уравнение имеет вид

$$t_{вод} = 0,78 t_{возд} + 0,17 \bar{t}_{возд} - 0,13 \frac{\bar{h}}{\bar{h}_{нгу}} [(t_{возд})_{n+1} - (t_{возд})_{n-1}]. \quad (3)$$

На рисунке показано соответствие расчетных значений температуры поверхности воды в водохранилищах РУз измерениям.

Новая формула (3) основана на физическом законе обмена теплом между различными телами и учитывает, помимо других факторов, глубину водохранилища.

Полученная зависимость может быть использована для уточнения расчетов испарения с поверхности водохранилищ при отсутствии многолетних наблюдений за температурой поверхности воды.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Галпаров Ф.А. Определение температуры воды при расчете испарения с водохранилищ/Вопросы гидротехнического строительства в горных условиях. Доклады конф. молодых ученых и специалистов. -Кобулет, 1989. -С.3-4.

2. Горелкин Н.Е., Никитин А.М. Испарение с водоемов Средней Азии. //Труды САННИИМИ. -1985. -Вып.102(183). -С.3-24.

3. Гостунский А. Гидрология Средней Азии. Ташкент: Укитувчи, 1969. -327 с.

4. Митропольский А.К. Техника статистических вычислений. -М.: Гос.издат.физ-мат.литературы, 1961. -480 с.

5. Указания по расчету испарения с поверхности водоемов. -Л.: Гидрометеиздат, 1969. -84 с.

Ф.А.Гаппаров

Б.И.Белесков, к.т.н.

МЕТОД ПЕРЕСЧЕТА РАСЧЕТНОЙ СКОРОСТИ ВЕТРА В РАЙОН ВОДОХРАНИЛИЩА

Отсутствие метеонаблюдений непосредственно на месте строительства будущей плотины, в районе образования нового водохранилища, вынуждает использовать для определения расчетной скорости ветра данные наблюдений ближайшей метеостанции. Делается это, конечно, при условии существования корреляционной связи между скоростями ветра в этих двух пунктах. Для установления такой связи необходимо провести кратковременные (желательно в течение года) одновременные наблюдения за скоростью ветра на метеостанции и в районе водохранилища.

При наличии достаточно тесной корреляционной связи, что устанавливается по величине коэффициента корреляции $/ I /$, данные одновременных наблюдений используются для составления зависимости, по которой делается пересчет расчетной скорости ветра, определенной по данным наблюдений на метеостанции за 20-25 лет, в район водохранилища $/ 2 /$:

$$V_{w \text{ вог}} = \bar{y} + K (V_{w \text{ мет}} - \bar{x}), \quad (1)$$

где $V_{w \text{ вог}}$ и $V_{w \text{ мет}}$ - расчетные скорости ветра в районе водохранилища и по данным метеостанции;

$\bar{y}$ и $\bar{x}$ - средние скорости ветра, определенные по данным одновременных наблюдений в районе водохранилища и на метеостанции;

$$K = B + \sqrt{B^2 + 1} \quad (2)$$

$$B = \frac{\frac{\sum_{i=1}^n y_i^2}{n} - \bar{y}^2}{2 \left(\frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{n} - \bar{x} \bar{y} \right)} \quad (3)$$

здесь U_i и X_i – скорости ветра, измеренные одновременно в районе водохранилища и на метеостанции;
 N – число пар одновременных измерений скорости ветра.

Так как необходимо установить связь между расчетными, а не просто наблюдаемыми скоростями ветра, то линии регрессии, обычно используемые при существовании линейной корреляционной связи, в данном случае непригодны. Чтобы убедиться в этом, обратимся к рисунку. Он составлен по данным одновременных наблюдений скорости ветра на месте предполагаемого строительства плотины Нижнекафирниганского водохранилища и на метеостанции Исанбай. Скорости ветра в районе водохранилища записывали с помощью аноморумбографа М-12.

На горизонтальной оси отложены скорости ветра, измеренные на метеостанции, на вертикальной – в районе водохранилища. Каждой паре одновременных измерений соответствует точка на рисунке. Эти точки располагаются в овале, длина которого тем больше, чем дольше проводятся наблюдения. Пунктирной линией изображен овал, ограничивающий наблюдения за один год, сплошной линией – наблюдения, которые были бы сделаны за 50 лет. Длина овала ограничивается справа вертикальной касательной прямой, графически изображающей расчетную скорость ветра на метеостанции, так как расчетная скорость ветра – это граница, которую скорость ветра может достигнуть не более одного раза за принятое число лет. Расчетная скорость ветра равна абсциссе точки касания.

Длина большого овала ограничена справа расчетной скоростью 23,5 м/с (один раз в 50 лет), длина малого овала – расчетной скоростью 13,0 м/с (один раз за год). Расчетные скорости определены по срочным наблюдениям скорости ветра на метеостанции Исанбай за 20 лет (1966–1985 гг.).

Расчетная скорость ветра в районе водохранилища изображается графически горизонтальной прямой, касательной к овалу сверху. Она равна ординате касания. Ордината этой точки равна ординате точки пересечения большой оси овала и вертикальной касательной.

Линейная зависимость (I) между скоростью ветра в районе водохранилища и скоростью ветра на метеостанции является уравнением оси овала.

Таким образом, рекомендуемая зависимость при подстановке в неё величины расчетной скорости ветра на метеостанции определяет ординаты точек горизонтальной касательной, то есть расчетную скорость ветра на водохранилище.

Например, расчетная скорость ветра, по данным метеостанции Исанбай, за 20 лет (1966-1985 гг.) составляет:

$$V_{ш\text{ мет}} = 23,5 \text{ м/с}; \quad n = 119; \quad \sum_{i=1}^{119} x_i = 2657; \quad \bar{x} = 4,076; \\ \sum_{i=1}^{119} y_i^2 = 2474,81; \quad \bar{y} = 3,964; \quad \sum_{i=1}^{119} x_i y_i = 2287,4.$$

Коэффициент корреляции равен

$$\frac{\frac{\sum xy}{n} - \bar{x} \bar{y}}{\sqrt{(\frac{\sum x^2}{n} - \bar{x}^2)(\frac{\sum y^2}{n} - \bar{y}^2)}} = 0,59.$$

Согласно / I /, такой коэффициент корреляции при 119 парах значений x и y имеет высокую значимость.

Уравнение линии регрессии

$$V_{ш\text{ вод}} = \bar{y} + \frac{\frac{\sum xy}{n} - \bar{x} \bar{y}}{\frac{\sum x^2}{n} - \bar{x}^2} (V_{ш\text{ мет}} - \bar{x})$$

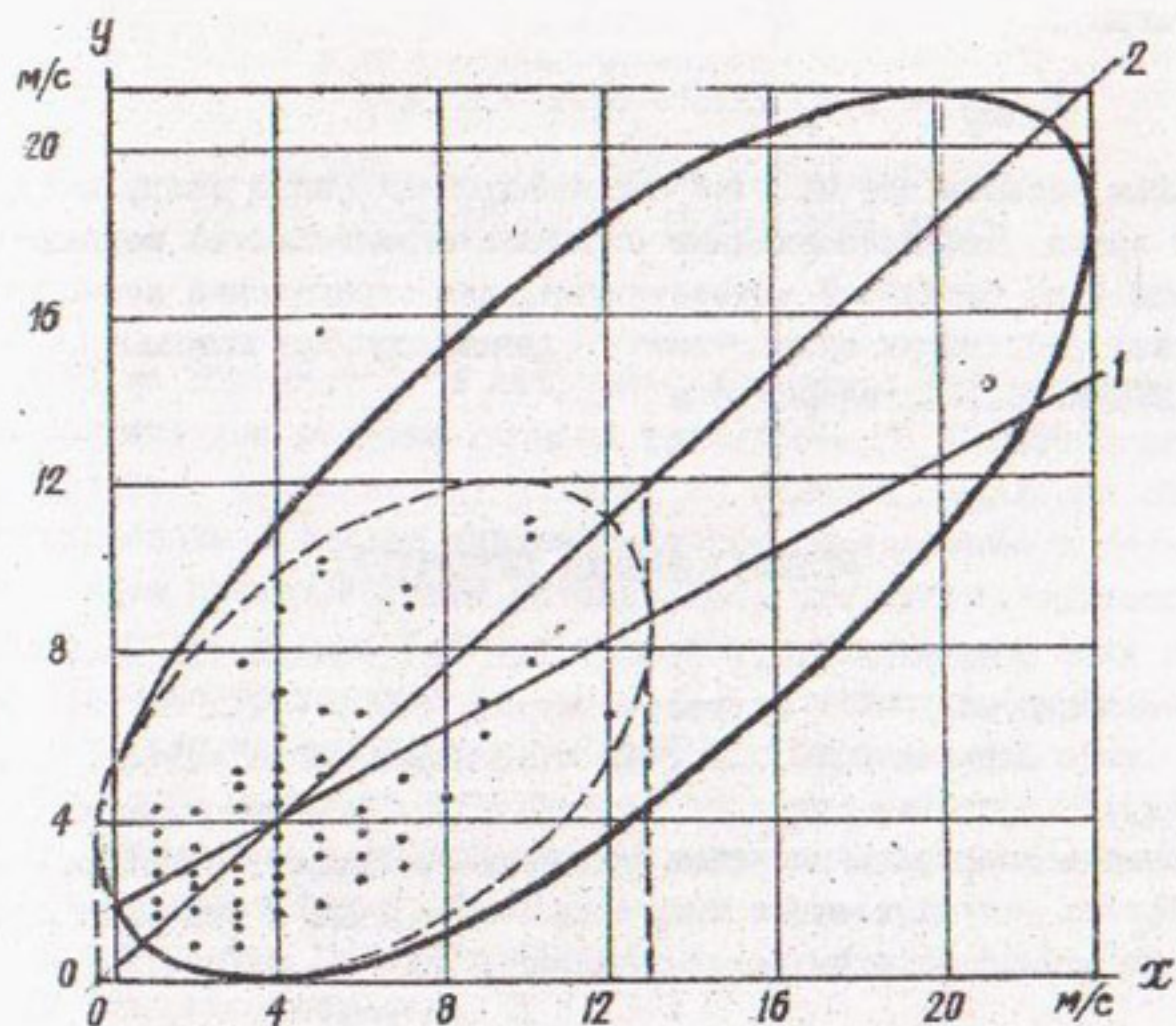
после подстановки данных измерений примет следующий вид:

$$V_{ш\text{ вод}} = 0,54 V_{ш\text{ мет}} + 1,78.$$

Как видно из рисунка, это уравнение не может служить для определения скорости ветра на метеостанции. Оно показывает нам более вероятную скорость ветра на водохранилище в некоторый момент времени, если известна скорость ветра в этот же момент на метеостанции.

