

**МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ**  
**«Гидротехническое строительство:**  
**новые материалы и технологии»**

---

---

УДК 626.823.91:626.826

**Д. В. Бакланова, Н. Ю. Черничкина**

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

**ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНИМОСТИ МЕТОДА ИЗОЛИРОВАННЫХ**  
**ОТСЕКОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТЕРЬ НА ФИЛЬТРАЦИЮ**  
**ИЗ КАНАЛОВ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ**

*Целью работы является апробация нового способа и методики определения фильтрационных потерь, в связи с чем выполнены расчеты удельных фильтрационных потерь по предложенным зависимостям для четырех отсеков третьей очереди Большого Ставропольского канала (БСК-3). Выполнен сравнительный анализ расчетных данных и данных натурных исследований на БСК-3, определен осредненный коэффициент фильтрации облицовки, а также величина расхождения с натурными данными. Представленный анализ расчетов свидетельствует о возможности применения расчетных зависимостей (1) и (2) для определения потерь из облицованных каналов. Кроме того, проведенные расчеты показали, что зависимость (1) может применяться для определения фильтрационного расхода из каналов в земляном русле.*

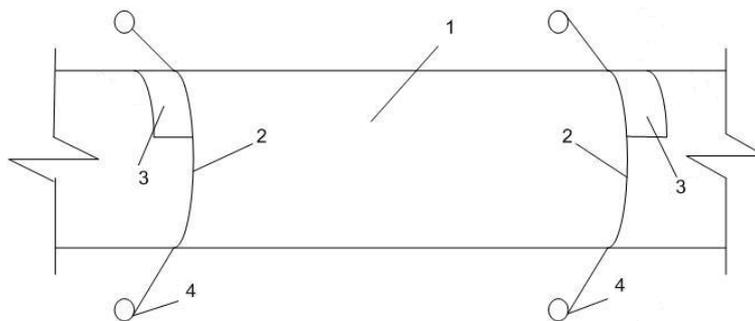
*Ключевые слова: гидротехнические сооружения, фильтрация, фильтрационные потери, канал, оросительная система, погрешность.*

В настоящее время используются методы определения потерь воды, которые были разработаны еще 40–45 лет назад в ЮжНИИГиМ, ВНИИГиМ и САНИИРИ. Главная проблема заключается в том, что при использовании гидрометрического и балансового методов подразумевается оборудование и использование стационарных пунктов наблюдений, требования к наблюдаемому участку предъявляются достаточно жесткие, что не дает точных результатов расчета фильтрационных потерь для всего канала. При этом погрешность данных методов достигает 5%. Объемный метод представляется довольно точным, однако его использование связано с необходимостью подбора достаточно большого количества необходимых средств измерений. Метод изолированных отсеков в общей части реализует объемный метод с прекращением подачи воды в канал, однако при его использовании применяются современные материалы, новые технологии их устройства и более точные средства измерений.

Изолированный отсек для определения фильтрационных потерь содержит две полимерные водонепроницаемые перемычки, которые закреплены в пазах облицовки, включающей экран из полимерных материалов с последующей их гидроизоляцией. Через отверстия пропущен металлополимерный трос для придания устойчивости перемычкам. Трос крепится к анкерным опорам на дамбах канала. Для исключения потерь на испарение между перемычками устанавливают тент из светонепроницаемой полимерной пленки, в которую впаяны поперечные тросы, исключающие его провисание. С внешней стороны каждой водонепроницаемой перемычки в заводских условиях выполнены карманы из полимерного материала, которые сообщаются с отсеком для определения фильтрационных потерь с помощью трех рядов отверстий в верхней, средней и нижней части водонепроницаемой перемычки. Внешнее полотнище кармана в верхней

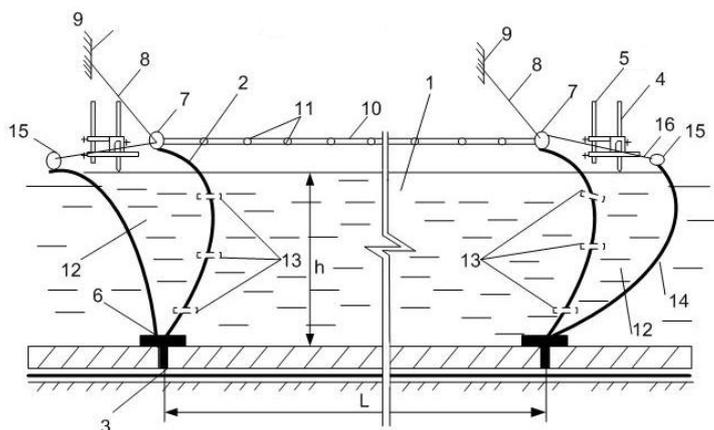
его части имеет монтажные петли, через которые оно закрепляется с перемычкой тросом к верхней его кромке в отверстиях. Для измерения уровня воды каждый карман оборудуется переносным игольчатым уровнемером (шпитценмасштабом) с ценой деления шкалы нониуса 0,1 мм, который закрепляется на металлической стойке, установленной в верхней части откоса выше измеряемого уровня воды.

