

ную погоду полет либо технически будет невозможен, либо стабильность фотокамеры не обеспечит качество съемки и точность конечных топографических материалов.

4 Экономическая эффективность рассматриваемого метода очевидна, так как она складывается из сокращения сроков полевых работ и трудозатрат на преодоление наземных препятствий в случае съемки оптическими методами. Однако для калибровки (привязки снимаемого участка к единой системе координат и высот) классические методы геодезических работ не теряют актуальность, но в общем составе площадных работ имеют не столь значительные объемы.

Список использованных источников

1 Щедрин, В. Н. Перспективы развития мелиорации и водного хозяйства в Российской Федерации / В. Н. Щедрин, Г. А. Сенчуков // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2012. – № 1(05). – С. 1–9. – Режим доступа: <http://rosniipm-sm.ru/archive?n=82&id=83>.

2 Инженерные изыскания для строительства. Основные положения: СП 47.13330.2012: утв. Минстроем России 01.01.13. – М.: Минрегион России, 2012. – 140 с.

3 Васильев, С. М. Основные технологические подходы при обработке космических снимков в исследовании агроландшафтов / С. М. Васильев, Ю. Е. Домашенко, Л. А. Митяева // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2018. – № 2(30). – С. 41–60. – Режим доступа: <http://rosniipm-sm.ru/archive?n=542&id=545>.

4 Васильев, С. М. Изучение гранулометрического состава почвенного покрова по результатам дешифрирования космических снимков и их калибровка в полевых условиях / С. М. Васильев, Ю. Е. Домашенко, Л. А. Митяева // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2018. – № 3(71). – С. 35–40.

5 Применение БПЛА для топографической съемки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://geo-liga.ru/topography-bpla>, 2018.

6 Официальный дистрибьютор Authorized DJI Distributor: DJI Mavic PRO [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://4vision.ru/products/mavic-pro.html>, 2018.

7 Официальный сайт Pix4D: Pix4Dcapture – приложение для планирования полета дрона [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pix4d.com/product/pix4dcapture/>, 2018.

8 Официальный сайт Geoscan: AgisoftPhotoScan [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://geoscan.aero/ru/software/photoscan>, 2018.

9 Официальный сайт Autodesk: Civil 3D – ПО для проектирования объектов инфраструктуры [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://autodesk.ru/products/civil-3d/overview>, 2018.

10 Техническое состояние и эффективность режима эксплуатации Пролетарского магистрального канала / В. Д. Гостищев, Т. С. Пономаренко, А. Н. Рыжаков, Д. В. Мартынов // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2018. – № 2(70). – С. 6–10.

УДК 626.83

А. А. Газарян, О. Я. Гловацкий

Научно-исследовательский институт ирригации и водных проблем, Ташкент, Республика Узбекистан

С. Х. Махмамов, Н. А. Тожибеков

Ташкентский архитектурно-строительный институт, Ташкент, Республика Узбекистан

ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ КРУПНЫХ ИРРИГАЦИОННЫХ КАНАЛОВ С БЕТОНОПЛЕНОЧНЫМИ ОБЛИЦОВКАМИ

Целью исследований является научное обоснование и унификация применяемых облицовок ирригационных каналов, подлежащих контролю, на стадии эксплуатации насосных станций. В статье рассматриваются методы оценки фильтрационного расхода через пленочный экран при наличии в нем местных повреждений. Приведенные расчеты хорошо согласуются с экспериментальными данными.

Ключевые слова: насосные станции, безопасная эксплуатация, ирригационные каналы, пленочный экран, силы инерции, опытные отсеки, фильтрация.

A. A. Ghazaryan, O. Ya. Glovatsky

Scientific Research Institute of Irrigation and Water Problems, Tashkent, Republic of Uzbekistan

S. Kh. Makhkamov, N. A. Tozhibekov

Tashkent Institute of Architecture and Construction, Tashkent, Republic of Uzbekistan

OPERATION EXPERIENCE OF LARGE IRRIGATION CANALS WITH CONCRETE FILM LININGS

The aim of the research is the scientific substantiation and unification of the applied irrigation canals linings to be monitored at the stage of pump stations operation. The methods for assessing the seepage discharge through a film screen in case of local damages are discussed. The calculations presented are in good agreement with the experimental data.