Зависимость для определения расчетной скорости ветра на водохранилище после подстановки данных измерений в (I) - (3) примет вид

$$V_{ш\text{ вод}} = 0,9 V_{ш\text{ мет}} + 0,29.$$



Скорость ветра на метеостанции

Зависимость между наблюдаемыми и расчетными скоростями ветра на метеостанции и в районе водохранилища:

- 1 - линия регрессии;
- 2 - линия, связывающая расчетные скорости ветра.

Отсюда

$$V_{w\text{ вог}} = 0,9 \cdot 23,5 + 0,29 = 21,4 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Таким образом, при наличии корреляционной связи между скоростями ветра, зафиксированными в районе строительства водохранилища и на ближайшей метеостанции, для определения зависимости между расчетными скоростями рекомендуется использовать зависимость, приведенную в / 2 /.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Пановский Г.А., Брайер Г.В. Статистические методы в метеорологии. - Л.: Гидрометеоиздат, 1972. - 212 с.

2. Садыков А.Х., Осадчая И.В. Определение зависимости между скоростями ветра на водохранилище и метеостанции // Совершенствование расчетов русловых процессов, водозаборных, защитно-регулирующих сооружений и каналов в условиях большого отбора воды из рек. - Ташкент, 1987. - С.140-143.

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ГИБКИХ ТРУБОПРОВОДОВ С УЧЕТОМ ГИДРОДИНАМИКИ ПЕРЕМЕННОЙ МАССЫ

Одна из сложностей, с которыми приходится сталкиваться при гидравлическом расчете гибкого трубопровода, — деформация его поперечного сечения. Она зависит от величины давления внутри трубопровода и должна учитываться при определении потерь напора. Рядом исследователей установлено, что гибкие трубопроводы приобретают форму, близкую к круговому цилиндру, если величина давления составляет не менее 4-5 диаметров трубопровода, а так как из соблюдения условий неразрывности почвы поливной струей напор на выходе ограничивается величиной, равной 2-3 диаметрам трубопровода, то практически постоянно сечение шланга имеет форму, близкую к эллиптической.

В связи с этим гидравлический расчет гибких трубопроводов строится следующим образом / 3 /.

I. Определяется величина расхода из водовыпуска гибкого шланга

$$q_{\text{в}} = A (h - a)^{\alpha}, \quad (1)$$

- где $q_{\text{в}}$ — расход водовыпуска, м³/с;
 h — напор в сечении водовыпуска, м;
 a — вертикальная полуось деформированного трубопровода, м;
 α — показатель степени, $\alpha = 0,5$;
 A — параметр, учитывающий диаметр поливного трубопровода,

$$A = \mu \omega_{\text{в}} \sqrt{2g} \quad ; \quad (2)$$

- μ — коэффициент расхода поливного отверстия
 ($\mu = 0,6$);
 $\omega_{\text{в}}$ — площадь поливного отверстия,

$$\omega_s = \frac{\pi d_s^2}{4} \quad (3)$$

2. Вертикальная и горизонтальная полуоси деформированного трубопровода (a и b) определяются на основании эмпирических формул, полученных в результате лабораторных и полевых исследований:

$$a = \frac{d_o^2}{2h} \sqrt{\left(\frac{h}{d_o} - 0,14\right)\left(\frac{h}{d_o} - 0,29\right)}; \quad (4)$$

$$b = \frac{d_o}{2} \sqrt{\frac{(h/d_o - 0,14)}{(h/d_o - 0,29)}}, \quad (5)$$

где d_o — номинальный диаметр недеформированного трубопровода, м.
Отношение полуосей и площадей выражается следующими зависимостями:

$$\frac{a}{b} = 1 - 0,29 \frac{d_o}{h}; \quad (6)$$

$$\frac{\omega}{\omega_o} = 1 - 0,14 \frac{d_o}{h}, \quad (7)$$

здесь ω_o — площадь недеформированного трубопровода,

$$\omega_o = \frac{\pi d_o^2}{4}. \quad (8)$$

3. Из общеизвестных зависимостей гидравлики трубопроводов получены следующие гидравлические характеристики гибких деформированных трубопроводов в зависимости от величины давления:

$$R = R_o \left(1 - 0,14 \frac{d_o}{h}\right); \quad (9)$$

$$C = C_o \left(1 - 0,14 \frac{d_o}{h}\right)^{1/6}; \quad (10)$$

$$K = K_0 \left(1 - 0,14 \frac{d_0}{h}\right)^{5/3}, \quad (II)$$

где d_0 - диаметр недеформированного трубопровода, м;

$$R_0 = \frac{d_0}{4} \quad - \text{гидравлический радиус}; \quad (I2)$$

C_0 - скоростной множитель (коэффициент Шези),
м^{0,5}/с,

$$C_0 = \frac{1}{h} R_0^{1/6}; \quad (I3)$$

K_0 - расходная характеристика, м³/с,

$$K_0 = \omega_0 C_0 \sqrt{R_0}; \quad (I4)$$

h - напор от ложа борозды, м.вод.ст.

К представленному методу расчета имеются следующие два замечания:

1. Использование формулы Шези при определении расходной характеристики K_0 (I4) возможно исключительно при безнапорном и равномерном движении. Для напорных и самонапорных систем эти условия исключаются.

2. Формула (I) для определения величины расхода из водо-выпуска недостаточно точна, так как в ней отсутствует скоростной напор (согласно уравнению Бернулли). Она должна быть записана в виде

$$q_0 = A \left(\frac{u_i^2}{2g} + (h_i - a_i) \right)^\alpha. \quad (I5)$$

В данной работе ставится задача учесть недостатки выше-изложенного расчета и получить несколько иной подход к расчету гидравлики гибкого трубопровода с отверстиями, т.е. с учетом гидродинамики переменной массы.

Рассмотрим трубу с радиусом R , расположенную под углом к горизонту (рисунок). На расстоянии S_i от начала трубы располагаются отверстия круглой конфигурации с радиусом r . Отметки их центров относительно горизонта соответственно равны $Z t_i$.

Правый нижний конец трубы может быть как открытым, так и закрытым. Величины q_i представляют собой расходы, вытекающие из отверстий трубопровода.

Для гидравлического расчета трубопровода необходимо получить следующие зависимости:

- I — уравнение движения воды по трубе;
- II — уравнение баланса объёмов;
- III — уравнение для определения расходов воды, вытекающих из отверстий.

I. Уравнение движения воды по трубе

1. Составляющая силы тяжести направлена по оси трубы и, поскольку сила действует вниз на убавление, составляющая будет иметь знак "-" и записана в следующем виде:

$$\rho \omega g \frac{\partial Z t}{\partial s} ds. \quad (I6)$$

2. Сила давления

$$\omega \frac{\partial P}{\partial s} ds. \quad (I7)$$

3. Сила вязкого трения

$$2\pi R K_1 \frac{U}{R} ds. \quad (I8)$$

4. Сила турбулентного трения

$$2\pi R K_2 \rho |u| u ds. \quad (I9)$$

В уравнениях (I6)-(I9) ω — площадь живого сечения трубопровода, m^2 ;

g — ускорение свободного падения, m^2/c ;