На рисунках 1 и 2 показан изолированный отсек для определения фильтрационных потерь.



1 – отсек для измерения фильтрационных потерь; 2 – водонепроницаемая перемычка; 3 – карман; 4 – анкерная опора

**Рисунок 1 – Изолированный отсек для определения фильтрационных потерь**

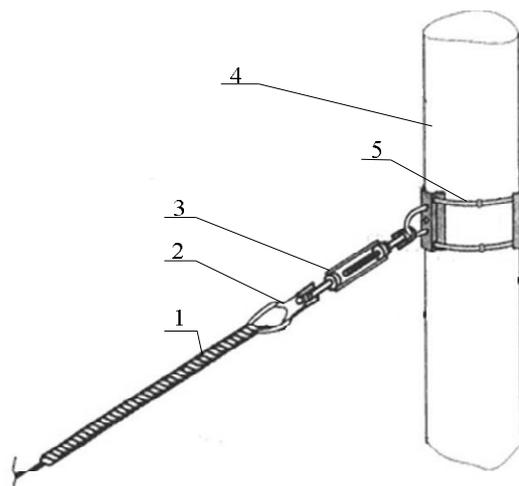


1 – отсек для измерения фильтрационных потерь; 2 – водонепроницаемая перемычка; 3 – паз; 4 – игольчатый уровнемер; 5 – металлическая стойка; 6 – гидроизоляция; 7 – отверстия; 8 – металлополимерный трос; 9 – анкерная опора; 10 – светонепроницаемая полимерная пленка; 11 – трос поперечный; 12 – карман; 13 – ряд отверстий; 14 – внешнее полотнище кармана; 15 – монтажные петли; 16 – трос

**Рисунок 2 – Карманы для измерения фильтрации**

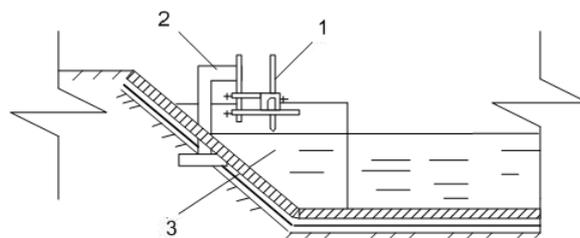
На рисунке 3 показан узел крепления тросов с береговым анкером, на рисунке 4 – крепление игольчатого уровнемера к откосу канала.

Технология монтажа конструкции изолированного отсека производится в следующей последовательности: после опорожнения канала средствами ручной механизации устраивают пазы на дне и откосах канала, на дамбах канала вручную монтируют анкерные опоры, производят закладку двух полимерных водонепроницаемых перемычек в пазы с последующей гидроизоляцией. Металлополимерный трос продевают в отверстия на перемычках и закрепляют на анкерных опорах внатяжку, таким образом две полимерные водонепроницаемые перемычки принимают устойчивое криволинейное положение.



1 – металлополимерный трос; 2 – коуш; 3 – талреп;  
 4 – береговой анкер; 5 – хомут ленточный

**Рисунок 3 – Узел крепления тросов с береговым анкером**



1 – игольчатый уровнемер; 2 – металлическая стойка; 3 – карман

**Рисунок 4 – Крепление игольчатого уровнемера к откосу канала**

Перемычки при малой ширине канала (менее 7–10 м) допускается устраивать при помощи ручной лебедки (ЛР-1 или УТМ-0,8), при ширине канала более 10 м монтаж ведут малым бульдозером (ЭО-2621) или трактором малой мощности (например, ХТЗ-3510). Между водонепроницаемыми перемычками натягивают тент из светонепроницаемой полимерной пленки, в которую заранее впаивают поперечные тросы, тросы присоединяют при помощи петель к анкерным опорам, которые расположены на дамбах канала.

