

Оригинальная статья

УДК 502/504:532.5:631.62

DOI: 10.26897/1997-6011-2021-4-90-98

ОСОБЕННОСТИ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ И ФИЛЬТРАЦИОННЫХ РАСЧЕТОВ ОСУШИТЕЛЬНО-ОРОСИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

КОСИЧЕНКО ЮРИЙ МИХАЙЛОВИЧ, д-р техн. наук, профессор

Kosichenko-11@mail.ru

БАЕВ ОЛЕГ АНДРЕЕВИЧ ✉, канд. техн. наук, начальник гидротехнического отдела

oleg-baev1@yandex.ru ✉

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации «РосНИИПМ»; 346400, г. Новочеркасск, пр. Баклановский, 190. Россия

Даны расчеты основных характеристик проводящей сети осушительно-орошительной системы. Представлена методика гидравлического расчета проводящей сети трапециевидального сечения, подлежащей реконструкции. В качестве исходных данных приняты глубины потока, площадь живого сечения, смоченный периметр, уклон русла канала, коэффициент шероховатости. При этом коэффициент шероховатости должен уточняться по справочным данным с учетом состояния русла. Расчету подлежат следующие параметры канала: гидравлический радиус, коэффициент Шези, средняя скорость потока и расход воды. По результатам расчетов в табличной форме приводятся средние скорости потока и расход воды, а также построены графики зависимостей. Методика определения потерь воды из магистральных каналов в земляном русле включает в себя определение средневзвешенного коэффициента фильтрации грунта основания по данным изысканий (пробуренных скважин), расчет свободной фильтрации, а затем, с учетом близкого залегания УГВ на глубине 0,3-2,5 м, определяется подпертая фильтрация по СП 100.13330.2016 и вычисляется коэффициент полезного действия каналов. По результатам гидравлических расчетов магистральных каналов осушительно-орошительной системы получены основные гидравлические характеристики для магистрального канала МК при коэффициентах шероховатости для морфоствора 1 $n=0,030$ и для морфоствора 2 $n=0,040$. Для магистрального канала МК2 получены характеристики при $n=0,040$ и $n=0,030$. Для магистрального осушительного коллектора ГД приведены результаты гидравлических параметров при $n=0,040$, $n=0,055$ морфоствора 4. По результатам фильтрационных расчетов получены значения фильтрационных потерь из магистральных каналов при подпертой фильтрации, когда УГВ находится в пределах 0,3-2,5 м, КПД магистрального канала составил $\eta_{\text{МК}}=0,971$, что превышает нормативное значение по СП 100.13330.2016 – $\eta_{\text{нор}}=0,90$. Представлены сводные результаты фильтрационных расчетов.

Ключевые слова: методика гидравлического расчета, магистральный канал, методика фильтрационного расчета, коэффициент фильтрации, подпертая фильтрация

Формат цитирования: Косиченко Ю.М., Баев О.А. Особенности гидравлических и фильтрационных расчетов осушительно-орошительной системы // Природообустройство. – 2021. – № 4. – С. 90-98. DOI: 10.26897/1997-6011-2021-4-90-98.

© Косиченко Ю.М., Баев О.А., 2021

Scientific article

FEATURES OF HYDRAULIC AND FILTRATION CALCULATIONS OF THE DRAINAGE AND IRRIGATION SYSTEM

KOSICHENKO YURI MIKHAILOVICH, doctor of technical sciences, professor

Kosichenko-11@mail.ru

BAEV OLEG ANDREEVICH , candidate of technical sciences,
head of the hydraulic engineering department

oleg-baev1@yandex.ru 

Russian Research Institute of Land Reclamation «RosNIIPM»; 346400, Novocherkassk, pr. Baklanovskij, 190. Russia