Key words: pump stations, safe operation, irrigation canals, film screen, inertial forces, test sections, filtration.

Опыт эксплуатации крупных систем машинного водоподъема позволяет концентрировать соответствующие данные в такой форме, которая удобна эксплуатационному персоналу [1–4]. К основным по проблемам водосбережения относят сооружения, разрушение которых приводит к нарушению нормальной работы крупных каналов.

В последних монографиях и статьях уточняется коэффициент гидравлического трения в плановых уравнениях Сен-Венана [5].

Система уравнений Сен-Венана состоит:

- из скалярного уравнения закона сохранения массы потока в открытом русле:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q_i}{\partial x_i} = 0;$$

- уравнения сохранения импульса в потоке:

$$\frac{\partial q_i}{\partial t} + \frac{\partial q_i q_j / h}{\partial x_i} + \frac{\partial g h^2 / 2}{\partial x_i} - \tau_r = 0, \quad (1)$$

где h – глубина потока, м;

t – время, с;

q – удельный расход воды, отнесенный к длине канала, м²/с;

x_i – пространственные координаты;

g – ускорение, м/с²;

τ_r – вектор напряжения гидравлического трения по дну, м вод. ст.

В уравнении (1) принята символика Эйнштейна, при которой в выражениях числителя и знаменателя использованы одинаковые индексы [5].

Опыт экспериментальных исследований показал, что в некоторых водоподводящих сооружениях насосных станций (НС) устанавливаются свободные поверхности потока, резко изменяющие глубины и скорости по течению на довольно коротком отрезке пути и в итоге увеличивающие силы сопротивления движению. Поэтому кроме сопротивлений, обусловленных разностью давлений и трением, в соответствии с принципами гидромеханики рекомендуется учитывать силы вихреобразования или обтекания и силы инерции [6]. Оба этих вида сопротивлений аналитически вычисляются как функции

от скоростного напора. Перечисленные силы сопротивления редко бывают одновременно определяющими тип движущейся жидкости.

В одних случаях определяющим является сопротивление за счет разности давления и трения (например, для равномерных или медленно изменяющихся потоков), а в других – сопротивление за счет вихреобразования или обтекания и инерции, что имеет место в проточной части всасывающих труб.

В этих случаях кроме сил трения основное гидравлическое сопротивление оказывают силы инерции движущихся масс жидкости.

Сила инерции $F_{ин}$ (н) в общем виде определяется следующим уравнением:

$$F_{ин} = \pm d(mV)/dt,$$

где m – масса, кг;

V – средняя скорость потока, м/с.

Таким образом, возникновение силы инерции происходит либо в результате изменения массы, либо при изменении ускорения при сохранении массы постоянной, т. е. при $m = \text{const}$.

Бетонопленочная облицовка ирригационных каналов получила широкое распространение при освоении крупных массивов орошаемых земель в Узбекской, Украинской и других республиках. Применение ее обусловлено меньшими эксплуатационными затратами, особенно на просадочных и суффозионно-неустойчивых грунтах.

Полевые исследования, выполненные в Узбекистане, показали, что облицовка на крупных машинных каналах сокращает фильтрационные потери в среднем до трех раз, на внутрихозяйственной сети – в 4–5 раз.

Для определения величины фильтрационных потерь из каналов с бетонопленочной облицовкой проведены натурные измерения методом фильтрационных отсеков на Джизакской головной НС (ДГНС) и на головной части Каршинского магистрального канала (КМК), выполнены лабораторные и теоретические исследования [6, 7].