$R = (\alpha \delta)^{1/2}$

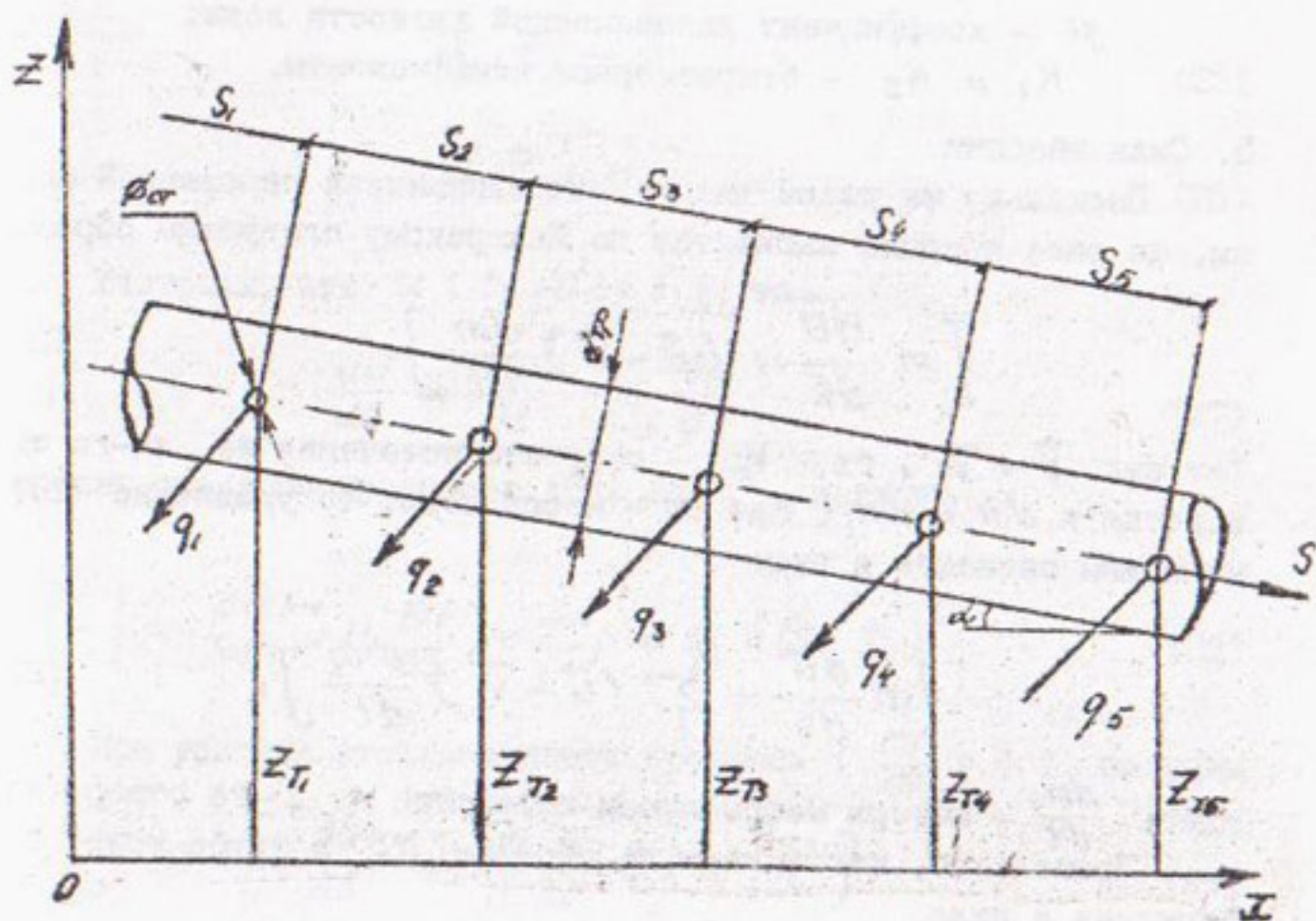


Схема гидравлического расчета гибкого трубопровода с учетом гидродинамики переменной массы

a и b - соответственно вертикальная и горизонтальная составляющие эллипса;

ρ - плотность воды;

P - превышение давления над атмосферным ($P = P^* - P_a$);

U - средняя по сечению скорость воды в трубопроводе;

μ - коэффициент динамической вязкости воды;

K_1 и K_2 - безразмерные коэффициенты.

5. Сила инерции

Поскольку мы имеем дело с гидродинамикой переменной массы, то сила инерции запишется по Мещерскому следующим образом:

$$\left[m \frac{d\vec{U}}{dt} + (\vec{U} - \vec{V}) \frac{dm}{dt} \right]. \quad (20)$$

Так как $\vec{V} = \vec{V}_i$, где V_i - скорость истечения из i -го отверстия и $dm = dm_i$, где m - масса воды, то уравнение (20) мы можем записать в виде

$$\left[m \frac{d\vec{U}}{dt} + \sum_i (\vec{U} - \vec{V}_i) \frac{dm_i}{dt} \right], \quad (21)$$

здесь $\frac{dm_i}{dt}$ - потеря массы путём истечения из i -го отверстия.

Кроме того, масса воды на отрезке dS в трубе может быть записана в виде

$$m = \rho \omega dS, \quad (22)$$

а теряемая масса на отрезке dS есть

$$\frac{dm_i}{dt} = -\rho q_i \delta(s - s_i) dS, \quad (23)$$

где $\delta(S - s_i)$ - дельта функция Дирака.

Подставив уравнения (22) и (23) в уравнение (21), получим

$$\left[\rho \omega \frac{d\vec{U}}{dt} - \sum_i \rho (\vec{U} - \vec{V}_i) q_i \delta(s - s_i) \right]. \quad (24)$$

Обозначим через $\vec{\tau}$ единичный вектор по оси трубы. Истечение из отверстий происходит перпендикулярно оси трубы. Следовательно, можно записать:

$$\vec{V}_i \cdot \vec{\tau}_i = 0, \quad (25)$$

$$\vec{U} \cdot \vec{\tau} = u. \quad (26)$$

Учитывая, что $u(t, S(t))$, то

$$\frac{du}{dt} = \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial S}. \quad (27)$$

Умножив скалярно уравнение (24) на $\vec{\tau}$, получим

$$- \left[\rho \omega \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial S} \right) - \sum_i \rho u q_i \delta(s - s_i) \right] \quad (28)$$

При условии стационарности процесса ($\frac{\partial u}{\partial t} = 0$) получим

$$- \rho \omega \left[u \frac{\partial u}{\partial S} - u \sum_i \frac{q_i}{\omega} \delta(s - s_i) \right]. \quad (29)$$

Суммируя все полученные силы и приравняв их к нулю (согласно принципу Даламбера), получим

$$u \left[\frac{\partial u}{\partial S} - \sum_i \frac{q_i}{\omega} \delta(s - s_i) \right] = \\ = -g \frac{\partial \psi}{\partial S} - 2\kappa_1 \frac{u}{R^2} - 2\kappa_2 \frac{|u|}{R} u, \quad (30)$$

$$\text{где } \psi = \lambda t + \frac{P}{\rho}. \quad (31)$$

П. Уравнение баланса объёмов
Баланс объёмов учитывает, что

$$\omega u - \left[\omega u + \omega \frac{\partial u}{\partial S} dS \right] - \sum_i q_i \delta(s - s_i) dS = 0, \quad (32)$$

или

$$\frac{\partial u}{\partial S} = - \sum_i \frac{q_i}{\omega} \delta(S - S_i). \quad (33)$$

Подставив уравнение (33) в (30), получим

$$u \sum_i \frac{q_i}{\omega} \delta(S - S_i) = \frac{g}{2} \frac{\partial \psi}{\partial S} + K_1 \sqrt{\frac{u}{R^2}} + \frac{|u|}{R} u. \quad (34)$$

Проинтегрировав уравнение (34), получим

$$u = u_0 - \sum \frac{q_i}{\omega} I(S - S_i), \quad (35)$$

где функция $(S - S_i)$

$$I(S - S_i) = \begin{cases} 0 & \text{если } S < S_i \\ I & \text{если } S > S_i \end{cases} \quad (36)$$

Тогда из (35) следует, что

$$u(S_m, t) = u_m = u_0 - \sum_{i=1}^m \frac{q_i}{\omega} I(S_m - S_i), \quad (37)$$

где u_0 - скорость движения воды в трубе до первого отверстия,

$$u_0 = u(S_0, t). \quad (38)$$

Величину вытекающих из отверстий расходов определим по уравнению Бернулли

$$\frac{u_i^2}{2g} + Zt_i + \frac{P_i - P_a}{\gamma} = \frac{V_i}{2g} + Zt_i + \frac{P_a}{\gamma}, \quad (39)$$

или

$$\frac{u_i^2}{2g} + \frac{P_i}{\gamma} = \frac{V_i}{2g} \quad (40)$$

Из (22) получим скорость истечения из i -го отверстия трубопровода

$$V_i = \sqrt{u_i^2 + 2g \frac{F_i}{\gamma}} \quad (41)$$

С учетом обозначения $\psi = Zt + \frac{p}{\gamma}$

$$V_i = \sqrt{u_i^2 + 2g (\psi_i - Zt_i)} \quad (42)$$

Расход, вытекающий из i -го отверстия, равен

$$q_i = \varphi_i \pi r_i^2 \sqrt{u_i^2 + 2g (\psi_i - Zt_i)}, \quad (43)$$

где φ_i — коэффициент сжатия i -ой струи.

Поскольку поставленная задача решается для стационарных условий, то $\frac{\partial u}{\partial t} = 0$. Подставив уравнение (35) в (34), получим

$$\begin{aligned} & u_0 \sum_i \frac{q_i}{\omega} \delta(s-s_i) - \sum_i \sum_j \frac{q_i}{\omega} \frac{q_j}{\omega} I(s-s_i) \delta(s-s_j) = \\ & \frac{g}{2} \frac{\partial \psi}{\partial s} + \frac{K_1 \gamma}{R^2} u_0 - \frac{K_1 \gamma}{R^2} \sum_i \frac{q_i}{\omega} I(s-s_i) + \frac{K_2}{R} \left| u_0 - \sum_i \frac{q_i}{\omega} I(s-s_i) \right| \times \\ & \times \left(u_0 - \sum_i \frac{q_i}{\omega} I(s-s_i) \right). \end{aligned} \quad (44)$$

Будем считать, что скорость движения воды в трубе всегда направлена по оси S , следовательно, можно записать

$$u_0 - \sum_i \frac{q_i}{\omega} I(s-s_i) \geq 0. \quad (45)$$

Уравнение (44) запишется в виде

$$\begin{aligned} \frac{\partial \psi}{\partial s} = & \sum_i \frac{2q_i}{\omega g} \left[u_0 \delta(s-s_i) + \frac{I}{R} \left(\frac{K_1 \gamma}{R} + 2K_2 u_0 \right) I(s-s_i) \right] - \\ & - \sum_i \sum_j \frac{2q_i q_j}{g \omega^2} \left[\frac{K_2}{R} I(s-s_i) I(s-s_j) + I(s-s_i) \delta(s-s_j) \right] - \\ & - \frac{2K_1 \gamma}{g R^2} u_0 - \frac{2K_2}{g R} u_0^2 \end{aligned} \quad (46)$$

Принтегрируем (46) и, учитывая, что

$$\int \delta(S - S_i) dS = I(S - S_i) \quad (47)$$

$$\int I(S - S_i) dS = (S - S_i) I(S - S_i) \quad (48)$$

$$\begin{aligned} \int I(S - S_i) I(S - S_j) dS = (S - \max(S_i; S_j)) \times \\ \times I(S - \max(S_i; S_j)) \end{aligned} \quad (49)$$

$$\int I(S - S_i) \delta(S - S_j) dS = I(S - S_i) I(S - S_j), \quad (50)$$

получим

$$\begin{aligned} \psi(S) = \psi_0 + \sum_i \frac{2q_i}{\omega g} \left[u_0 + \left(\frac{K_1 v}{R} + 2K_2 u_0 \right) \frac{(S - S_i)}{R} \right] I(S - S_i) - \\ - \sum_i \sum_j \frac{2q_i q_j}{g \omega^2} \left[\frac{K_2}{R} (S - \max(S_i; S_j)) I(S - \max(S_i; S_j)) + \right. \\ \left. + (S - S_i) I(S - S_j) \right] - \frac{2K_1 v}{g R^2} u_0 (S - S_0) - \frac{2K_2}{g R} u_0^2 (S - S_0), \end{aligned} \quad (51)$$

где $\psi_0 = \psi(S_0)$. (52)

При решении задачи появились две произвольные постоянные u_0 и ψ_0 . Поэтому для однозначного решения задачи с неизвестными q_i , u_i , ψ_i , помимо уравнений (35), (43), (51), необходимо задать еще два условия.