Calculations of the main characteristics of the conducting network of the drainage and irrigation system are given. The method of hydraulic calculation of the conducting network of the trapezoidal cross-section to be reconstructed is presented. The following data are taken as the initial data: the depth of the flow, the area of the live section, the wetted perimeter, the slope of the channel bed, the roughness coefficient. In this case, the roughness coefficient should be specified according to the reference data, taking into account the state of the riverbed. The following channel parameters are subject to calculation: hydraulic radius, Shezi coefficient, average flow rate and water flow rate. Based on the results of the calculations, average flow rates and water consumption are given in a tabular form, and graphs of the dependencies are constructed. The method for determining water losses from main channels in the earth bed includes the determination of the weighted average filtration coefficient of the ground base according to surveys (drilled wells), the calculation of free filtration, and then taking into account the close occurrence of UGV at a depth of 0.3-2.5 m, the propped filtration is determined according to SP 100.13330.2016 and the efficiency of the channels is calculated. Based on the results of hydraulic calculations of the main channels of the drainage and irrigation system, the main hydraulic characteristics for the main channel of the MC are obtained at the roughness coefficients for the morphostore 1 $n = 0.030$ and for morphostore 2 $n = 0.040$. For the main channel MC2, the characteristics are obtained at $n = 0.040$ and $n = 0.030$, which differ significantly from each other. For the main channel MC2, the characteristics are obtained at $n = 0.040$ and $n = 0.030$. For the main drainage collector of the gas turbine engine, the results of the hydraulic parameters are given at $n = 0.040$, $n = 0.055$ morphostvora 4. According to the results of filtration calculations, the values of filtration losses from the main channels were obtained for propped filtration, when the UGV is in the range of 0.3-2.5 m, the efficiency of the main channel was $\eta_{\text{МК}} = 0.971$, what exceeds the standard value for the joint venture 100.13330.2016 – $\eta_{\text{НОП}} = 0.90$. The summary results of filtration calculations are presented.

Keywords: method of hydraulic calculation, main channel, method of filtration calculation, filtration coefficient, supported filtration

Format of citation: Kosichenko Yu.M., Baev O.A. Features of hydraulic and filtration calculations of the drainage and irrigation system // Prirodoobustrojstvo. – 2021. – № 4. – С. 90-98. DOI: 10.26897/1997-6011-2021-4-90-98.

Введение. На осушительно-оросительной системе общая протяженность магистральных каналов составляет 53,89 км, в том числе магистральный канал МК имеет протяженность 23,24 км, магистральный канал МК1-12,04 км, магистральный канал МК2-18,61 км. Магистральный осушительный коллектор имеет протяженность 28,51 м.

Вода из озера забирается в центральный магистральный канал МК и далее соединяется с магистральными каналами МК1 и МК2. Сброс всех магистральных каналов осуществляется в магистральный осушительный коллектор ГД, который сбрасывает оставшийся объем воды в озеро.

Установлена пропускная способность всех данных каналов: МК – 6,0 м³/с; МК1 – 5,0 м³/с; МК2 – 5,0 м³/с; ГД – 6,0 м³/с. Общая площадь орошения составляет 3678 га. Способ водоотведения и подачи воды – самотечный,

способ полива – дождеванием, напуском и подпочвенным. Коэффициенты полезного действия (КПД) магистральных каналов приняты не ниже: МК – 0,98; МК1 и МК2 – 0,88. Полив сельскохозяйственных культур осуществляется для овощей + картофеля; зерновых, многолетних трав и естественных сенокосов.

Вопросами проектирования и гидравлическими расчетами каналов занимались П.Г. Киселев [1], А.М. Латышенков [2], А.А. Угинчус [3], В.Т. Чоу [4], Е.К. Рабкова [5], Ю.М. Косиченко и О.А. Баев [6-8], А.Г. Алимов [9], Ф.К. Абдразаков [10], Н.В. Ханов и А.П. Гурьев, В.Н. Щедрин, С.М. Васильев и др. [11, 12].

Материалы и методы исследований. В качестве материалов используем зависимости для гидравлических и фильтрационных расчетов с целью разработки методики расчетов.

1. Принимаем следующие исходные данные: площадь живого сечения – ω , м²;

смоченный периметр – χ , м; уклон дна – i ; коэффициент шероховатости – n .

2. Методика гидравлического расчета каналов включает в себя:

2.1. Расчет гидравлического радиуса

$$R = \frac{\omega}{\chi}, \text{ м.}$$

2.2. Определение коэффициента Шези C по формуле Н.Н. Павловского

$$C = \frac{1}{n} R^y,$$

где $y = 2,5\sqrt{n} - 0,13 - 0,75\sqrt{R}(n - 0,10)$, $\text{м}^{0,5}/\text{с}$.

2.3. Определение средней скорости в канале

$$v = C\sqrt{R \cdot i}, \text{ м/с.}$$

2.4. Расчет расхода воды в канале

$$Q = v \cdot \omega, \text{ м}^3/\text{с.}$$

3. Методика фильтрационного расчета каналов в земляном русле.

3.1. Определяем средневзвешенное значение коэффициента фильтрации грунта, $k_{\text{ф.ср}}$, м/сут. [4]:

$$k_{\text{ф.ср}} = \frac{k_{\text{ф}1} \cdot t_1 + k_{\text{ф}2} \cdot t_2 + k_{\text{ф}3} \cdot t_3}{t_1 + t_2 + t_3},$$

где $k_{\text{ф}1}$, $k_{\text{ф}2}$, $k_{\text{ф}3}$ – коэффициенты фильтрации слоев грунта (по данным изысканий в скважинах), м/сут.; t_1 , t_2 , t_3 – толщина отдельных слоев грунта, м.

