

ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ

УДК 626.823.004:532.5

Е. А. Козарезова

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация

ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ И ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ КАНАЛОВ

Целью данной статьи является обзор исследований гидравлической эффективности оросительных каналов. Рассматриваются основные критерии эксплуатационной надежности оросительных каналов: по допускаемым скоростям, пропускной способности русла, коэффициенту полезного действия канала, показателю технического состояния, вероятности безотказной работы, а также факторы, влияющие на гидравлическую эффективность: русловые деформации, заиление каналов и зарастание водной растительностью. В настоящее время вопрос повышения гидравлической эффективности и эксплуатационной надежности каналов весьма актуален. Проблемы гидравлической эффективности и эксплуатационной надежности еще не до конца решены из-за сложности некоторых процессов, приводящих русла каналов к деформациям, нарушениям и отказам. Недоучет указанных факторов может привести к потере гидравлической эффективности каналов, их эксплуатационной надежности при длительной эксплуатации и к снижению водоподачи. Проведенный анализ состояния исследований, посвященных оценке гидравлической эффективности и эксплуатационной надежности каналов, позволил выявить основные эксплуатационные факторы, влияющие на их работоспособность.

Ключевые слова: оросительный канал; эксплуатация; гидравлическая эффективность; эксплуатационная надежность; коэффициент полезного действия.

E. A. Kozarezova

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,
Russian Federation

RESEARCH REVIEW ON CANAL HYDRAULIC EFFICIENCY AND OPERATIONAL RELIABILITY

The purpose of this article is to review studies on hydraulic efficiency of irrigation canals. The main criteria for the operational reliability of irrigation canals are considered: by permissible speeds, conveying capability, canal efficiency, technical condition indicator, non-failure operating probability, as well as factors affecting hydraulic efficiency: canal deformations, canal siltation and overgrowth with aquatic vegetation. Currently, the issue of increasing the hydraulic efficiency and operational reliability of canals is very relevant. The problems of hydraulic efficiency and operational reliability have not yet been fully solved due to the complexity of some processes leading to canal beds deformations, disturbances and failures. Underestimation of these factors can lead to a loss of canal hydraulic efficiency, their operational reliability during long-term operation and water supply decrease. The given analysis of the state of research devoted to assessing the hydraulic efficiency and operational reliability of canals made it possible to identify the main operational factors influencing their performance.

Key words: irrigation canal; canal operation; hydraulic efficiency; operational reliability; efficiency.

Введение. Несмотря на то, что оросительные системы использовались уже давно, комплексное изучение гидравлической эффективности и эксплуатационной надежности каналов оросительных систем проводилось только в последние 20 лет [1].

Так как значительная часть каналов эксплуатируется более 30 лет, то многие из них характеризуются ухудшением технического состояния и, как следствие, снижением гидравлической эффективности и эксплуатационной надежности. Это обусловлено такими факторами, как русловые деформации, зарастание водной растительностью, повреждения облицовок каналов [2].

Материалы и методы. В работе использованы материалы исследований Ю. М. Косиченко, М. Ю. Косиченко, Ю. И. Иовчу и др. [1, 3].

Результаты и обсуждение. Эксплуатационная надежность оросительных каналов будет обеспечиваться в соответствии с критериями, представленными в таблице 1 [3].

Таблица 1 – Основные критерии эксплуатационной надежности оросительных каналов

Критерий	Нормативное значение
По допускаемым скоростям	$\varphi(v) = v - v_{\text{нез}} > 0; \varphi(v) = v - v_{\text{нер}} < 0$
По пропускной способности русла	$\varphi(Q) = Q_{\text{тр}} - Q; \alpha \cdot Q_{\text{тр}} \geq \varphi(Q) \geq 0$
По коэффициенту полезного действия канала	$\varphi(\eta) = \eta_{\text{тр}} - \eta; \beta_0 \cdot \eta_{\text{тр}} > \varphi(\eta) \geq 0$
По показателю технического состояния	$\varphi(P_3) = P_{3,\text{тр}} - P; \sigma_0 \cdot P_{3,\text{тр}} \geq \varphi(P_3) \geq 0$
По вероятности безотказной работы	$\varphi(P) = P_{\text{тр}} - P; \mu_0 P_{\text{тр}} \geq \varphi(P) \geq 0$