Канал ДГНС на опытных участках экранирован полиэтиленовой пленкой толщиной 0,2 мм, которая защищена от механических повреждений и солнечной радиации на откосах железобетонными ребристыми плитами марок ОПК-32 или ОПК-41 с размерами в плане соответственно $3,2 \times 3,2 \text{ м}^2$ и $4,1 \times 3,2 \text{ м}^2$, на дне – монолитным бетоном толщиной 10 см. Стыки между плитами шириной 3–6 см заделаны бетоном, что необходимо для защиты пленочного экрана. Опытные отсеки на канале ограничивались перемычками из деревянных щитов с прокладкой из полиэтиленовой пленки. Щиты и пленочный экран канала надежно защемлялись в бетонный зуб. Общая протяженность опытных отсеков равна 1980 м.

Грунты на трассе канала представлены макропористыми суглинками и супесями слоистого сложения, коэффициент фильтрации которых в естественном состоянии равен в среднем 0,42 м/сут, а после отсыпки в дамбы канала, частичного уплотнения землеройной техникой и замочки – 0,08–0,14 м/сут. Грунтовые воды при проведении опытов залегали на глубине более 8 м и не влияли на фильтрацию из опытных отсеков.

Краткая инженерно-геологическая характеристика трассы головной части КМК (до пикета 624) следующая. Первые 20 км канала (до НС-1) пролегают в пойменных террасах р. Амударьи. Русло канала вскрывает здесь пески, суглинки и глины при близком залегании уровня грунтовых вод. Последующие 20,8 км канала (участок между НС-1 и НС-2) проложены в основном в песчаных грунтах. На пикетах 260–300 канал пересекает часть Самсоновского плато, вскрывая толщу глинистых отложений, характеризующихся коэффициентом фильтрации около 0,01 м/сут. Участок канала от пикета 409 + 50 (НС-2) до пикета 669 (НС-5) проложен преимущественно в песчаниках, легко размокаемых в воде, характеризующихся значительной изменчивостью коэффициента фильтрации в пределах 0,2–4,5 м/сут при средней величине около 3 м/сут. Уровень грунтовых вод залегает на глубине 30–120 м.

С пикета 201 (НС-1) на всем протяжении канал экранирован бетонопленочной

облицовкой, за исключением участка канала между НС-2 и НС-3, где уложена железобетонная облицовка без пленки [7].

На участках со сборно-монолитной облицовкой дно канала покрыто монолитным бетоном или железобетоном толщиной 15 см, откосы облицованы железобетонными плитами марки ОППК-30, уложенными в 5–6 рядов.

Водоупорным элементом облицовки на КМК является полиэтиленовая пленка толщиной 0,2–0,4 мм. На канале ДГНС и головной части КМК выполняли периодический контроль [7]. Установлено, что одно повреждение приходится в среднем на 20 м² поверхности пленочного экрана, на КМК – 8–12 м².

По конструктивным особенностям бетонное покрытие такой облицовки служит лишь для защиты пленочного экрана – вода легко заполняет свободное пространство между бетоном и пленкой и при наличии в ней повреждений просачивается в подстилающие грунты. Герметизация стыков в бетоне, защищающем пленочный экран, недопустима, так как возможно разрушение бетонного покрытия при резком опорожнении канала под действием гидростатического напора воды, неизбежно скапливающейся между бетоном и пленкой.

Специалисты института ирригации в течение 2016–2017 гг. принимали участие в комплексных натурных и диагностических испытаниях крупнейших НС республики: НС-1 КМК, Амубухара-1, Кую-Мазар, Аму-Занг-2, ДГНС.

На ДГНС выявились следующие аварийные ситуации, имеющие серьезные последствия для надежности и бесперебойности водоподачи:

- в недоступной для осмотра подводной части напорного бассейна образовалась трещина или нарушение уплотнения деформационного шва;
- через образовавшееся отверстие происходит интенсивная утечка воды с вымывом грунта из-под сооружения;
- в месте размыва грунтового основания происходит обрушение донной плиты напорного бассейна и прорыв, требующий прекращения водоподачи по каскаду [2, 8].

