

УДК 621.643:532

DOI: 10.31774/2658-7890-2019-2-45-62

**Г. А. Сенчуков, А. И. Тищенко, В. Д. Гостищев**

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

## **МЕТОДИКА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСЧЕТА САМОТЕЧНОЙ ТРУБЧАТОЙ СЕТИ НА ПЯТОЙ ОЧЕРЕДИ БОЛЬШОГО СТАВРОПОЛЬСКОГО КАНАЛА**

Целью исследований являлась разработка алгоритма гидравлического расчета самотечной трубчатой сети каналов на пятой очереди Большого Ставропольского канала. Для достижения поставленной цели выполняется поэтапный расчет требуемого расхода воды, начиная с расхода дождевальных машин, одновременно выполняющих полив площади севооборотного участка, подвешенного к выводному трубопроводу-распределителю младшего порядка. Следующим этапом является определение расхода воды в трубопроводе-распределителе, из которого производится забор воды всеми распределителями младшего порядка одного хозяйства. Выполнение очередной задачи заключается в определении расхода воды (с учетом потерь по длине и местных) в межхозяйственном трубопроводе-распределителе, который обслуживает водой несколько хозяйств. Заключительным является расчет необходимого расхода воды в магистральном трубопроводе-распределителе с учетом потерь напора по длине и местных потерь в разветвлениях по его трассе. Материалом исследований явилась разработка методических рекомендаций по реконструкции и строительству мелиоративных систем и сооружений на основе использования деривационного принципа (на примере предгорной зоны Ставропольского края). Методы исследования базируются на использовании базовых теоретических и эмпирических зависимостей известных ученых в области гидравлики мелиоративных сооружений. Основной вывод заключается в том, что опыт строительства и эксплуатации Большого Ставропольского канала следует применить при проектировании и строительстве новых оросительных систем деривационного типа в горных и предгорных условиях.

Ключевые слова: самотечная трубчатая сеть каналов, расчет гидравлических характеристик, дождевание, линейные и местные потери напора, распределительный трубопровод, потери напора.

**G. A. Senchukov, A. I. Tishchenko, V. D. Gostishchev**

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

## **METHOD OF HYDRAULIC CALCULATION OF THE GRAVITY TUBULAR NETWORK AT THE FIFTH LINE OF THE GREAT STAVROPOL CANAL**

The purpose of the research was to develop an algorithm for the hydraulic calculation of a gravity tubular network of canals on the fifth line of the Great Stavropol Canal. To achieve this goal a step-by-step calculation of the required water flow is performed, starting with the consumption of sprinkling machines, at the same time fulfilling the watering of the area of crop rotation section, suspended to the output distribution pipeline field ditch. The next step is the es-

timation of water disposal in the distribution pipeline, from which water is withdrawn by all field ditches of a single farm. The next task is the estimation of water disposal (taking into account both losses by length and local ones) in the inter-farm distribution pipeline which serves several households with water. The final stage is the calculation the required water flow in the main distribution pipeline, taking into account the pressure losses along the length and local losses in the branches along its route. The research material was the development of methodological recommendations for reconstruction and construction of land-reclamation systems and structures based on the use of the derivational principle (by the example of the foothill zone of Stavropol Territory). The research methods are based on the use of basic theoretical and empirical dependencies of famous scientists in the field of hydraulics of land reclamation facilities. The main conclusion is that the experience of construction and operation of the Great Stavropol Canal should be applied in the design and construction of new irrigation systems of diversion type in mountainous and foothill conditions.

Key words: gravity tubular network of canals, calculation of hydraulic characteristics, sprinkling, linear and local pressure loss, distribution pipeline, pressure loss.

**Введение.** Задача состоит в том, что головное водозаборное сооружение пятой очереди Большого Ставропольского канала, берущее воду из источника орошения, должно быть выполнено на оптимальный расход воды, который может обеспечить бесперебойное орошение сельскохозяйственных культур на полях севооборота, при этом не должны потребляться лишние объемы воды из источника. В связи с этим возникла необходимость разработать алгоритм гидравлического расчета самотечной трубчатой сети каналов с учетом линейных и местных потерь напора водного потока.