В таблице 1 $v, v_{\text{нез}}, v_{\text{нер}}$ – соответственно средняя и допустимые незаилающая и неразмывающая скорости течения, м/с; $Q, Q_{\text{тр}}$ – соответственно фактическая и проектная (расчетная) пропускная способность, м³/с; $\eta, \eta_{\text{тр}}$ – фактический и требуемый (нормативный) КПД канала; $P_3, P_{3,\text{тр}}$ – соответственно фактический и требуемый показатели технического состояния канала; $P, P_{\text{тр}}$ – соответственно фактическая и требуемая вероятность безотказной работы; $\alpha_0, \beta_0, \sigma_0, \mu_0$ – соответственно коэффициенты допустимого снижения нормативных показателей.

Исследования И. А. Долгушева [4] показывают, что снижение пропускной способности при зарастании происходит не столько за счет уменьшения поперечного сечения, сколько за счет гидравлического сопротивления, вызываемого растительностью. Таким образом, проведенные автором исследования показывают, что живое сечение в русле канала не зарастает у каналов с высокой транспортирующей способностью и постоянно работающих в период эксплуатации. Интенсивное развитие растительности и снижение пропускной способности совпадает с проведением поливов. Так, например, пропускная способность канала Подкумок-Юца при зарастании уменьшилась вдвое, а скорости в 1,75–2,00 раза.

В практике, которая сложилась на оросительных системах, отмечаются большие потери на фильтрацию, испарение и холостые сбросы (рисунок 1) [5].

Из этого следует необходимость проведения работ по реконструкции, устройству на каналах противоточных облицовок, совершенствованию системы технического обслуживания.

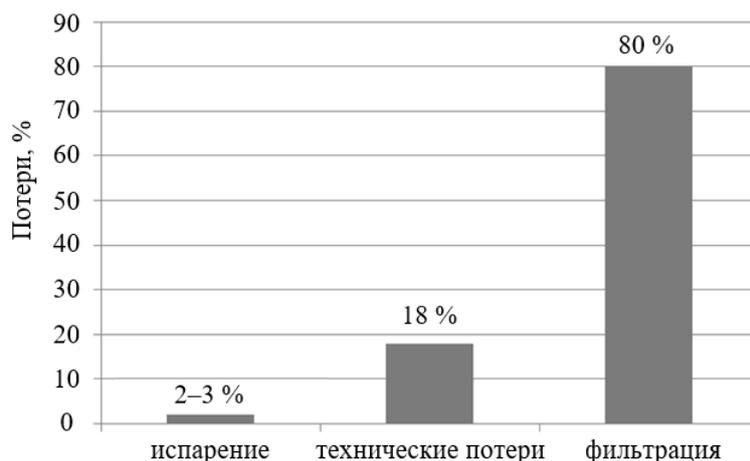


Рисунок 1 – Распределение потерь на каналах оросительных систем

Для расчета фильтрационных сопротивлений облицовок каналов Ю. М. Косиченко, Е. Г. Угроватова, О. А. Баев [6] предлагают использовать следующие формулы.

При $k/k'_{обл} < 100$ (где k – коэффициент фильтрации грунта, м/сут; $k'_{обл}$ – осредненный коэффициент фильтрации облицовки, м/сут) предлагается формула Ю. М. Косиченко, Е. Г. Угроватовой для безразмерного фильтрационного сопротивления облицовки:

$$f_{обл} = \frac{k(h_0 + \delta_0) \cdot \delta_0}{k'_{обл}(h_0 + \delta_0 - h_1) \cdot B_k},$$

где h_0 – глубина воды в канале, м;

δ_0 – толщина облицовки, м;

h_1 – глубины элементов полигонального сечения, м;

B_k – ширина канала по урезу воды, м.