Расположение и характеристики участков указанных каналов, на которых измерены фильтрационные потери, приведены в таблице 1, а значения фильтрационных потерь, откорректированные с учетом испарения с водной поверхности и пересчитанные на 1 км протяженности канала, представлены в таблице 2.

Таблица 1 – Характеристики опытных отсеков

Номер опытного отсека и его местоположение	Длина отсека, м	Размер канала			Конструкция бетонопле- ночной облицовки
		<i>b</i> , м	<i>H</i> , м	<i>m</i>	
Канал ДГНС					
1 Пикеты 142 + 47	180	1,9	1,67	1,6	Сборно-монолитная
2 Пикеты 173 + 39	800	1,1	1,87	1,5	
3 Пикеты 201 + 41	600	1,5	1,73	1,5	
4 Пикеты 221 + 89	250	1,0	1,80	1,4	
Головная часть КМК					
1 Пикеты 201 + 50	200	7,0	6,6	2,5	Сборно-монолитная и монолитная
2 Пикеты 422 + 50	200	7,0	6,7	2,5	

Таблица 2 – Значения фильтрационных потерь на каналах с облицовкой и в земляном русле равного поперечного сечения

Номер опытного отсека	Глубина воды в канале, м	Потери воды на фильтрацию, л/(с·км)		Степень сокращения фильтрационных потерь (в разы)	Год проведения опыта
		С облицовкой	Без облицовки		
1	2	3	4	5	6
Канал ДГНС					
1	0,87	0,36	22,0	60,5	2018
2	1,24	0,24	12,0	51,0	2017

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6
2	1,26	0,31	12,0	38,5	2014
3	1,35	0,31	13,0	42,5	2014
3	1,12	0,26	12,0	46,5	2015
4	1,18	0,29	10,0	34,0	2015
Головная часть КМК					
1	4,40	45,4	1000	22,0	2017
2	3,65	57,5	1160	20,0	2017

Бетонотеночная облицовка – универсальный высокоэффективный способ противотенотрационной защиты, практически применимый в любых инженерно-геологических условиях. Водотеночность ее полностью зависит от целостности пленочного экрана. Натурные исследования и расчеты, основанные на них (таблица 2), показывают, что бетонотеночная облицовка каналов обеспечивает сокращение филтратенотенотических потерь в 20–60 раз.

При строительстве и эксплуатации каналов возможны повреждения пленочного экрана в виде сдиров, прорезей, проколов, которые являются локальными очагами филтратенотации. Величина филтратенотических потерь зависит от водно-физических свойств подстилающего грунта, количества и характера повреждений пленки и размеров канала. Авторы уточнили параметры филтратенотации через отверстия в пленочном экране (таблица 3).

Таблица 3 – К расчету филтратенотации через отверстия в пленочном экране

$H + H_k$, м	Значение q/K при диаметре отверстия				
	$d = 1$ мм	$d = 3$ мм	$d = 5$ мм	$d = 10$ мм	$d = 20$ мм
0,10	0,000824	0,00183	0,00283	0,0049	0,0088
0,50	0,00655	0,0139	0,0204	0,0340	0,0580
1,00	0,0161	0,0340	0,0485	0,0812	0,130
1,50	0,0292	0,0594	0,0818	0,133	0,219
2,00	0,0440	0,0866	0,121	0,195	0,322
2,50	0,0574	0,116	0,164	0,259	0,449
3,00	0,0720	0,151	0,211	0,328	0,550
3,50	0,0890	0,185	0,261	0,405	0,660
4,00	0,107	0,222	0,311	0,485	0,778
5,00	0,144	0,297	0,416	0,652	1,03
6,00	0,185	0,381	0,531	0,837	1,31
7,00	0,227	0,470	0,650	1,03	1,61
8,00	0,270	0,566	0,780	1,24	1,93
9,00	0,304	0,655	0,910	1,45	2,27
10,00	0,362	0,750	1,052	1,67	2,63