3.2. Расчет свободной фильтрации из канала производим по формуле (СП 100.13330.2016):

$$\text{– при } \frac{b}{h_0} < 4$$

$$Q_{\text{ф.мк}} = 0,0116 \cdot k_{\text{ф.ср}} \cdot \mu(B + 2h_0), \text{ м}^3/\text{с на 1 км};$$

– при —

$$Q_{\text{ф.мк}} = 0,0116 \cdot k_{\text{ф.ср}} \cdot (B + A \cdot h_0), \text{ м}^3/\text{с на 1 км},$$

где μ , A – коэффициенты, определяемые по таблице 1.

3.3. При глубине залегания уровня грунтовых вод $h_{\text{г.в}} < 3,0$ м необходимо учесть их влияние (по СП 100.13330.2016):

$$Q_{\text{ф.под}} = Q_{\text{ф}} \cdot \alpha, \text{ м}^3/\text{с на 1 км},$$

где $Q_{\text{ф}}$ – потери при свободной фильтрации, $\text{м}^3/\text{с на 1 км}$; α – коэффициент, учитывающий влияние подпора грунтовых вод, определяемый по таблице 2; $Q_{\text{ф.под}}$ – подпорная фильтрация из канала, $\text{м}^3/\text{с на 1 км}$.

3.4. Определяем КПД канала на всем протяжении $L_{\text{МК}}$:

$$\eta = \frac{Q_{\text{к}} - Q_{\text{ф.под}}}{Q_{\text{к}}}.$$

Целью исследований является проведение гидравлических и фильтрационных расчетов проводящей сети трапецидального сечения осушительно-оросительных систем (магистральных каналов МК, МК1, МК2 и магистрального осушительного канала ГД).

Результаты и обсуждение. Рассмотрим результаты гидравлических расчетов магистральных каналов осушительно-оросительных систем, которые получены по вышеизложенной методике и представлены в таблицах и на графиках.

В таблице 1 приведены результаты расчетов магистрального канала на морфостворе 1 при коэффициенте шероховатости $n = 0,030$, что соответствует каналам в земляном русле в средних условиях содержания [1].

На графике (рис. 1) представлены кривые $Q(H)$ и $v(H)$. Кривая расходов вначале резко возрастает, а затем плавно подходит к максимальному значению, равному $35,58 \text{ м}^3/\text{с}$. Кривая скорости в отличие от кривой расходов практически при всех значениях плавно изменяется. Для морфоствора 2 расходы отличаются от морфоствора 1 в 4,5-5,0 раза в сторону уменьшения, а средние скорости в 1,5-2,0 раза. Объясняется это тем, что для морфоствора 1 коэффициенты шероховатости русла канала составляют 0,030, а для морфоствора 2 они увеличиваются до значения 0,040, или на 33,3%. Во втором случае при $n = 0,030$ гидравлические сопротивления возрастают, что приводит к снижению расходов до максимального значения $6,86 \text{ м}^3/\text{с}$ против расхода для морфоствора 1- $35,58 \text{ м}^3/\text{с}$.

В таблице 2 и на рисунке 2 представлены результаты расчетов расходов и скоростей течения для магистрального канала МК2 при коэффициентах шероховатости $n = 0,040$ и $n = 0,030$. Анализ полученных результатов на рисунке 4 свидетельствует о том, что при снижении коэффициентов шероховатости с $n = 0,040$ до $n = 0,030$ расходы увеличиваются при одинаковых уровнях воды, аналогично изменяются и средние скорости течения.

Расчет кривых зависимостей $Q(H)$ и $v(H)$. МК – морфоствор 1, ПК0 + 79Calculation of curves of dependencies $Q(H)$ and $v(H)$. MC – morphostvor 1, PK0 + 79

Характеристика <i>Characteristics</i>	Значение характеристик при разных уровнях <i>Value of characteristics at different levels</i>				
Уровень, м <i>Level, m</i>	7,96	8,53	9,22	9,99	17,0
Расход воды, м ³ /с <i>Water consumption, m³/s</i>	0,118	2,26	8,13	19,32	35,58
Элемент потока <i>Element of flow</i>	Русло <i>Riverbed</i>	Русло <i>Riverbed</i>	Русло <i>Riverbed</i>	Русло <i>Riverbed</i>	Русло <i>Riverbed</i>
Коэффициент шероховатости <i>Roughness coefficient</i>	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030
Уклон потока, промилле <i>Slope of flow, per mille</i>	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
Ширина, м <i>Width, m</i>	6,7	9,7	12,4	15,4	18,5
Площадь, м ² <i>Square, m²</i>	0,92	5,70	13,3	23,9	37,3
Смоченный периметр, м <i>Wetted perimeter, m</i>	6,7	9,9	13,0	16,3	19,8
Средняя глубина, м <i>Average depth, m</i>	0,14	0,59	1,07	1,55	2,02
Средняя скорость, м/с <i>Average speed, m/s</i>	0,128	0,395	0,611	0,808	0,954
Расход воды, м ³ /с <i>Water consumption, m³/s</i>	0,118	2,26	8,13	19,32	35,58
Общая ширина, м <i>Total width, m</i>	6,7	9,7	12,4	15,4	18,5
Общая площадь, м ² <i>Total square, m²</i>	0,92	5,70	13,3	23,9	37,3