Размерное фильтрационное сопротивление облицовки:

$$\Phi_{обл} = f \cdot B_k = \frac{k(h_0 + \delta_0) \cdot \delta_0}{k'_{обл}(h_0 + \delta_0 - h_1)},$$

где f – безразмерное фильтрационное сопротивление.

$$h_1 = \frac{k'_{обл}(h_0 + \delta_0) \cdot T}{k \cdot \delta_0 + k'_{обл} \cdot T}.$$

При $k/k'_{обл} > 100$:

- безразмерное фильтрационное сопротивление:

$$f_{обл} = \frac{k}{k'_{обл}} \cdot \frac{\delta_0}{B_k};$$

- размерное фильтрационное сопротивление:

$$\Phi_{обл} = \frac{k}{k'_{обл}} \cdot \delta_0.$$

В настоящее время в международной практике гидромелиоративного строительства широкое применение нашли новые противofильтрационные материалы – геосинтетические, которые применяются в качестве противofильтрационных элементов, дренажей, фильтров, устройств по типу «стена в грунте», армирующих и разделяющих конструкций, а также для защиты и крепления откосов грунтовых поверхностей [7].

Показателем водонепроницаемости противofильтрационных устройств (ПФУ) из полимерных геомембран является их коэффициент фильтрации. Коэффициент филь-

трации ПФУ из полимерных геомембран должен составлять порядка $10^{-8} \dots 10^{-10}$ см/с, что на два-четыре порядка ниже, чем для ПФУ из полимерных пленок [7–10]. Это объясняется тем, что геомембраны относятся к полимерным материалам нового поколения, которые имеют более высокие показатели как по прочности, так и по долговечности, водонепроницаемости, сопротивлению прокалыванию. Наряду с этим полимерные геомембраны существенно отличаются от полимерных пленок по толщине. Толщина полимерных геомембран составляет от 1,0 до 4,0 мм, тогда как пленки – от 0,2 до 0,4 мм. Поэтому в геомембранах возможны лишь незначительные повреждения в виде проколов (микроразрывов), которые можно отнести к малым отверстиям диаметром до 1–3 мм [7, 10].

Используя опыт проектирования, строительства и эксплуатации каналов в России и за рубежом, Ю. М. Косиченко, О. А. Баев [11] предложили следующие критерии эффективности и надежности противofильтрационных облицовок с использованием геосинтетических и геокомпозитных материалов:

- по водопроницаемости противofильтрационного элемента из геомембраны $k'_{\text{ГМ}} \leq k'_{\text{ГМ,доп.}}$;
- по водопроницаемости противofильтрационного элемента из бентонитовых матов $k'_{\text{бм}} \leq k'_{\text{бм,доп.}}$;
- по прочности при разрыве геомембраны $\sigma_{\text{ГМ}} \geq \sigma_{\text{ГМ,доп.}}$;
- по прочности при разрыве бентомата $\sigma_{\text{бм}} \geq \sigma_{\text{бм,доп.}}$;
- по долговечности (сроку службы) противofильтрационного элемента из геомембраны или бентомата $\tau_{\text{пфэ}} \geq \tau_{\text{пфэ,нор.}} = \tau_{\text{гтс,нор.}}$;
- по относительному удлинению геомембраны при разрыве $\varepsilon_{\text{ГМ}} \geq \varepsilon_{\text{ГМ,доп.}}$.

По данным наблюдений на Большом Ставропольском канале (БСК-1) [12], вследствие деформаций и интенсивной локальной фильтрации возникала угроза прорыва дамб, это привело к повышению уровня грунтовых вод, подтоплению и затоплению территорий населенных пунктов. Для того чтобы уменьшить аварийные ситуации, неоднократно проводились противofильтрационные мероприятия. Для этого на участках с гравийно-галечниковыми отложениями устраивались суглинистый экран толщиной 1,0 м и железобетонные облицовки толщиной 25 см. На головном участке БСК-1 наблюдался резкий подъем уровня грунтовых вод, образовались промоины (щели), наблюдались песчаные отмели. Все это свидетельствовало о том, что проведенные мероприятия оказались малоэффективны. Для того чтобы предупредить такие возможные аварийные ситуации, на первых 3 км проводилась предэксплуатационная замочка канала.

Формула Ю. М. Косиченко, К. Г. Гурина [13] по данным наблюдений на БСК-1 (1–27 км):

$$\lambda = \frac{3,08}{\text{Re}^{0,291}} \quad (R^2 = 0,995),$$

где λ – коэффициент гидравлического трения;

Re – число Рейнольдса.