При просачивании воды через облицовку канала уровень воды в изолированном отсеке и, соответственно, в карманах с внешней стороны изолированного отсека падает на величину  $\Delta h$  за время  $t$ . Затем определяют удельный фильтрационный расход и осредненный коэффициент фильтрации облицовки по формулам:

$$q_{\phi} = \frac{Q_{\phi}}{L} = \alpha \frac{\Delta h}{t} (b + 2h_{cp} \sqrt{1 + m^2}), \quad (1)$$

$$k'_{обл} = \beta \frac{\Delta h \delta_{обл}}{t(h_{cp} + \delta_{обл})L}, \quad (2)$$

где  $q_{\phi}$  – удельный фильтрационный расход, л/(сут·м);

$Q_{\phi}$  – суммарный фильтрационный расход из изолированного отсека длиной  $L$ , л/сут;

$L$  – длина изолированного отсека, м;

$\alpha$  – коэффициент соответствия размерностей, равен  $8,64 \cdot 10^4$  л·с/(сут·мм·м<sup>2</sup>);

$\Delta h$  – падение уровня в кармане, мм;

$t$  – время, в течение которого происходит падение уровня воды на величину  $\Delta h$ , с;

$b$  – ширина канала по дну, м;

$h_{\text{cp}}$  – средняя глубина воды в изолированном отсеке, м;

$m$  – коэффициент заложения откосов;

$k'_{\text{обл}}$  – осредненный коэффициент фильтрации противофильтрационной облицовки, включающей экран из полимерных материалов, например геомембрану из полиэтилена или его отходов, см/с;

$\beta$  – коэффициент соответствия размерностей,  $\beta = 8,64 \cdot 10^{-5}$ ;

$\delta_{\text{обл}}$  – толщина облицовки, м.

Для апробации расчетных формул (1) и (2) были проведены расчеты удельного фильтрационного расхода и осредненного коэффициента фильтрации для четырех участков БСК-3: ПК 0 – ПК 12 + 00; ПК 12 + 00 – ПК 16 + 50; ПК 16 + 50 – ПК 24 + 50; ПК 24 + 50 – ПК 31 + 50.

В таблице 1 приведены результаты апробации нового способа определения потерь на фильтрацию (по патенту № 2530995) с данными натурных исследований на БСК-3.

Анализ полученных результатов показывает, что расхождение удельных потерь на фильтрацию колеблется в пределах 0,6–46,5 %, при этом наилучшая сходимость результатов получена на отсеках Ia ( $\varepsilon = 1,2$  %), III ( $\varepsilon = 0,6$  %) и IV ( $\varepsilon = 21,7$  %). В остальных случаях расхождение результатов определения потерь может быть обусловлено погрешностями при проведении натурных исследований, а также нарушением целостности облицовки на некоторых участках.

Рассматривая вопрос применимости расчетных формул (1) и (2) для количественного определения потерь из необлицованных каналов, провели сравнительные расчеты по предложенным зависимостям, а также по уже известным формулам для случая свободной фильтрации.

Расчет фильтрационного расхода выполнялся по теоретическим формулам В. В. Ведерникова, Б. К. Ризенкампа и А. Н. Костякова [2–4]:

$$q_{\text{ф}} = k_{\text{ф}} (B_{\text{cp}} + A \cdot h_{\text{cp}}), \quad (3)$$

где  $q_{\text{ф}}$  – удельный фильтрационный расход, л/(сут·м);

$k_{\text{ф}}$  – коэффициент фильтрации грунта основания, м/сут;

$B_{\text{cp}}$  – ширина канала по урезу, м:

$$B_{\text{cp}} = \varepsilon + 2mh_{\text{cp}};$$

$\varepsilon$  – ширина по дну, м;

$m$  – коэффициент заложения откосов канала;

$h_{\text{cp}}$  – средняя глубина воды в канале, м;

$A$  – коэффициент, определяемый по СНиП 2.06.03-85 [4].

$$q_{\text{ф}} = k_{\text{ф}} \cdot \mu (B_{\text{cp}} + 2 \cdot h_{\text{cp}}) \text{ при } \frac{\varepsilon}{h_{\text{cp}}} < 4, \quad (4)$$

где  $\mu$  – коэффициент, определяемый в зависимости от  $m$  и  $\frac{\varepsilon}{h_{\text{cp}}}$ .

$$q_{\text{ф}} = k_{\text{ф}} (\varepsilon + 2 \cdot v \cdot h_{\text{cp}} \cdot \sqrt{1 + m^2}), \quad (5)$$

где  $v$  – коэффициент, учитывающий боковое поглощение воды в откосы канала.