Будем считать, что нам задан суммарный расход, выходящий из отверстий $Q_{отв}$

$$Q_{отв} = \sum_{i=1}^n q_i = Q_T, \quad (53)$$

и расход волны, который выходит из конца трубы Q_n (если таковой имеется).

Тогда входной расход должен быть равен суммарному расходу,

вытекающему из конца трубы. В частном случае Q_n может быть равен нулю

$$Q(s_0) = Q_0 = \sum_{i=1}^n q_i + Q_n. \quad (54)$$

Для нахождения выражений втекающего и вытекающего расходов обратимся к уравнению (34), где при стационарных условиях $\frac{\partial u}{\partial t} = 0$.

Из уравнения (35) следует

$$u_i = u_0 - \frac{1}{\omega} \sum_{i=1}^n q_i I(s - s_i), \quad (55)$$

а из уравнения (42)

$$u_i^2 = \frac{q_i^2}{\psi_i^2 \omega_{0i}^2} - 2g(\psi_i - Zt_i). \quad (56)$$

Подставив (55) в (56), получим

$$\left(u_0 - \frac{1}{\omega} \sum_{i=1}^n q_i I(s - s_i)\right)^2 = \frac{q_i^2}{\psi_i^2 \omega_{0i}^2} - 2g(\psi_i - Zt_i). \quad (57)$$

Из (57) определим

$$\psi_i = Zt_i + \frac{q_i^2}{2g \psi_i^2 \omega_{0i}^2} - \frac{1}{2g} \left(u_0 - \frac{1}{\omega} \sum_{j=1}^i q_j I(s_i - s_j)\right)^2. \quad (58)$$

Приравняв выражения (58) и (51), для условия $\psi = \psi_p = \psi(s_p)$ получим

$$\begin{aligned} Zt_p + \frac{q_p^2}{2g \psi_p^2 \omega_{0p}^2} - \frac{1}{2g} \left(u_0 - \frac{1}{\omega} \sum_{j=1}^p q_j I(s_p - s_j)\right)^2 = \\ = \psi_0 + \sum_{i=1}^p \frac{2q_p}{\omega g} \left[u_0 + \left(\frac{K_1 v}{R} + 2K_2 u_0 \right) \frac{(s_p - s_i)}{R} \right] I(s_p - s_i) - \\ - \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^p \frac{2q_i q_j}{g \omega^2} \left[\frac{K_2}{R} (s_p - \max(s_i; s_j)) I(s_p - \max(s_i; s_j)) - \right. \end{aligned}$$

$$-\frac{2K_2}{gR} U_0^2 (S_p - S_0). \quad (59)$$

Равенство (59) при U_0 и ψ_0 позволяет рассчитывать значения величин q_p . Это равенство также предусматривает последовательный расчет расходов, а именно: при расчете q_1 в уравнение (59) войдет только q_1 ; при расчете q_2 - в уравнение войдут только q_1 и q_2 , но значение q_1 войдет уже как известная величина. При расчете q_3 в уравнение (59) войдут значения q_1, q_2, q_3 , но q_1 и q_2 - уже известные величины и т.д. Таким образом, уравнение (59) обладает свойством рекуррентности. В связи с этим его лучше записать в следующем виде:

$$\begin{aligned} Zt_p + \frac{q_p^2}{2g \psi_p^2 \omega_{op}^2} - \frac{I}{2g} \left((U_0 - \frac{I}{\omega} \sum_{j=1}^{p-1} q_j) - \frac{q_p}{\omega} \right)^2 = \\ = \psi_0 + \sum_{i=1}^{p-1} \frac{2q_p}{\omega g} \left[U_0 + \left(\frac{K_1 v}{R} + 2K_2 U_0 \right) \frac{(S_p - S_i)}{R} \right] + \frac{2q_p U_0}{\omega g} - \\ - \sum_{i=1}^{p-1} \sum_{j=1}^{p-1} \frac{2q_i q_j}{g \omega^2} \left[\frac{K_2}{R} (S_p - \max(S_i; S_j)) + I \right] - 2q_p \sum_{j=1}^{p-1} \frac{2q_j}{\omega^2 g} - \\ - \frac{2q_p^2}{\omega^2 g} - \frac{2K_1 v}{gR^2} U_0 (S_p - S_0) - \frac{2K_2}{gR} U_0^2 (S_p - S_0) \quad (60) \end{aligned}$$

Здесь учтено, что все $S_i \leq S_p$ и поэтому все функции вида

$I(S_p - S_i)$ равны единице. Уравнение (59) представляет собой квадратное уравнение относительно q_p

$$\begin{aligned} \left(3 + \frac{\omega^2}{\psi_p^2 \omega_{op}^2} \right) q_p^2 - \left[\frac{U_0}{g \omega} - \frac{3}{g \omega^2} \sum_{j=1}^{p-1} q_j \right] q_p - \\ - \left\{ \left[\frac{U_0^2}{2g} + \psi_0 - Zt_p - \frac{2K_1 v}{gR^2} U_0 (S_p - S_0) - \frac{2K_2}{gR} U_0^2 (S_p - \right. \right. \end{aligned}$$

$$-S_0)] + \sum_{i=1}^{p-1} \frac{2q_p}{\omega g} \left[u_0 + \left(\frac{K_1 v}{R} + 2K_2 u_0 \right) \frac{(S_p - S_i)}{R} \right] -$$

$$- \sum_{i=1}^{p-1} \sum_{j=1}^{p-1} \frac{2q_i q_j}{g \omega^2} \left\{ \frac{3}{2} + 2 \left[\frac{K_2}{R} (S_p - \max(S_i; S_j)) \right] \right\} = 0 \quad (61)$$

Введём обозначения:

$$A_p = \frac{\left(3 + \frac{\omega^2}{\varphi_p^2 \omega_{0T}^2} \right)}{2q_p \omega^2} \quad (62)$$

$$B_p = \left[\frac{u_0}{g \omega} - \frac{3}{g \omega^2} \sum_{j=1}^{p-1} q_j \right] \quad (63)$$

$$C_p = \left\{ \left[\left(\frac{u_0^2}{2g} + \psi_0 - Z t_p \right) - \frac{2K_1 v}{g R^2} u_0 (S_p - S_0) - \frac{2K_2}{g R} u_0^2 (S_p - S_0) \right] + \right.$$

$$+ \sum_{i=1}^{p-1} \frac{2q_p}{\omega g} \left[u_0 + \left(\frac{K_1 v}{R} + 2K_2 u_0 \right) \frac{(S_p - S_i)}{R} \right] -$$

$$\left. - \sum_{i=1}^{p-1} \sum_{j=1}^{p-1} \frac{2q_i q_j}{g \omega^2} \left\{ \frac{3}{2} + 2 \left[\frac{K_2}{R} (S_p - \max(S_i; S_j)) \right] \right\} \right\} \quad (64)$$

Тогда уравнение (61) запишется в виде

$$A_p q_p^2 - B_p q_p - C_p = 0. \quad (65)$$

С учетом того, что $q_p \geq 0$, решение уравнения (65) рассматривается в виде

$$q_p = \frac{B_p + \sqrt{B_p^2 + 4A_p C_p}}{2A_p} \quad (66)$$

при $C_p = 0$.

Скорость в начале трубопровода $U_0 = U(S_0)$ равна

$$U_0 = \frac{Q_{от} + Q_n}{\omega} \quad (67)$$

Кроме того,

$$Q_{от} = \sum_{p=1}^n q_p(\psi_0, U_0). \quad (68)$$

Уравнения (66) и (67) служат для определения U_0 и ψ_0 при заданных $Q_{от}$ и Q_n . Уравнение (67) не может быть решено аналитическим способом относительно ψ_0 . Величина ψ_0 находится итерационным способом, методом последовательного приближения, а Q_n — расход воды, выходящий из конца трубы — величина заданная.

Обозначим для K -го приближения

$$Q_n^{(K)} = \sum_{i=1}^n q_i^{(K)} \quad (69)$$

и введём величину $E^{(K)}$

$$E^{(K)} = \frac{(Q_n^{(K)} - Q_t)}{Q_t}. \quad (70)$$

Тогда

$$\psi_0^{(K+1)} = Zt_0 + (1 - E^{(K)}) (\psi_0^{(K)} - Zt_0), \quad (71)$$

где Zt_0 — отметка центра первого отверстия.

Процесс сходится, когда $|\Sigma^{(K)}| < E_n$ заданного числа.

За начальное значение $\psi_0^{(1)}$ принято

$$\psi_0^{(1)} = Zt_0 + \left(\frac{Q_t}{\sum_{i=1}^n \psi_i \omega_{от}} \right)^2 / 2g + \frac{2U_0}{gR} \left(\frac{K_1 v}{R} + K_2 U_0 \right) (S_n - S_0). \quad (72)$$

Далее

$$K_1 \approx 3; K_2 \approx \frac{\lambda}{8}, \text{ где } \lambda - \text{коэффициент гидравлического}$$

трения.