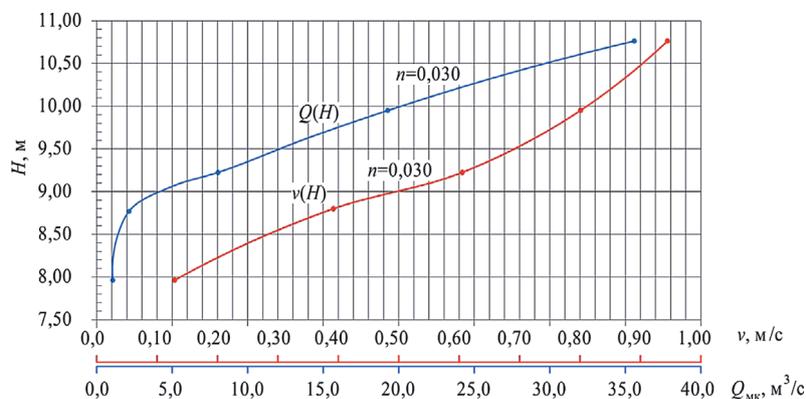


Рис. 1. Кривая зависимости расходов воды (Q), средней скорости (v) от уровней (H). МК – морфоствор 1, ПК0 + 79

Fig. 1. Curve of levels (H) dependence of water consumption (Q), average speed (v). MC – morphostvor 1, PK0 + 79

Расчет кривой зависимости $Q(H)$. МК 2 – морфоствор 5, ПК151 + 16Calculation of the dependence curve $Q(H)$. MC2 – morphostvor 5, PK151 + 16

Характеристика <i>Characteristics</i>	Значение характеристик при разных уровнях <i>Value of characteristics at different levels</i>			
Уровень, м БС-77 <i>Level, m BS-77</i>	8,51	8,99	9,51	9,96
Расход воды, м ³ /с <i>Water consumption, m³/s</i>	0,211	1,67	4,77	9,16
Элемент потока <i>Flow element</i>	Русло <i>Riverbed</i>	Русло <i>Riverbed</i>	Русло <i>Riverbed</i>	Русло <i>Riverbed</i>
Коэффициент шероховатости <i>Roughness coefficient</i>	0,030	0,030	0,030	0,030
Уклон потока, промилле <i>Slope of flow, per mille</i>	0,22	0,22	0,22	0,22
Ширина, м <i>Width, m</i>	6,5	9,6	13,0	16,1
Площадь, м ² <i>Square, m²</i>	1,40	5,34	11,1	17,7
Смоченный периметр, м <i>Wetted perimeter, m</i>	6,5	9,8	13,3	16,6
Средняя глубина, м <i>Average depth, m</i>	0,22	0,56	0,86	1,10
Средняя скорость, м/с <i>Average speed, m/s</i>	0,151	0,314	0,429	0,517
Расход воды, м ³ /с <i>Water consumption, m³/s</i>	0,211	1,67	4,77	9,16
Общая ширина, м <i>Total width, m</i>	6,5	9,6	13,0	16,1
Общая площадь, м ² <i>Total square, m²</i>	1,40	5,34	11,1	17,7

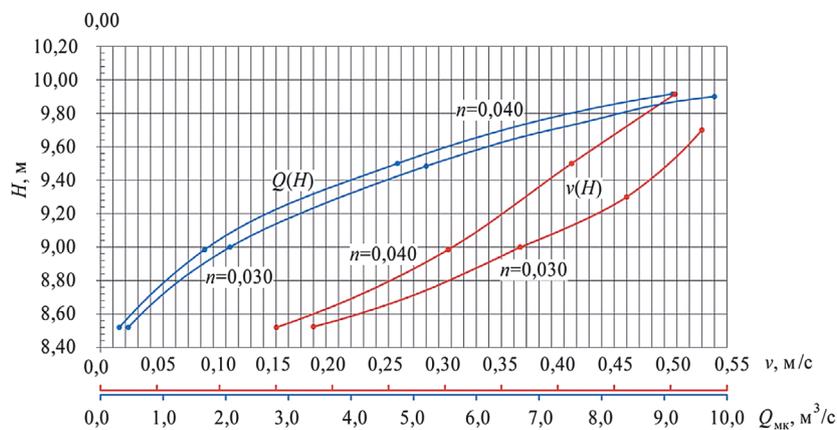


Рис. 2. Кривая зависимости расходов воды (Q), средней скорости (v) от уровней (H). МК2 – морфоствор 5, ПК151 + 16