Для оценки величины филтратенотических потерь через пленочный экран при наличии в нем местных повреждений в виде вырезв с круговой формой очертания рекомендуются значения из каналов с непроницаемыми стенками в однородные подстилающие грунты при глубоком залегании уровня грунтовых вод. В таблице 3 приняты следующие обозначения:

q – филтратенотический расход через круглое отверстие в пленочном экране, м³/сут;

K – коэффициент филтратенотации грунта, подстилающего пленочный экран, м/сут;

H – напор воды над круглым отверстием в пленочном экране, м;

H_k – капиллярное давление, равное половине высоты капиллярного поднятия воды в подстилающем грунте, м.

Если $H + H_k = 2,0$ м, $K = 0,42$ м/сут, $d = 20$ мм, можно определить фильтрационный расход через одно отверстие в пленочном экране. По таблице 3 находим $q/K = 0,322$ м², или $q = 0,135$ м³/сут. Расчеты фильтрации хорошо согласуются с экспериментальными данными.

Широкомасштабные научные исследования, направленные на совершенствование технологий повышения надежности оросительной системы, проводятся в ведущих научных центрах и высших учебных заведениях мира, в т. ч. Department of Mechanical Engineering University of Ottawa (Канада), Department of Electrical and Computer Engineering Texas University (США), Chuntsin University, Wuhan University (Китай), Wageningen University (Голландия), Universität Hohenheim (Германия), Ташкентском техническом университете, Ташкентском институте инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства, Российском научно-исследовательском институте проблем мелиорации.

Они характеризуются широким развитием работ, основанных на экспериментальной оценке надежности, пересмотре концепции случайности и обязательности отказа, изучается связь между причинами отказа и предлагаемыми конструкциями [8, 9].

Дальнейшее экспериментальное и теоретическое исследование водопроницаемости при наличии местных повреждений позволит разработать объективные критерии контроля с учетом предотвращения фильтрации на основе новых геосинтетических материалов (бентонитовых матов, геомембран) [10]. С целью выравнивания скоростей потока могут быть установлены эластичные потокоформирующие элементы в начале верхнего участка фильтрации и в его конце.

Выводы

1 При эксплуатации каналов с облицовкой возможны повреждения пленочного экрана, которые являются локальными очагами фильтрации. Величина фильтрационных потерь зависит от водно-физических свойств подстилающего грунта, количества и характера повреждений пленки и размеров канала. Для оценки фильтрационного расхода через пленочный экран при наличии в нем местных повреждений можно воспользоваться приведенными расчетами, которые хорошо согласуются с экспериментальными данными.

2 Для предотвращения фильтрации необходимо продолжить поиск эффективных способов противифльтрационной защиты, в т. ч. на основе новых полимерных материалов. Применение их на машинных каналах в Узбекистане позволит существенно снизить фильтрационные потери в земляных руслах.

Список использованных источников

1 Шомайрамов, М. А. Методы повышения безопасности и устойчивости эксплуатации систем машинного водоподъема / М. А. Шомайрамов, Ш. Г. Талипов, Н. Р. Насырова // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2018. – № 3(71). – С. 118–123.

2 Гловацкий, О. Я. Оценка безопасности и повышение надежности эксплуатации гидротехнического узла крупных насосных станций / О. Я. Гловацкий, Н. Р. Насырова, Р. Р. Эргашев // Повышение надежности противифльтрационных облицовок каналов и безопасности низконапорных гидротехнических сооружений: науч.-практ. конф., г. Новочеркасск, 20 мая 2016 г. – С. 286–289.

3 Гловацкий, О. Я. Повышение надежности эксплуатации и водосбережения ирригационных насосных станций / О. Я. Гловацкий, Р. Р. Эргашев, Ш. Р. Рустамов // Водные ресурсы и водопользование. – 2015. – № 3. – С. 37–39.