**Таблица 1 – Результаты апробации нового способа определения потерь на фильтрацию (по патенту № 2530995) с данными натуральных исследований на канале с облицовкой БСК-3**

Натурные данные по отсекам на БСК-3 [1]								Расчетные данные по новому способу определения потерь	
Отсек	Расположение отсека в канале, км	Длина отсека $L$ , м	Средняя глубина воды в отсеке $h_{\text{ср}}$ , м	Период наблюдений $t$ , сут	Падение уровня воды $\Delta h$ , мм	Удельные потери на фильтрацию $q_{\text{ф}}$ , м <sup>3</sup> /(сут·м)	Средний коэффициент фильтрации облицовки $k'_{\text{обл. ср}}$ , см/с	Удельные потери на фильтрацию $q_{\text{ф}}$ , м <sup>3</sup> /(сут·м)	Расхождение с натурными данными $\varepsilon$ , %
Ia	0,0–1,2	1200	2,80	8,12	844	2,000	$5,53 \cdot 10^{-6}$	1,976	1,2
Iб	0,0–1,2	1200	2,80	8,64	285	0,458	$1,26 \cdot 10^{-6}$	0,628	37,1
II	1,20–1,65	450	2,90	9,00	180	0,729	$2,28 \cdot 10^{-6}$	0,390	46,5
III	1,65–2,45	800	2,87	10,00	90,5	0,174	$0,61 \cdot 10^{-6}$	0,175	0,6
IV	2,45–3,15	700	2,16	8,75	280	0,657	$2,84 \cdot 10^{-6}$	0,514	21,7
Примечание – На отсеке Ia приведены данные наблюдений до проведения инъекции цементным раствором под плитами, на отсеке Iб – после проведения инъекций.									

Исходные данные для расчета удельных потерь на фильтрацию из канала в земляном русле представлены в таблице 2.

**Таблица 2 – Исходные данные для расчета удельных потерь на фильтрацию из канала в земляном русле**

Длина участка (отсека) $L$ , м	Средняя глубина воды в отсеке $h_{cp}$ , м	Период наблюдений $t$ , сут	Падение уровня воды $\Delta h$ , м	Заложение откосов $m$	Ширина канала по дну, м	Коэффициент $\nu$	Коэффициент $\mu$
50	1,75	1,0	0,5	2,0	3,0	1,25	0,62

Результаты расчетов, а также их расхождения сведены в таблицу 3.

**Таблица 3 – Результаты расчета удельных потерь на фильтрацию из канала в земляном русле**

Удельные потери на фильтрацию $q_{\phi}$ , м <sup>3</sup> /(сут·м)				Расхождение $\varepsilon$ , %		
по формуле (1) (метод изолированных отсеков)	по формуле (3) (В. В. Ведерникова)	по формуле (4) (Б. К. Ризенкампа)	по формуле (5) (А. Н. Костякова)	с формулой (3)	с формулой (4)	с формулой (5)
5,41	8,1	5,02	4,73	33,2	7,3	14,4

Сопоставление результатов расчета по методике изолированных отсеков с результатами, полученными по уже известным зависимостям, показало близкие значения с расхождением в пределах 7,3–14,4 %, что свидетельствует об их достоверности и возможности применения предлагаемой зависимости в практике определения потерь. Несмотря на полученные достаточно сходимые результаты расчетов по методу изолированных отсеков и зависимости В. В. Ведерникова, имеются существенные расхождения в 33,2 %, что объясняется неучетом во втором случае коэффициентов, зависящих от величины коэффициента заложения откосов канала, которые в свою очередь присутствуют в зависимостях (4) и (5).

Таким образом, представленный анализ расчетов свидетельствует о возможности применения расчетных зависимостей метода изолированных отсеков (1) и (2) для определения потерь из облицованных каналов, кроме того, проведенные расчеты показали, что зависимость (1) может применяться для определения фильтрационного расхода из каналов в земляном русле.

#### Список использованных источников

1 Бойчаров, Ю. У. Применение пленочных противофильтрационных экранов для ремонтных работ Большого Ставропольского канала / Ю. У. Бойчаров, Ю. М. Косиченко, Б. И. Сергеев // Гидротехническое строительство. – 1981. – № 6. – С. 40–43.

2 Ведерников, В. В. Теория фильтрации и ее применение в области ирригации и дренажа / В. В. Ведерников. – Л.; М.: Госстройиздат, 1939. – 248 с.

3 Ризенкампа, Б. К. Гидравлика грунтовых вод. Ч. 1 / Б. К. Ризенкампа. – Саратов: Уч. Зап. Саратовского ун-та, 1938.

4 Аверьянов, С. Ф. Фильтрация из каналов и ее влияние на режим грунтовых вод / С. Ф. Аверьянов. – М.: Колос, 1982. – 237 с.