Fig. 2. Curve of levels (H) dependence of water consumption (Q), average speed (v). MC2 – morphostvor 5, PK151 + 16

В таблице 3 и на рисунке 3 приведены результаты изменения расходов и средних скоростей в магистральном осушительном

коллекторе ГД при коэффициентах шероховатости русла канала при $n = 0,055$ и $n = 0,040$.

Таблица 3

Расчет кривой зависимости $Q(H)$. ГД – морфоствор 4, ПК199 + 61

Table 3

Calculation of the dependence curve $Q(H)$. GD – morphostvor 4, PK199 + 61

Характеристика <i>Characteristics</i>	Значение характеристик при разных уровнях <i>Value of characteristics at different levels</i>					
Уровень, м БС-77 <i>Level, m BS-77</i>	458,07	458,58	459,36	460,15	460,86	461,53
Расход воды, м ³ /с <i>Water consumption, m³/s</i>	0,11	1,20	8,25	20,5	36,3	54,3
Элемент потока <i>Element of flow</i>	Русло <i>Riverbed</i>	Русло <i>Riverbed</i>	Русло <i>Riverbed</i>	Русло <i>Riverbed</i>	Русло <i>Riverbed</i>	Русло <i>Riverbed</i>
Коэффициент шероховатости <i>Coefficient of roughness</i>	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040
Уклон потока, промилле <i>Slope of flow, per mille</i>	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27
Ширина, м <i>Width, m</i>	6,4	14,7	18,4	22,0	25,2	28,3
Площадь, м ² <i>Square, m²</i>	1,24	6,55	19,5	35,5	52,3	70,2
Смоченный периметр, м <i>Wetted perimeter, m</i>	6,4	14,8	18,8	22,7	26,3	29,6
Средняя глубина, м <i>Average depth, m</i>	0,20	0,45	1,06	1,62	2,07	2,48
Средняя скорость, м/с <i>Average speed, m/s</i>	0,09	0,20	0,423	0,57	0,70	0,77
Расход воды, м ³ /с <i>Water consumption, m³/s</i>	0,11	1,20	8,25	20,5	36,3	54,3
Общая ширина, м <i>Total width, m</i>	6,4	14,7	18,4	22,0	25,2	28,3
Общая площадь, м ² <i>Total square, m²</i>	1,24	6,55	19,5	35,5	52,3	70,2

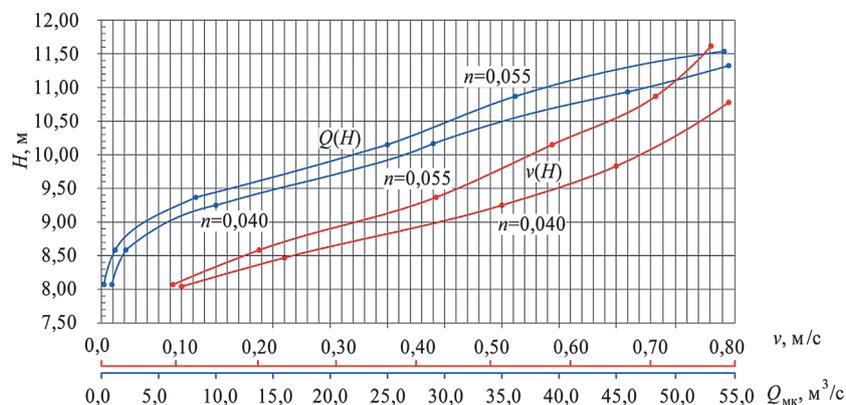


Рис. 3. Кривая зависимости расходов воды (Q) от уровней (H). ГД – морфоствор 4, ПК199 + 61

Fig. 3. Curve of levels (H) dependence of water consumption (Q). GD – morphostvor 4, PK199 + 61

Рассмотрим фильтрационные расчеты магистральных каналов в земляном русле, расчет МК на ПК0 + 24.