Для определения величин φ_i , ψ_i , U_i , ψ_0 , U_0 и максимально допустимой длины трубопровода L_{max} из условия равномерности распределения поливных струй по длине трубопровода нами была составлена программа расчета на языке *TURBO PASCAL-5*

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лактаев Н.Т. Теоретическое обоснование технологии полива сельскохозяйственных культур по бороздам.-М.: Колос, 1985.

2. Павлов Г.Н., Хорст М.Г. Рекомендации по гидравлическому расчету гибких поливных трубопроводов с использованием программируемых микрокалькуляторов типа БЗ-34 и МК-52.-Ташкент: НПО САНИИРИ, 1988.

3. Петрухно А.И. Гидравлический расчет гибких капроновых трубопроводов//Гидротехника и мелиорация.- 1985.- № 5.

4. Чугаев Р.Р. Гидравлика: Учебн. для вузов.- Л.: Энергоиздат, 1982.

ИЗМЕРЕНИЕ ФАКТИЧЕСКОГО ЗАИЛЕНИЯ
ОРОСИТЕЛЬНЫХ И ДРЕНАЖНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ БЕЗ ИХ
ВСКРЫТИЯ

Состояние полости закрытой дрены и других трубопроводов обследуется путём промывки, измерения расхода воды, вскрытия отдельных её участков и визуального осмотра или путём подачи воды в полость дрены (с фиксацией объема и времени заполнения и с последующим расчетом расстояния от места подачи воды в дрену до места заиления) /1;2/.

Существуют также способы определения места заиления дрены с помощью специальной электронной аппаратуры, например, путём направления в полость дренажного трубопровода электромагнитных или акустических волн с фиксацией их уровня на поверхности земли над дренированным полем. При этом место заиления дрены определяется по резкому снижению уровня сигнала /3;4;5/.

К недостаткам электронных приборов, используемых для определения места или степени заиления дрены, следует отнести сложность их эксплуатации (как переносного устройства), потребность в источнике электропитания и специального протягивающего механизма, а также влияние глубины заложения трубопровода.

Способ определения места заиления дрены путем подачи воды в ее полость более прост (по сравнению с применением электронной аппаратуры) и не зависит от глубины расположения дрены.

Все эти способы требуют наличия дренажпромывочной техники, включающей рукава с реактивной головкой и насосное оборудование, для работы которого необходимо большое количество воды.

В НИО САНИМРИ (авторами) разработан новый метод, позволяющий без вскрытия трубопровода определять степень заиления труб дрены на любом участке. Сущность его заключается в том, что вода в полость дрены подается в гибком рукаве, при этом фиксируются ее объем и длина гибкого рукава, введенного на L -ом участке дрены.

Гибкий рукав, продвигаясь в дренах, выворачивается и раскладывается, заполняя свободную полость дренажных труб. Находящиеся перед ним воздух и вода отводятся дренажной трубкой, подаваемой вместе с гибким рукавом. Расход воды, поданной для выворачивания гибкого рукава на i -ом участке трубопровода, измеряется с помощью бачка-расходомера, периодически заполняемого из цистерны. Длина гибкого рукава, вошедшего в полость дрена, фиксируется линейкой и прищепкой.

Диаметр гибкого рукава равен номинальному диаметру дрена или несколько (на 3-5%) больше его, длина имеет запас на барабане.

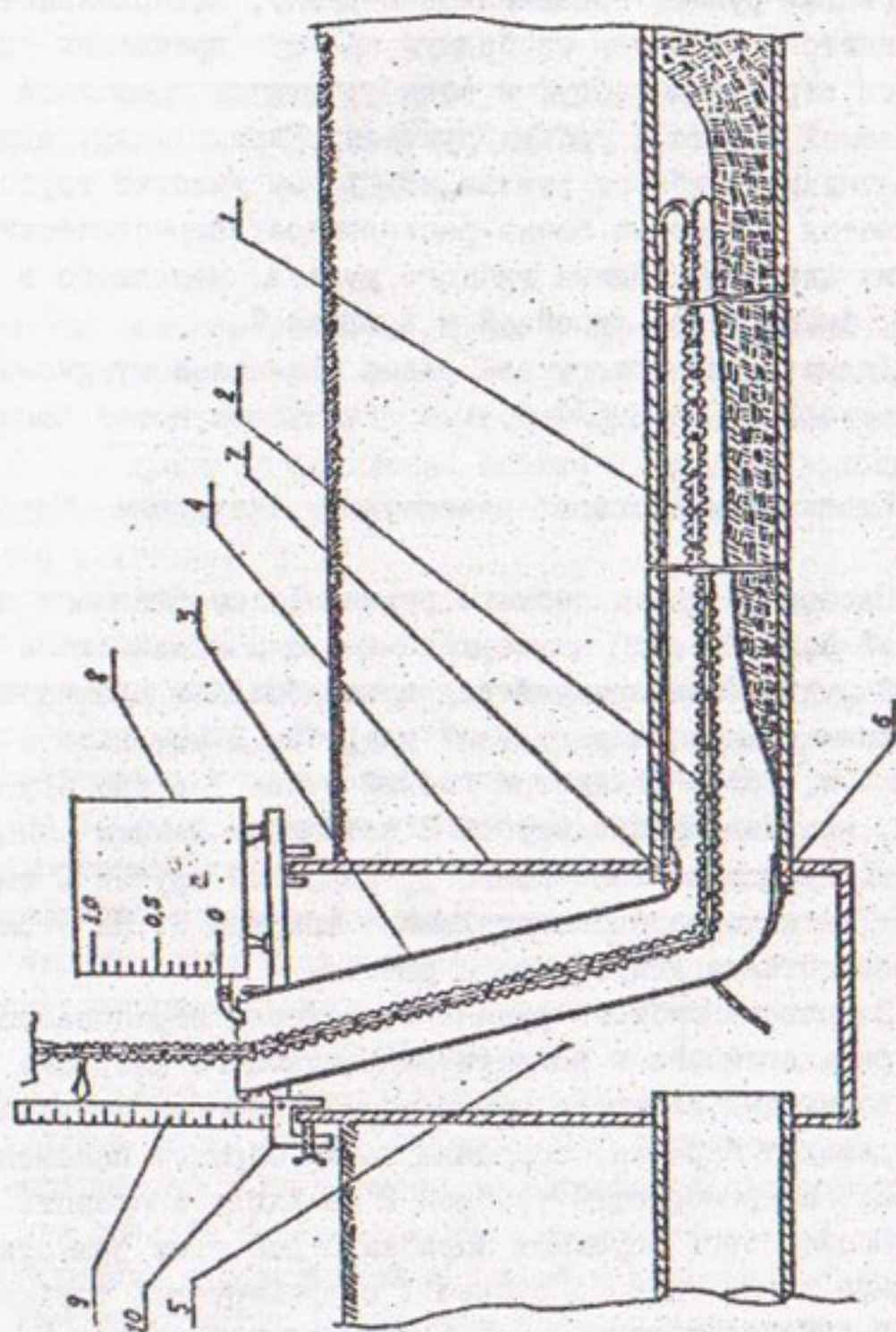
Предлагаемый способ реализуется следующим образом (рисунок).

Свободный конец гибкого рукава I, снабженного дренирующей трубкой 2, "одевают" на верхний конец направляющего патрубка 3. Гибкий рукав I выворачивается и освобождает дренирующую трубку 2. Нижним концом направляющий патрубок 3 опускают в свободную трубу 4 и, когда покажется гибкий рукав I с дренирующей трубкой 2, направляющий патрубок 3 вставляют нижним концом в исток дрена 6 и одновременно конец дренирующей трубки 2 выводят через зазор 7 в полость наблюдательного колодца 5. На этом заканчивается подготовка устройства к работе.

В полость гибкого рукава I, которая образовалась в результате раскладки его в полости направляющего патрубка 3, подают воду до уровня верхнего конца направляющего патрубка 3, при этом придерживают барабан, сохраняя таким образом положение гибкого рукава I с дренирующей трубкой 2 на входе в полость дрена 6.

После этого опускают барабан с расчетом размотки на определенную длину гибкого рукава I с дренирующей трубкой 2. При этом под напором воды рукав 2 раскладывается и заполняет свободную полость на i -ом участке дрена 6. Фиксируется уровень воды в направляющем патрубке 3, который опускается до определенной отметки.

Далее уровень воды поднимают до уровня верхнего конца направляющего патрубка 3 путём подачи воды из бачкового расходомера 8 и фиксируют объём подаваемой воды.



Устройство для определения степени заполнения оросительных и дренажных трубопроводов

Длину введенного в полость дрены 6 на i -ый участок гибкого рукава 1, снабженного дренирующей трубкой 2, фиксируют лентой 9, прикрепленной с помощью зажима 10 к обсадной трубе колодца 4. Затем, зная объем подаваемой в гибкий рукав воды и его длину, а также номинальную площадь поперечного сечения дрены, определяют степень заилиenia дрены на i -ом участке по формуле

$$K_i = \left[1 - \frac{2}{F} \left(\frac{W_i}{L_i} - f_{т.г.} - \pi \cdot D_{ср.} \cdot \delta \right) \right] \cdot 100\%, \quad (1)$$

- где K_i - осредненная степень заилиenia дрены на i -ом участке, %;
- F - номинальная площадь поперечного сечения трубопровода дрены, м^2 ;
- L_i - длина гибкого рукава, введенного в полость дрены на i -ом участке, м;
- W_i - объем воды, подаваемой в гибкий рукав, м³;
- 1 - коэффициент чистой дрены;
- 2 - коэффициент, учитывающий объем, занимаемый гибким рукавом при двухслойной его раскладке;
- $f_{т.г.}$ - площадь поперечного сечения дренажной трубки, м^2 ;
- $D_{ср.}$ - наружный диаметр гибкого рукава, м;
- δ - толщина материала гибкого рукава, м.