Новизна исследования состоит в разработке методики расчета гидравлических характеристик потока и геометрических характеристик распределительных трубопроводов (РТ), начиная с распределителя младшего порядка и заканчивая расчетом магистрального трубопровода (МТ).

**Материалы и методы.** Материалом исследований явилась разработка методических рекомендаций по реконструкции и строительству мелиоративных систем и сооружений на основе использования деривационного принципа (на примере предгорной зоны Ставропольского края)<sup>1</sup>.

Гидравлический расчет закрытой оросительной сети состоит в под-

---

<sup>1</sup> Провести исследование и разработать методические рекомендации по реконструкции и строительству мелиоративных систем и сооружений на основе использования деривационного принципа (на примере предгорной зоны Ставропольского края): отчет о НИР (заключ.): 2.1.3 / ФГБНУ «РосНИИПМ»; рук.: Сенчуков Г. А. – Новочеркасск, 2016. – 245 с. – Исполн.: Сенчуков Г. А. [и др.]. – № ГР АААА-А16-116040760135-0. – Инв. № АААА-Б17-217011220002-0.

боре оптимальных диаметров трубопроводов, соответствующих их расчетным и максимальным расходам при соблюдении допустимых скоростей движения воды, расчете потерь напора по длине и потерь от местных сопротивлений [1–8].

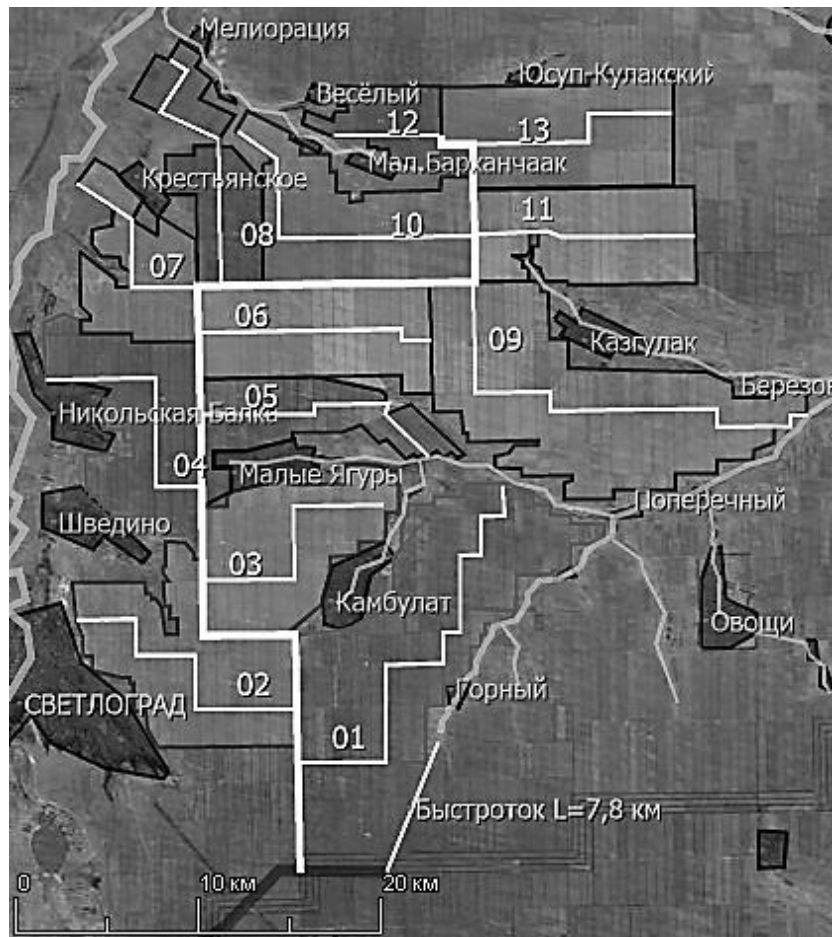
Основная особенность гидравлического расчета закрытой оросительной сети состоит в создании деривационных оросительных систем, обладающих высокой экологической (С. М. Васильев [9, 10]) и эксплуатационной (В. Н. Щедрин [11, 12], Ц. Е. Мирцхулава [13], Ю. М. Косиченко [14] и др. [15, 16]) надежностью. Для выполнения этого условия необходимо обеспечить создание требуемых на выходе напоров (с учетом обеспечения напора для полива и мини-ГЭС [17–19] для перемещения дождевальных машин). Это может достигаться за счет постепенного увеличения диаметров труб до экономически обоснованных параметров.