Определяем средневзвешенный коэффициент фильтрации грунта (по данным изысканий):

$$k_{\text{ср.МК}} = \frac{k_{\text{ф1}} \cdot t_1 + k_{\text{ф2}} \cdot t_2 + k_{\text{ф3}} \cdot t_3}{t_1 + t_2 + t_3} =$$

$$= \frac{0,050 \cdot 1,5 + 0,225 \cdot 4,2 + 0,150 \cdot 0,7}{1,5 + 4,2 + 0,7} = 0,176 \text{ м/сут.},$$

где $k_{\text{ф1}}, k_{\text{ф2}}, k_{\text{ф3}}$ – коэффициенты фильтрации отдельных слоев грунта (по данным изысканий в скважинах), м/сут.; t_1, t_2, t_3 – толщина отдельных слоев грунта, м.

Находим свободную фильтрацию по формуле Ризенкампа (по СП 100.13330.2016) [13]:

$$\text{– при } \frac{b}{h_0} = \frac{4,0}{1,5} = 2,67 < 4, m = 1,5, \mu = 0,98;$$

$$Q_{\text{ф.МК}} = 0,0116 \cdot k_{\text{ф.ср}} \cdot \mu(B + 2h_0) =$$

$$= 0,0116 \cdot 0,176 \cdot 0,98(8,0 + 2 \cdot 1,5) =$$

$$= 0,0220 \text{ м}^3/\text{с на 1 км.}$$

Уровень грунтовых вод (УГВ) в створе на ПК0 + 24 находится на отметке $\nabla 2,00$, поэтому фильтрация в данном створе будет подпертой.

Рассчитаем подпертую фильтрацию при $h_{\text{г.в}} = 2,0$ м. Тогда коэффициент влияния подпора УГВ при $Q_{\text{МК}} = 6,0 \text{ м}^3/\text{с}$ составит $\alpha = 0,34$ (по СП 100.13330.2016):

$$(Q_{\text{ф.МК}}) = Q_{\text{ф.МК}} \cdot \alpha \cdot L_{\text{МК}} = 0,0220 \cdot 0,34 \cdot 23,24 = 0,174 \text{ м}^3/\text{с.}$$

Вычислим КПД на всем протяжении канала $L_{\text{МК}} = 23,24$ км:

$$\eta_{\text{МК}} = \frac{Q_{\text{МК}} - Q_{\text{ф}}}{Q_{\text{МК}}} = \frac{6,0 - 0,174}{6,0} = 0,971.$$

Поскольку рассчитанный КПД МК больше требуемого значения по СП 100.1333.2016 $\eta_{\text{МК}} = 0,971 > \eta_{\text{МК.норм}} = 0,90$ то применение противофильтрационного экрана не требуется.

Аналогичные расчеты выполнены также для других магистральных каналов: МК1, МК2 и магистрального осушительного коллектора (табл. 4).

Общие потери на подпертую фильтрацию будут составлять:

$$\sum Q_{\text{ф}} = Q_{\text{ф.МК}} + Q_{\text{ф.МК1}} = 0,174 + 0,186 = 0,360 \text{ м}^3/\text{с.}$$

Тогда КПД МК + МК1 составит:

$$\eta_{\text{МК}} = \frac{Q_{\text{МК}} - \sum Q_{\text{ф}}}{Q_{\text{МК}}} = \frac{6,0 - 0,360}{6,0} = 0,940.$$

Таблица 4

Сводные результаты расчетов фильтрации из каналов

Table 4

Aggregate calculations results of canals filtration

Наименование водотоков ООС (магистральные каналы) <i>Name of water courses OC (main channels)</i>	Пропускная способность водотоков, м ³ /с <i>Capacity of water courses, m³/s</i>	Средневзвешенный, м/сут коэффициент фильтрации <i>Weighted average filtration coefficient, m/day</i>	Протяженность каналов, км <i>Length of channel, km</i>	Свободная фильтрация из водотоков <i>Free filtration</i>		Подпертая фильтрация, м ³ /с на 1 км <i>Propped filtration, m³/c per 1 km</i>	Общие потери на подпертую фильтрацию по всей длине канала, м ³ /с <i>Total losses on propped filtration along the whole length of the channel, m³/s</i>	КПД каналов на всем протяжении <i>Efficiency of the channel along the whole length</i>
				По формуле Ризенкампа, м ³ /с на 1 км <i>By a formula of Rizenkampf, m³/s per 1 km</i>	По формуле Ведерникова, м ³ /с <i>By a formula of Vedernikov, m³/s</i>			
МК / MC	6	0,176	23,24	0,0220	–	0,00748	0,174	0,971
МК1 / MC1	5	0,257	12,04	0,033	–	0,0155	0,186	0,962
МК2 / MC2	5	0,142	18,61	–	0,0304	0,0102	0,217	0,957
МК+МК1-1-я нитка <i>MC+MC1-1st branch</i>	6	–	35,28	–	–	–	0,360	0,940
МК+МК2-2-я нитка <i>MC+MC2-2nd branch</i>	6	–	41,85	–	–	–	0,391	0,935
Магистрально-осушительный коллектор ГД <i>Main collector drain GD</i>	6	0,148	28,51	–	0,0304	0,0102	0,291	0,942

Таким образом, расчетный КПД 1-й нитки каналов будет не ниже нормативного значения по СП 100.13330.2016:

$$\eta_{\text{МК+МК1}} > \eta_{\text{нор}} (0,94 > 0,90 \div 0,93).$$

В голове канала будет обеспечиваться расход не ниже $Q = 6,0 \text{ м}^3/\text{с}$. Устройство противофильтрационного экрана не требуется.