Аналогично производятся измерения на участках дрены

$$i_1, i_2, i_3, \dots, i_n.$$

После определения степени заилиenia полости дрены вводят всасывающий рукав насоса в полость гибкого рукава и откачивают воду в цистерну или другую ёмкость для повторного использования.

Одновременно с откачкой воды из полости гибкого рукава производят намотку гибкого рукава с дренирующей трубкой на барабан.

Предлагаемый способ и устройство для его осуществления позволяют определить степень заилиenia дрены не только на каком-то определенном её участке, но и по всей длине дрены при её частичном заилиении и закупорке.

Осуществить предлагаемый способ можно без затруднений при наличии насосного оборудования для забора воды из источника; бачкового расходомера, фиксирующего объём подаваемой воды; устройства для фиксации длины введенного в дрена гибкого рукава.

Гибкие рукава и дренирующая трубка (шланг с перфорацией) выпускаются промышленностью.

Предлагаемый способ позволяет эффективно использовать и промывочную жидкость: можно выделить, как минимум, 50 % дрена с частично заиленной полостью, на очистку которых потребуется наполовину меньше промывочной жидкости.

Описанный выше способ даёт возможность судить о техническом состоянии трубопровода по всей его длине.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. А.С. № 1081270А Е02В11/00. Способ определения месторасположения засорения дрена/Касьянов А.Е. Оpubл. 23.03.84. Бюл. № 11. 1984.
2. Руководство по дренажу. - М.: Колос, 1978.
3. Пукштас Р. и др. Прибор для обнаружения места засорения дрена//Гидротехника и мелиорация. - 1973. - № 3.
4. А.С. № 279445. Прибор для обнаружения закупорки дрена/Бенцман М.Б., Тогальский Е.Н. Оpubл. 21.08.70. Бюл. № 26. 1969.
5. А.С. № 1067135. Прибор для обнаружения закупорки дрена/Мушняк А.З. и др. Оpubл. 15.01.84. Бюл. № 2. 1984.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Характеристики критериев надёжности гидротехнических сооружений рассчитываются по данным наблюдений за их отказами или отказами аналогичных сооружений за предыдущие годы. При этом практически невозможно получить данные об отказах всех взятых под наблюдение сооружений.

В связи с этим интенсивность отказов следует определять по зависимости $\lambda = \frac{1}{\theta}$. Наиболее достоверное значение параметра θ устанавливается по зависимостям:

$$\text{для невозстанавливаемых объектов } \theta = \frac{1}{z} \left[\sum_{i=1}^n t_i + (n-z)t_z \right],$$

$$\text{для восстанавливаемых объектов } \theta = \frac{n \sum_{i=1}^n t_i}{z}.$$

Здесь z - число отказавших объектов;

n - число взятых под наблюдение объектов.

Вероятность безотказной работы определяется по экспоненциальному распределению $P(t) = e^{-\lambda t}$ или по распределению Вейбулла $P(t) = e^{-\lambda t^k}$, если значения λ определены в несколько сроков.

Интенсивность отказов в распределении Вейбулла равна

$$\lambda(t) = \lambda_0 k t^{k-1}.$$

Чтобы определить параметры λ_0 и k , надо решить систему уравнений

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial A} \left[\ln \lambda(t) - A - (k-1) \ln t \right]^2 = 0 \\ \frac{\partial}{\partial k} \left[\ln \lambda(t) - A - (k-1) \ln t \right]^2 = 0 \end{cases}$$

где $A = \ln (\lambda_0 \cdot k)$.

Решив систему уравнений, получим

$$k = 1 + \frac{n \sum_{i=1}^n \ln \lambda(t) \ln t - \sum_{i=1}^n \ln \lambda(t) \sum_{i=1}^n \ln t}{n \sum_{i=1}^n (\ln t)^2 - \left(\sum_{i=1}^n \ln t \right)^2}$$

$$\lambda_0 = \frac{1}{k} \exp \left[\frac{\sum_{i=1}^n \ln \lambda(t) \sum_{i=1}^n (\ln t)^2 - \sum_{i=1}^n \ln \lambda(t) \ln t \cdot \sum_{i=1}^n \ln t}{n \sum_{i=1}^n (\ln t)^2 - \left(\sum_{i=1}^n \ln t \right)^2} \right]$$

Например, на Ташкентском водохранилище за 12 лет наблюдений зафиксированы II отказы пьезометров из 28 имеющихся.

Математическое ожидание среднего времени безотказной работы $\theta = \frac{28}{12} = 30,5$ года.

Используя экспоненциальное распределение, получим вероятность безотказной работы

$$P(t) = \exp \left(- \frac{1}{30,5} t \right) = \exp (-0,033 t).$$

Ниже приводятся данные об отказах пьезометров на ряде водохранилищ Узбекистана.

Кол-во лет эксплуатации	2	5	6	8	10	14	15	21	35
Интенсивность отказов	0,041	0,041	0,042	0,047	0,051	0,051	0,052	0,049	0,050

По этим данным и приведенным формулам $\lambda = 0,0345$ и $k = 1,095$. Следовательно, $P(t) = \exp(-0,0345 t^{1,095})$. Среднее время безотказной работы составляет

$$T_{\text{ср.}} = \frac{\mathcal{T} \left(\frac{1}{1,095} + 1 \right)}{0,0345 \frac{1}{1,095}} = 20,9 \text{ лет}$$

Определение численных значений критериев надежности пьезометров даёт возможность планировать мероприятия по их восстановлению и эксплуатации.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Мирцхулава Ц.Е. Надежность гидромелиоративных сооружений. - М.: Колос, 1974.- 273 с.
2. Справочник по надежности. - Мир, 1969. - Т. I.- 340 с.

Данг Суан Хоа

Аль Али Фисал

Ш.Х.Рахимов, д.т.н.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СИСТЕМЫ "НАСОСНАЯ СТАНЦИЯ-ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СЕТЬ"

С разработкой математического моделирования объектов систем машинного водоподъёма (СМВ) появилась возможность моделирования режимов их работы для определения режимов с наименьшими потерями электроэнергии. Из объектов СМВ наиболее важными, определяющими потребление, перерасход и экономию электроэнергии, являются синхронные электродвигатели насосных агрегатов и питающая электрическая сеть.

В работе [I] приведены результаты разработки упрощенных математических моделей синхронных электродвигателей насосных агрегатов с системой автоматического регулирования возбуждения (АРВ) и питающей электрической сети.

Уравнение движения синхронного электродвигателя принято в виде

$$\frac{T_s}{\omega_0^2} \frac{d^2 \delta}{dt^2} = P_g - P_H, \quad (I)$$

где $T_s = J \omega_0^2$ - постоянная инерции электродвигателя;

J - момент инерции ротора электродвигателя и насоса; ω - синхронная скорость вращения ротора электродвигателя; δ - угол поворота системы координат $d-q$ по отношению к синхронно вращающейся системе координат $P_g = \frac{VE_d}{X_d} \sin \delta + \frac{V^2}{2} \left(\frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d} \right) \sin 2\delta + A_s$ - синхронная электромагнитная мощность электродвигателя; V - напряжение питающей электрической сети; E_d - ЭДС электродвигателя в переходном режиме; X_d, X_q - синхронное реактивное сопротивление электродвигателя по осям d и q ; A_s - асинхронная электромагнитная мощность электродвигателя; S - скольжение; P_H - мощность сопротивления насоса.

Уравнение переходного процесса в обмотке возбуждения электродвигателя имеет вид

$$T_{d_0} \frac{dE'_d}{dt} = E_{d_0} - E'_d, \quad (2)$$

где T_{d_0} - постоянная времени обмотки возбуждения электродвигателя при разомкнутой обмотке статора; $E'_d = \frac{X'_d}{X_d} E_d + \frac{X_d - X'_d}{X_d} V \cos \delta$.

$V \cos \delta$ - ЭДС электродвигателя за переходной реактивностью; X'_d - переходное реактивное сопротивление электродвигателя по оси d ; $E_{d_0} = K V_g$ - ЭДС электродвигателя, соответствующая напряжению возбудителя в установившемся режиме; K - коэффициент пропорциональности между напряжением возбуждения и ЭДС электродвигателя; V_g - напряжение возбуждения.

Переходный процесс электромашиного возбудителя постоянно-го тока описывается уравнением

$$T_g \frac{dV_g}{dt} = -V_g + K V_p, \quad (3)$$

где T_g - постоянная времени обмотки возбуждения возбудителя;

K_g - коэффициент усиления по напряжению возбудителя; V_p - напряжение на выходе АРВ.

Закон регулирования возбуждения, задаваемый системой АРВ, выражается уравнением

$$V_p = K_\varphi \cdot \varphi, \quad (4)$$

где K_φ - коэффициент усиления регулятора; φ - угол фазы между током статора электродвигателя и напряжением сети.

Уравнения питающей электрической сети имеют вид

$$\begin{aligned} P_g &= P_A; \\ Q_g &= Q_A, \end{aligned} \quad (5)$$

где $P_A = \frac{V_{ш} V}{X_c} \sin \delta_A$ - активная мощность, поступающая по линии электропередачи; $V_{ш}$ - напряжение на шинах насосной станции;

X_c - реактивное сопротивление электрической сети; δ_A - угол между векторами $V_{ш}$ и V из векторной диаграммы электродвигателя с учетом электрической сети [1]; $Q_g = \frac{V_{ш} E_d}{X_d} \cos \delta - \frac{V_{ш}^2}{X_d}$ - реактивная мощность электродвигателя; $Q_A = \frac{V_{ш}^2}{X_c}$ -

$-\frac{V_{ur} \cdot V}{X_c} \cdot \cos \delta$ — реактивная мощность, передаваемая по линии электропередачи.