Кроме этих проблем значительный ущерб наносят подтопления прилегающих территорий [14].

Заключение. Анализ состояния оросительных систем на юге России показал, что современное техническое состояние большинства систем является недостаточно удовлетворительным и отвечает IV или III разряду систем по основным показателям. Такие оросительные системы требуют первоочередной реконструкции с заменой мелиоративной сети более совершенной, а также модернизации сооружений и оборудования. В недостаточном объеме проводятся ремонтно-эксплуатационные мероприятия по поддержанию систем и сооружений в работоспособном состоянии. Такое положение

ведет к снижению продуктивности мелиорированных земель в мелиоративном комплексе юга России.

Список использованных источников

- 1 Косиченко, Ю. М. Гидравлические и экологические аспекты эксплуатации каналов: учеб. пособие / Ю. М. Косиченко. – Новочеркасск: НГМА, 2000. – 175 с.
- 2 Иовчу, Ю. И. Методы и вероятностные модели оценки гидравлической эффективности и эксплуатационной надежности оросительных каналов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.07, 05.23.16 / Иовчу Юлия Ивановна. – М., 2010. – 24 с.
- 3 Косиченко, Ю. М. Критерии эксплуатационной надежности оросительных каналов / Ю. М. Косиченко, М. Ю. Косиченко, Ю. И. Иовчу // Природообустройство. – 2019. – № 1. – С. 70–74.
- 4 Долгушев, И. А. Повышение эксплуатационной надежности оросительных каналов / И. А. Долгушев. – М.: Колос, 1975. – 136 с.
- 5 Косиченко, Ю. М. Теоретическая оценка водопроницаемости противофильтрационных облицовок нарушенной сплошности / Ю. М. Косиченко, О. А. Баев // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2014. – № 3. – С. 68–74.
- 6 Косиченко, Ю. М. Обоснование расчетных зависимостей фильтрационных сопротивлений конструкций облицовок каналов / Ю. М. Косиченко, Е. Г. Угроватова, О. А. Баев // Известия ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева. – 2015. – Т. 278. – С. 35–46.
- 7 Косиченко, Ю. М. Оценка водопроницаемости бетонопленочной облицовки с закольматированными швами при длительной эксплуатации каналов / Ю. М. Косиченко, О. А. Баев, А. Ю. Гарбуз // Вестник МГСУ. – 2016. – № 7. – С. 114–133.
- 8 Ищенко, А. В. Гидравлическая модель водопроницаемости и эффективности противофильтрационных облицовок крупных каналов / А. В. Ищенко // Известия ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева. – 2010. – Т. 258. – С. 51–64.
- 9 Косиченко, Ю. М. Математическое и физическое моделирование фильтрации через малые повреждения противофильтрационных устройств из полимерных геомембран / Ю. М. Косиченко, О. А. Баев // Известия ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева. – 2014. – Т. 274. – С. 60–74.
- 10 Защитные покрытия оросительных каналов / В. С. Алтунин, В. А. Бородин, В. Г. Ганчиков, Ю. М. Косиченко. – М.: Агропромиздат, 1988. – 139 с.
- 11 Косиченко, Ю. М. Высоконадежные конструкции противофильтрационных покрытий каналов и водоемов, критерии их эффективности и надежности / Ю. М. Косиченко, О. А. Баев // Гидротехническое строительство. – 2014. – № 8. – С. 18–25.
- 12 Косиченко, Ю. М. Каналы переброски стока России / Ю. М. Косиченко. – Новочеркасск: НГМА, 2004. – 470 с.
- 13 Косиченко, Ю. М. Рекомендации по расчету и эксплуатации крупных каналов с частично облицованными руслами / Ю. М. Косиченко, К. Г. Гурин. – Новочеркасск, 2001.
- 14 Разумов, В. В. Подтопление земель в Приволжском регионе России / В. В. Разумов, Э. Н. Молчанов, Н. В. Разумова // Науки о Земле. Наука, инновации, технологии. – 2017. – № 2. – С. 159–186.