Потери на подпертую фильтрацию из канала МК2 протяженностью $L_{\text{МК2}} = 18,61 \text{ км}$ составляют:

$$Q_{\text{Ф}_{\text{МК2}}} = (Q_{\text{Ф}})_{\text{подп}_{\text{км}}} \cdot L_{\text{МК2}} = 0,0116 \cdot 18,61 = 0,217 \text{ м}^3/\text{с},$$

где $(Q_{\text{Ф}})_{\text{подп}_{\text{км}}} = 0,0116 \text{ м}^3/\text{с}$ на 1 км.

Общие потери на подпертую фильтрацию для 2-й нитки канала МК + МК2 составят:

$$\sum Q_{\text{Ф}} = Q_{\text{Ф}_{\text{МК}}} + Q_{\text{Ф}_{\text{МК2}}} = 0,174 + 0,217 = 0,391 \text{ м}^3/\text{с}.$$

КПД 2-й нитки канала составляет:

$$\eta_{\text{МК+МК2}} = \frac{Q_{\text{МК}} - \sum Q_{\text{Ф}}}{Q_{\text{МК}}} = \frac{6,0 - 0,391}{6,0} = 0,935.$$

Расчетный КПД 2-й нитки каналов будет не ниже нормативного значения по СП 100.13330.2016:

$$\eta_{\text{МК+МК2}} > \eta_{\text{нор}} (0,935 > 0,90 \div 0,93).$$

Анализ сводных результатов расчета фильтрации из каналов (табл. 4) показывает, что на всех каналах осушительно-оросительной системы наблюдается подпор грунтовых вод с залеганием УГВ до глубины 0,3-3,0 м. В результате фильтрация из каналов

будет подпертой, что приводит к значительному уменьшению потерь на фильтрацию в 2,0-3,0 раза, а КПД водоводов (каналов) возрастает до 0,97.

Сброс из каналов 1-й нитки МК + МК1 и 2-й нитки МК + МК2 осуществляется в магистральный осушительный коллектор ГД с максимальным расходом не более $6 \text{ м}^3/\text{с}$.

Выводы

1. При гидравлических и фильтрационных расчетах каналов осушительно-оросительных систем следует учитывать особенности магистральных каналов, а именно: для земляных русел каналов принимается повышенный коэффициент шероховатости, что часто обусловлено их зарастанием, а при расчетах фильтрационных потерь учитывается высокий уровень грунтовых вод, когда фильтрация из каналов становится подпертой.

2. Особенностью гидравлических расчетов на магистральных каналах является повышенный коэффициент шероховатости земляных русел, достигающий значений для оросительных каналов до 0,030-0,040, а для осушительных и сбросных – до 0,040-0,055.

3. Особенностью фильтрационных расчетов магистральных каналов является высокий УГВ, который приводит к снижению потерь воды на фильтрацию в несколько раз.

4. При определении КПД магистральных каналов следует учитывать потери воды на всем протяжении каналов и максимальную их пропускную способность. В этом случае КПД каналов при наличии подпора грунтовых вод будет превышать нормативное значение по СП 100.13330.2016, которое составляет не менее 0,90-0,93.

Библиографический список

1. Справочник по гидравлическим расчетам / П.Г. Киселев [и др.]. – М.: ЭКОЛИТ, 2011. – 312 с.
2. Каналы систем водоснабжения и ирригации: Рекомендации по проектированию и эксплуатации каналов / А.М. Латышенков [и др.]. – М.: Стройиздат, 1972. – 153 с.
3. Угинчус А.А. Гидравлические и технико-экономические расчеты каналов. – М.: Стройиздат, 1965. – 274 с.
4. Чоу В.Т. Гидравлика открытых каналов: Пер. с англ. – М.: Стройиздат, 1969. – 464 с.
5. Рабкова Е.К. Проектирование и расчет оросительных каналов в земляном русле. – М.: Изд-во УДН, 1990. – 252 с.