В работе [2] осуществлена разработка более полных математических моделей объектов СМВ. Уравнение движения ротора синхронного электродвигателя принято в виде

$$T_s \frac{d^2 \delta}{dt^2} = \omega_s^2 M_g - \omega_s^2 M_H, \quad (6)$$

где $M_g = P_g / \omega$ — вращающийся момент электродвигателя; $P_g = E_d'' I_d + E_q'' I_q$ — электромагнитная мощность электродвигателя; M_H — момент сопротивления насоса; ω — угловая скорость вращения ротора; E_d'' , E_q'' , I_d , I_q — сверхпереходные ЭДС и токи электродвигателя по d - q осям.

Переходные процессы в синхронном электродвигателе описываются системой следующих уравнений:

$$\begin{aligned} V_d &= E_d'' - X_q'' I_q; \\ V_q &= E_q'' - X_d'' I_d, \end{aligned} \quad (7)$$

где V_d , V_q , X_d'' , X_q'' — фазные напряжения и сверхпереходные сопротивления электродвигателя по d - q осям.

Для описания переходного процесса в демпферных обмотках электродвигателя используются уравнения

$$\begin{aligned} \frac{dE_d''}{dt} &= \frac{1}{T_{d_0}''} [E_q' - E_q'' - (X_d - X_d'') I_d]; \\ \frac{dE_q''}{dt} &= \frac{1}{T_{q_0}''} [(X_q - X_q'') I_q - E_d''], \end{aligned} \quad (8)$$

где T_{d_0}'' , T_{q_0}'' — постоянные времени демпферной обмотки по d - q осям; E_q' — переходная ЭДС, соответствующая оси q .

Уравнение переходного процесса в обмотке возбуждения электродвигателя принято в виде

$$\frac{dE_q'}{dt} = \frac{1}{T_{d_0}} [E_{q_0} - E_q' - (X_d - X_d') I_d], \quad (9)$$

где E_{q_0} — ЭДС электродвигателя, пропорциональная току возбуждения.

Уравнение переходного процесса в возбудителе имеет вид

$$\frac{dE_{qe}}{dt} = \frac{1}{T_\theta} (E_{qe0} + V_p - E_{qe}), \quad (10)$$

где E_{qe0} , E_{qe} - установившаяся и переходная ЭДС возбудителя; V_p - напряжение регулятора возбуждения.

Уравнение переходного процесса в системе АРВ

$$\frac{dV_p}{dt} = \frac{1}{T_p} (V_{p0} - V_p), \quad (11)$$

где T_p - постоянная времени регулятора возбуждения; V_{p0} - напряжение на входе регулятора.

Закон регулирования, задаваемый системой АРВ, выражается уравнением

$$V_{p0} = K_u \Delta V + K'_u \frac{dV}{dt} + K_I \Delta I + K'_I \frac{dI}{dt}, \quad (12)$$

где ΔV , $\frac{dV}{dt}$, ΔI , $\frac{dI}{dt}$ - отклонения и производные напряжения и тока электродвигателя; K_u , K'_u , K_I , K'_I - коэффициент усиления регулятора по отклонению и производным по времени напряжения и тока электродвигателя.

Для совместного рассмотрения уравнений синхронного электродвигателя и питающей электрической сети уравнения последней представлены во вращающихся координатах $d-q$:

$$\begin{aligned} V_d &= b_1 V_0 \cos \delta - z_\lambda I_d + x_\lambda I_q; \\ V_q &= b_2 V_0 \sin \delta - z_\lambda I_q + x_\lambda I_d, \end{aligned} \quad (13)$$

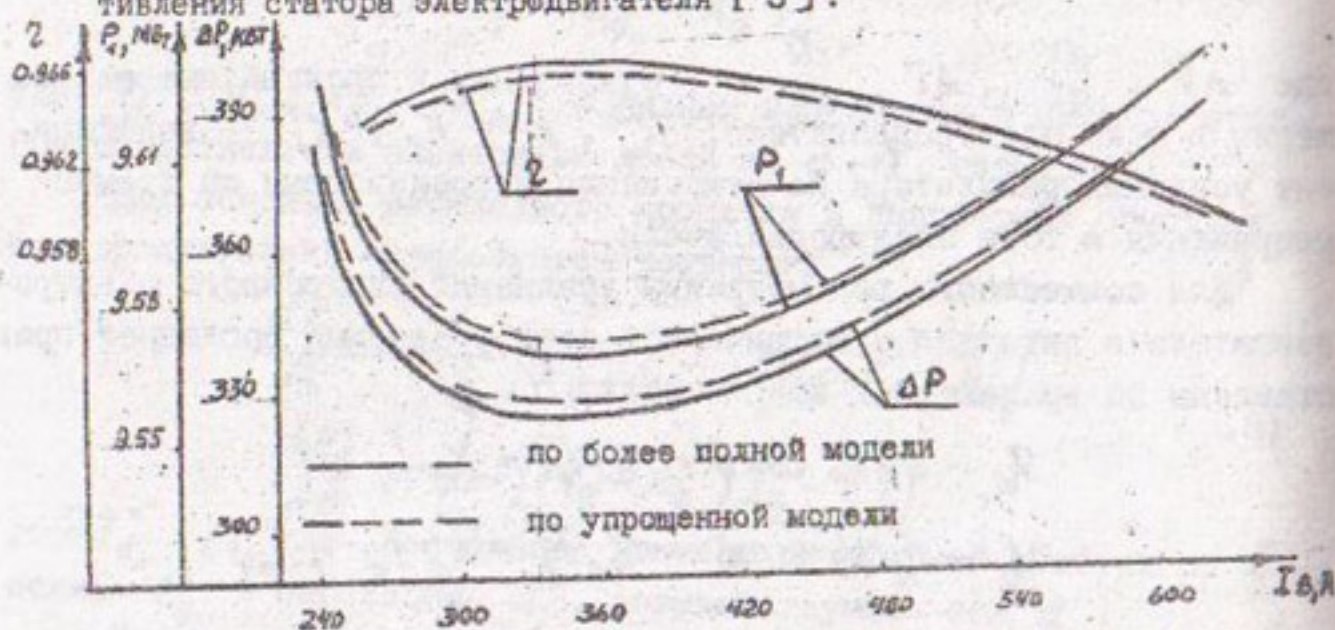
где b_1 , b_2 - составляющие комплексных коэффициентов; V_0 - напряжение сети при синхронной скорости вращения; z_λ , x_λ - активное и реактивное сопротивление сети.

Сравнение упрощенных и более полных математических моделей синхронных электродвигателей насосных агрегатов с системой АРВ и питающей электрической сети показывает, что во втором случае учитываются переходные процессы в статоре и демпферных обмотках

Электродвигателя, а также в обмотке возбуждения электродвигателя. Принят более сложный закон регулирования системы АРВ. Питаящая электрическая сеть представлена уравнениями четырехполюсника, что наиболее полно описывает её и связь с электродвигателем.

На основе разработанных математических моделей режимов работы насосов и синхронных электродвигателей получены зависимости потребляемой активной мощности P_1 , потерь в электродвигателе ΔP и КПД η от тока возбуждения I_B электродвигателя типа ВДС-375/125-28УЧ, установленного в насосных агрегатах Каршинского магистрального канала: $P_{ном} = 12,5$ мВт; $I_{ст} = 825$ А; $V = 10$ кВ; $X_d' = 1,2343$; $X_d'' = 0,3321$, $\Delta P_{мах} = 142$ кВт, $\Delta P_{доб} = 106,3$ кВт; $\Delta P_{возб} = 98,3$ кВт; $\Delta P_{ст} = 95$ кВт.

Результаты расчетов представлены в виде зависимостей на рисунке. Анализ полученных зависимостей показывает, что использование разработанных моделей даёт результаты, незначительно отличающиеся друг от друга. Их различие объясняется полнотой описываемых математических моделей. При уменьшении мощности синхронных электродвигателей разница в результатах будет увеличиваться, так как сказывается влияние величины активного сопротивления статора электродвигателя [3].



Зависимость потребляемой активной мощности, потерь и КПД синхронного электродвигателя ВДС-375/125-28УЧ от тока возбуждения.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Рахимов Ш.Х. Управление системами машинного водоподъёма. - Ташкент: Фан, 1986. - 137 с.
2. Абуталиев Ф.Б., Рахимов Ш.Х., Бегимов И. Оптимальное управление системами машинного водоподъёма. - Ташкент: Фан, 1992. - 152 с.
3. Вайнер И.Г., Гуревич Ю.Е., Хачатуров А.А. Влияние учета переходных процессов в статоре на расчеты устойчивости синхронных машин // Труды / ВНИИЭ. - 1967. - Вып. 29. - С. 25-30.

УДК 632.6:628.8

Содействие решению проблем бассейна Аральского моря: корни и методы работы Всемирного банка. Соколов В.И.

Сборник научных трудов, Ташкент, САНИИРИ, 1994

На основе аналитического обзора публикаций Всемирного банка описаны процедуры оказания Банком содействия инвестированию проектов. Рассматриваются некоторые методические и организационные подходы Всемирного банка к проектам по программе бассейна Аральского моря.

Библ.3, иллюстр.1.

УДК 631.6:631.559.2

Оптимальное распределение дефицитной оросительной воды в условиях орошаемых земель, подверженных засолению (постановка задачи и основы решения). Михайлов В.В.

Сборник научных трудов, Ташкент, САНИИРИ, 1994

Сформулирована задача и предложена экономико-математическая модель оптимизации распределения дефицитной оросительной воды в условиях орошаемых земель, подверженных засолению. Рассматриваются алгоритмы определения основных факторов, учитываемых в модели.

Библ.24.

УДК 633/635:519.86

К вопросу о выборе оптимальной структуры растениеводства в Республике Узбекистан. Роценко Е.М.

Сборник научных трудов, Ташкент, САНИИРИ, 1994

Освещаются основные вопросы выбора оптимальной структуры растениеводства в Республике Узбекистан в условиях перехода к рыночной экономике и укрепления государственной независимости.

Задача решается путём создания экономико-математической модели. Описаны аналитические и статистические методы и процесс экономико-математического моделирования.

Библ.4.