Методы исследования базируются на использовании базовых теоретических и эмпирических разработок известных ученых в области гидравлики мелиоративных трубчатых сооружений [3–8].

Для выработки алгоритма гидравлического расчета самотечной трубчатой сети каналов составляется линейная схема оросительной сети, на которой показывается взаимное расположение всех трубопроводов и места подключения дождевальных устройств.

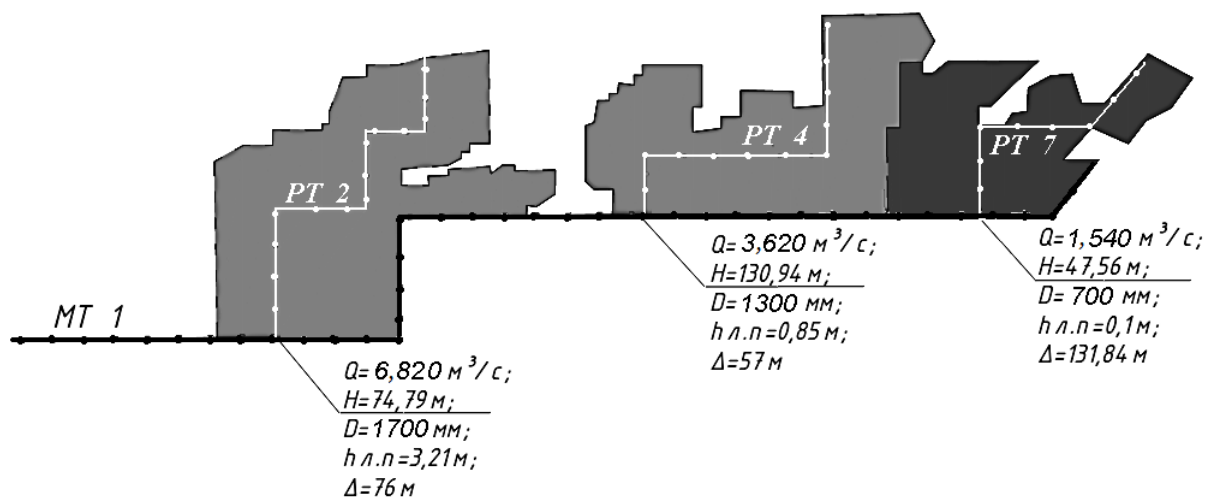
При разработке линейной схемы с последующей детализацией должен учитываться ситуационный план севооборотного массива или нескольких угодий (рисунок 1) с показом рельефа местности и естественных препятствий при трассировании трубчатых водоводов.

Для каждого отдельного севооборотного массива или небольшого количества сельскохозяйственных угодий сельхозпроизводителя приводится линейная схема этого объекта с более детализированной информацией в соответствии с требованиями по проектированию [8]. На рисунке 2 приведена линейная схема МТ 1 с подсоединенными к нему РТ 2, РТ 4 и РТ 7.