References

1. Spravochnik po gidravlicheskim raschetam / P.G. Kiselev [i dr.]. – M.: EKOLIT, 2011. – 312 s.
2. Kanaly sistem vodosnabzheniya i irri-gatsii (Rekomendatsii po proektirovaniyu i eks-pluatatsii kanalov) / A.M. Latyshenkov [i dr.]. – M.: Strojizdat, 1972. – 153 s.
3. Uginchus A.A. Gidravlicheskie i teh-niko-ekonomicheskie raschety kanalov. – M.: Strojizdat, 1965. – 274 s.
4. Chou V.T. Gidravlika otkrytyh kana-lov [per. s angl.]. – M.: Srojizdat, 1969. – 464 s.
5. Rabkova E.K. Proektirovanie i raschet orositelnyh kanalov v zemlyanom rusle. – M.: Iz-vo UDN, 1990. – 252 s.

6. **Косиченко Ю.М., Баев О.А.** Расчет коэффициентов шероховатости русле каналов с неоднородными участками // Природобустройство. – 2020. – № 3. – С. 6-14.

7. **Косиченко Ю.М.** Обобщение данных по шероховатости русел каналов в земляном русле и облицовке // Экология и водное хозяйство. – 2020. – № 2 (5). – С. 155-168.

8. **Косиченко Ю.М., Баев О.А.** Гидравлическая эффективность оросительных каналов при эксплуатации // Вестник МГСУ. – 2020. – Т. 15. – № 8. – С. 1147-1162.

9. **Алимов А.Г.** Современные противofiltrационные конструкции защитных облицовок каналов и водоемов // Гидротехническое строительство. – 2008. – № 7. – С. 26-36.

10. **Абдразаков Ф.К., Рукавишников А.А.** Оценка перспективы использования бетонного полотна в качестве облицованного материала оросительных каналов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. Наука и высшее профессиональное образование. – 2020. – № 4 (60). – С. 327-339.

11. Оросительные системы России: от поколения к поколению: Монография. Ч. 1. / В.Н. Щедрин, А.В. Колганов, С.М. Васильев и др. – Новочеркасск: Геликон, 2013. – 307 с.

12. Осушительные системы двухстороннего действия: научный обзор / С.М. Васильев и др. / ФГБНУ «РосНИИПМ». – Новочеркасск, 2018. – 117 с.

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

Критерии авторства

Косиченко Ю.М., Баев О.А. выполнили теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов

Статья поступила в редакцию 01.07.2021 г.

Одобрена после рецензирования 15.09.2021 г.

Принята к публикации 24.09.2021 г.

6. **Kosichenko Yu.M., Baev O.A.** Raschet koefficientov sherohovatosti rusel kanalov s neodnorodnymi uchastkami // Prirodoobustrojstvo. – 2020. – № 3. – S. 6-14.

7. **Kosichenko Yu.M.** Obobshchenie dannyh po sherohovatosti rusel kanalov v zemlyanom rusle i oblitsovke // Ekologiya i vodnoe hozaystvo. – 2020. – № 2(5). – S. 155-168.

8. **Kosichenko Yu.M., Baev O.A.** Gidravlicheskaya effektivnost orositelnyh kanalov pri ekspluatatsii // Vestnik MGSU. – 2020. – T. 15. – № 8. – S. 1147-1162.

9. **Alimov A.G.** Sovremennye protivofiltratsionnye konstruksii zashchitnyh oblitsovok kanalov i vodoemov // Gidrotehnicheskoe stroitelstvo. – 2008. – № 7. – S. 26-36.

10. **Abdrzakov F.K., Rukavishnikov A.A.** Otsenka perspektivy ispolzovaniya betonno go polotna v kachestve oblitsovannogo materiala orositelnyh kanalov // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professionalnoe obrazovanie, 2020. – № 4(60). – S. 327-339.

11. Orositelnye sistemy Rossii: ot pokoleniya k pokoleniyu: monografiya / Shchedrin V.N., Kolganov A.V., Vasilev S.M. i dr. – Ch. 1. – Novocherkassk: Gelikon, 2013. – 307 s.

12. Osushitelnye sistemy dvuhstoronnego dejstviya: nauch. obzor / S.M. Vasilev [i dr.]; FGBNU «RosNIIPM». – Novocherkassk, 2018. – 117 s. – Dev. v VINITI 06.08.18, № 90-V2018.

13. **Averyanov S.F.** Filtratsiya iz kanalov i ee vliyanie na rezhim gruntovyh vod. – M.: Kolos, 1982. – 237 s.

Criteria of authorship

Kosichenko Yu.M., Baev O.A. carried out theoretical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript, have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Conflict of interests

The authors state that there are no conflicts of interests

The article was submitted to the editorial office 01.07.2021

Approved after reviewing 15.09.2021

Accepted for publication 24.09.2021