УДК 631.67.03.001.18

Условия применимости нульмерных моделей для прогнозирования качества воды. Дермоян Т.А., Крутов А.Н.

Сборник научных трудов, Ташкент, САНИИРИ, 1994

В статье определены границы применимости нульмерных моделей при расчетах перемешивания консервативных и неконсервативных примесей.

Библ.1.

УДК 556.004.12

Пространственное распределение характеристик качества воды и принципы управления ими. Тимошенко С.Ю., Савицкий А.Г.

Сборник научных трудов, Ташкент, САНИИРИ, 1994

На примере Амударьи рассматривается пространственное распределение характеристик качества по основным речным системам Средней Азии.

Описаны методы коррекции наборов хронологических данных, программы, обеспечивающие управление качеством воды в Амударье. Разобран пример транзитного пропуска загрязненных вод через Тюя-мун в Арал.

Библ.3, илл.5.

УДК 626.83

Расчет геометрических параметров всасывающих труб передвижных автоматизированных установок, оборудованных осевыми насосами. Усманов Р.А., Беглов И.Ф.

Сборник научных трудов, Ташкент, САНИИРИ, 1994

В статье приводится усовершенствованная методика расчета всасывающих труб с приподнятым коленом для автоматизированных установок с осевыми насосами за счет использования в качестве исходных данных паспортных кавитационных характеристик насоса и коэффициента откоса восходящей части трубопровода, а также за счет дифференциации диаметров и применения ПЭВМ.

Библ.5, илл.3.

УДК 681.5

Оптимизация внутростанционного режима крупных насосных станций. Рузиев У.Т., Бегимов И.

Сборник научных трудов, Ташкент, САНИИРИ, 1994

В статье рассматривается разработка метода оптимального управления внутростанционным режимом на основе теории выбора. Определяются параметры управления насосными агрегатами. Дается анализ их характеристик, задается критерий оптимизации и ограничения. Приводится метод решения оптимизационной задачи.

Библ.6

УДК 681.5

Оптимальное управление типовым элементом системы машинного водоподъема. Рузиев У.Т.

Сборник научных трудов, Ташкент, САНИИРИ, 1994

В статье исследуется вопрос оптимального управления типовым элементом "насосная станция-магистральный канал-насосная станция" в системах машинного водоподъема. Определена постановка задачи оптимизации и разработан метод решения, основанный на теории оптимального управления системами с распределенными параметрами.

Библ.4, иллюстр.1

УДК 626.83.004

Экспериментальные исследования поля скоростей перед рабочим колесом насоса ОПВ-260 ЮМ. Цурикова Е.Г., Усманов А.У.

Сборник научных трудов, Ташкент, САНИИРИ, 1994

В статье описана экспериментальная установка для исследования поля скоростей потока перед входом на рабочее колесо насоса. Сделана попытка оценить равномерность поля скоростей. Приводятся некоторые результаты экспериментальных исследований поля скоростей потока перед входом на рабочее колесо насоса.

Библ.9, иллюстр.8

УДК 626.862.4

Использование оптико-электронных систем с инфракрасным излучением при строительстве закрытого горизонтального дренажа на орошаемых землях. Попадок И.О., Ким В.Ф.

Сборник научных трудов, Ташкент, САНИИРИ, 1994

В статье обоснована необходимость соблюдения точности геометрических параметров сооружения. Решение задачи возможно с помощью оптико-электронной системы ПУД-Н-Г.

Библ.5, иллюстр.1.

УДК 626.83.004

К вопросу о технических предложениях по повышению надежности водозабора насосных станций КМК. Цурикова Е.Г., Усманов Р.А. Сборник научных трудов, Ташкент, САНИИРИ, 1994

Статья включает в себя краткий анализ возникшей необходимости повышения надежности водозабора насосных станций КМК, предложений по повышению устойчивости его работы и работы насосных агрегатов на насосных станциях КМК. Сделан вывод о необходимости улучшения структуры потока перед рабочим колесом насоса. Предлагается возможный вариант решения этой проблемы.

Библ.4, иллюстр.5.

УДК 626.842.3

Метод оценки качества увлажнения при поливе по бороздам с учетом оптимизации его параметров. Денисов И.Ю.

Сборник научных трудов, Ташкент, САНИИРИ, 1994

Получен новый способ оценки качества полива, основанный на определении взаимосвязи объективных характеристик качества поверхностного полива (K_p - коэффициент эффективности увлажнения) и оптимальных параметров.

Библ.8.

УДК 556.132

Определение температуры поверхностного слоя воды водохранилищ. Гаппаров Ф.А.

Сборник научных трудов, Ташкент, САНИИРИ, 1994

В статье даны рекомендации по определению температуры поверхностного слоя воды водохранилища по среднемесячной, средне-годовой температурам воздуха и глубине водохранилища.

Библ.5, иллюстр.1.

УДК 532.593.2:626.814

Метод пересчета расчетной скорости ветра в район водохранилища. Гаппаров Ф.А., Белесков Б.И.

Сборник научных трудов, Ташкент, САНИИРИ, 1994

В статье даны рекомендации по пересчету скоростей ветра, определенных по измерениям на метеостанции, в район водохранилища в случае, когда метеостанция удалена от него.

Библ.2, иллюстр.1.

УДК 621.644.3:532

Гидравлический расчет гибких трубопроводов с учетом гидродинамики переменной массы. Денисов И.Ю.

Сборник научных трудов, Ташкент, САНИИРИ, 1994

Получен способ расчета следующих параметров гибкого трубопровода: Q_i - расход из каждого водовыпуска; φ_i - напор над каждым водовыпуском; U_i - скорость течения воды в трубопроводе от водовыпуска к водовыпуску; L_{max} - максимально допустимая длина трубопровода из условия равномерности распределения поливных струй по длине трубопровода.

Библ.4, иллюстр.1.

УДК 626.862.91

Измерение фактического заиливания оросительных и дренажных трубопроводов без их вскрытия. Махмирзаев Ш.

Сборник научных трудов, Ташкент, САНИИРИ, 1994

В статье описан новый метод, позволяющий без вскрытия трубопровода определять степень заиливания труб дрена на любом его участке.

Библ.5, иллюстр.1.

УДК 627.8:6.019

Определение надежности гидротехнических сооружений. Абдураупов Л.Р., Садыков А.Х.

Сборник научных трудов, Ташкент, САНИИРИ, 1994

В статье описана методика расчета характеристик критериев надежности гидротехнических сооружений при отсутствии данных наблюдений за время существования сооружений.

Библ.2.

УДК 626.83.001.57

Математическое моделирование режимов работы системы "насосная станция-электрическая сеть". Данг Суан Хоа, Аль Али Фисал, Рахимов Ш.Х.

Сборник научных трудов, Ташкент, САНИИРИ, 1994

В статье сравниваются результаты разработки упрощенных и более полных математических моделей- синхронных электродвигателей насосных агрегатов и питающей электрической сети. Использование тех или иных моделей даёт различные, но незначительно отличающиеся друг от друга результаты. С ростом мощности синхронных электродвигателей результаты моделирования сближаются.

Библ.3, иллюстр.1.

I. Соколов В.И. Содействие решению проблем бассейна Аральского моря	3
2. Михайлов В.В. Оптимальное распределение дефицитной оросительной воды в условиях орошаемых земель, подверженных засолению.....	II
3. Рощенко Е.М. К вопросу о выборе оптимальной структуры растениеводства в Республике Узбекистан	23
4. Дермоян Т.А., Крутов А.Н. Условия применимости нульмерных моделей для прогнозирования качества воды.....	28
5. Тимошенко С.Ю., Савицкий А.Г. Пространственное распределение характеристик качества воды и принципы управления ими /на примере р.Амударьи/	3I
6. Беглов И.Ф., Усманов Р.А. Расчет геометрических параметров всасывающих труб передвижных автоматизированных насосных установок, оборудованных осевыми насосами.....	44
7. Рузиев У.Т., Бегимов И. Оптимизация внутростанционного режима крупных насосных станций.....	5I
8. Рузиев У.Т. Оптимальное управление типовым элементом системы машинного водоподъема.....	58
9. Пурикова Е.Г., Усманов Р.А. Экспериментальные исследования поля скоростей перед рабочим колесом насоса ОПВ-260 КМК.....	67
10. Попадюк И.О., Кям В.Ф. Использование оптико-электронных систем с инфракрасным излучением при строительстве закрытого горизонтального дренажа/ЗГД/ на орошаемых землях.....	8I
II. Пурикова Е.Г., Усманов Р.А. К вопросу о технических предложениях по повышению надежности водозабора насосных станций КМК.....	86
12. Денисов И.Ю. Метод оценки качества увлажнения при поливе по бороздам с учетом оптимизации его параметров	96*
13. Гаппаров Ф.А. Определение температуры поверхностного слоя воды водохранилищ.....	104

I4. Гагпаров Ф.И., Белесков Б.И. Метод пересчета расчетной скорости ветра в район водохранилища.....	I08
I5. Денисов И.Ю. Гидравлический расчет глубоких трубопроводов с учетом гидродинамики переменной массы.....	II3
I6. Махмудзаев Ш. Измерение фактического заиливания оросительных и дренажных трубопроводов без их вскрытия.....	I28
I7. Абдураунов Л.Р., Садыков А.Х. Определение надежности гидротехнических сооружений.....	I33
I8. Данг Суан Хоа, Аль Али Фисал, Рахимов Ш.А. Математическое моделирование режимов работы системы "насосная станция - электрическая сеть".....	I36
Рефераты.....	I42

Редактор А.Меркина

Р 24. Подписано в печать 23.12.94. Формат бумаги 60×84 $\frac{1}{16}$
Уч.-изд.л. 7 Заказ 0147 Тираж 250 экз. Цена дог.

Отпечатано на Ташкентской
книжно-журнальной фабрике
Государственного комитета
Республики Узбекистан по
печати. Ташкент, Юнусабад,
ул. Мурзодова, 1