4 Гловацкий, О. Я. Влияние шероховатости и формы живого сечения машинных каналов на потери напора крупных насосных станций / О. Я. Гловацкий, Э. К. Кан // Повышение эффективности, надежности и безопасности гидротехнических сооружений: материалы респ. науч.-практ. конф. / ТИИМ. – Ташкент, 2013. – С. 161–163.

5 Базаров, Д. Р. Влияние разнонаправленности гидравлического трения к гидродинамическим уравнениям потока / Д. Р. Базаров, С. Я. Школьников, М. У. Абсоатов // International Academy Journal. Web of Scholar. – 2018. – 2(20), vol. 1. – P. 10–13.

6 Анализ неравномерного движения воды по длине водоподводящих сооружений насосных станций / О. Я. Гловацкий, С. Х. Махкамов, Н. А. Тожибеков, Н. Р. Насырова, Н. И. Юсупов // Геотехнические проблемы в Узбекистане и их современные решения: тр. междунар. науч.-практ. конф. – Ташкент, 2018. – С. 222–226.

7 Очилов, О. Р. Новые методы очистки подводящего канала Каршинского магистрального канала / О. Р. Очилов, О. Я. Гловацкий // Повышение эффективности, надежности и безопасности гидротехнических сооружений: материалы респ. науч.-практ. конф. / ТИИМ. – Ташкент, 2013. – С. 396–399.

8 Ergashev, R. R. New aspects of reliability function of irrigation pumping stations / R. R. Ergashev // European science review. – 2017. – № 1-2. – P. 247–249.

9 Beysemin, K. R. Research of side filtering water intakes / K. R. Beysemin, A. Berestenov // The investigation of side filter water fences: 4th international conference on science and technology. – London: Tomas Reuters, 2014. – P. 112–121.

10 Обеспечение безопасности и надежности низконапорных гидротехнических сооружений: монография / В. Н. Щедрин, Ю. М. Косиченко, Д. В. Бакланова, О. А. Бавев, Е. Д. Михайлов. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2016. – 283 с.

УДК 627.881

О. Я. Гловацкий, Н. Р. Насырова, А. Б. Сапаров, М. К. Бердалиев

Научно-исследовательский институт ирригации и водных проблем, Ташкент, Республика Узбекистан

НЕКОТОРЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА НЕУСТАНОВИВШЕГОСЯ ДВИЖЕНИЯ ВОДЫ В СИСТЕМЕ «КАНАЛ – НАСОСНАЯ СТАНЦИЯ»

В статье рассматриваются некоторые методы расчета неустановившегося движения воды в каналах. Установлено, что для расчетов гидравлических параметров русловых потоков при проектировании систем «канал – насосная станция» с переходными процессами возможно использовать уравнения неразрывности и определять средний расход за необходимый интервал времени в рассматриваемом створе. Рекомендуемый метод управления эксплуатационными режимами насосных станций предусматривает решение уравнений неустановившегося движения для некоторого выбранного момента времени $\tau = \text{const}$.

Ключевые слова: насосные станции, каналы, створ, интервал времени, неустановившееся движение воды, гидродинамика.

O. Ya. Glovatsky, N. R. Nasyrova, A. B. Saparov, M. K. Berdaliev

Scientific Research Institute of Irrigation and Water Problems, Tashkent, Republic of Uzbekistan

SOME METHODS FOR UNSTEADY FLOW CALCULATION IN THE SYSTEM “CANAL – PUMP STATION”

Some methods for calculating unsteady canal water flow are discussed. It has been found that for calculating the hydraulic parameters of canal flows in the design of “canal – pump station” systems with transition process, it is possible to use the continuity equations and determine the average flow for the required time interval through the considered range. The recommended method of the operating conditions control of pump stations involves the solutions of equations of unsteady flow for a certain selected time moment $\tau = \text{const}$.

Key words: pump stations, canals, parameters, section line, time interval, unsteady flow, hydrodynamics.