01–13 – номера возможных РТ и соответствующие им номера севооборотных участков

**Рисунок 1 – Трассировка магистрального водовода и места подсоединения возможных РТ**



**Рисунок 2 – Линейная схема МТ 1**

Методика расчета по приведенной на рисунке 2 линейной схеме заключается в следующем:

- по известной площади орошаемого массива определяется количество дождевальных машин и число выводных трубопроводов, подводящих воду к гидрантам;

- вычисляется расход в голове каждого выводного трубопровода с учетом потерь напора на линейные и местные сопротивления;

- по известному количеству выводных трубопроводов определяется расход воды в голове РТ с учетом потерь напора на сопротивления по длине и в местах подсоединения выводных трубопроводов;

- по известным расходам в голове каждого РТ определяется расход МТ на каждом перегоне между РТ, он суммируется в нарастающем итоге начиная с последнего участка МТ между последним и предпоследним РТ с учетом потерь на сопротивление по длине и местных потерь в месте соединения начала РТ и магистрального;

- таким же образом определяют расходы на очередных участках МТ, последовательно приближаясь к головному водозаборному сооружению, пропускную способность которого необходимо определить к данной линейной схеме МТ.

**Результаты и обсуждение.** С учетом вышеприведенной методики алгоритм гидравлического расчета самотечной трубчатой сети магистрального канала первой нитки представляется следующим.

1 При максимальной ординате графика гидромодуля  $q_0$  (л/(с·га)) определяется расход нетто  $Q_{нт}^{св} = q_0 \cdot \omega$  общей площади орошения  $\omega$  (га) севооборотного участка, подвешенной к РТ.

2 С учетом КПД закрытой оросительной сети  $\eta = 0,98$  вычисляется расход брутто  $Q_{бр}^{св} = Q_{нт}^{св} / \eta$  в голове РТ.

3 Определяется количество выводных трубопроводов  $n_{выв}$  к гидрантам орошаемых участков  $n_{выв} = Q_{нт}^{св} / q$ , где  $q$  – расход дождевальной машины, л/с.

4 Вычисляется площадь поливного участка ( $\omega_{\text{пол}}$ ) с гидранта одного выводного трубопровода  $\omega_{\text{пол}} = \omega/n_{\text{выв}}$ , га.

5 Требуемое число дождевальных машин для орошения площади поливного участка определяется по формуле [20, 21]:

$$N = \frac{q_0 \omega_{\text{пол}}}{q K_t K} \quad (1)$$

где  $N$  – требуемое число дождевальных машин на один выводной трубопровод, шт.;

$K_t$  – коэффициент полезного использования рабочего времени дождевальной машиной, который равен отношению числа часов работы дождевальной машины или установки в течение суток к числу часов в сутках,  $K_t = 0,583–0,835$ ;

$K$  – обобщенный коэффициент использования дождевальной машины или установки,  $K \cong 0,7–0,75$  [21].

Этот коэффициент представляет собой произведение следующих пяти коэффициентов [21]:

$$K = K_{\text{и}} \cdot K_{\text{з.и}} \cdot K_{\text{о}} \cdot K_{\text{п}} \cdot K_{\text{и.в}}$$

где  $K_{\text{и}} = 0,9$  – коэффициент, учитывающий потери на испарение при движении потока капель воды в воздухе из коротко- и среднеструйных дождевальных машин и установок;

$K_{\text{з.и}} = 0,97–1,0$  – коэффициент, характеризующий потери на испарение с поверхности растений за время полива;

$K_{\text{о}} = 0,94–0,95$  – коэффициент, учитывающий покрытие дождем полос отчуждения;

$K_{\text{п}} \cong 0,95$  – коэффициент неравномерности распределения дождя по орошаемой площади;

$K_{\text{и.в}} = 0,90–0,92$  – коэффициент полезного использования рабочего времени дождевальной машины или устройства.

6 Определяется расход (нетто) выводного трубопровода  $Q_{\text{нт}}^{\text{выб}} = N \cdot q$  (у гидранта), л/с.

7 Вычисляется расход (брутто) выводного трубопровода  $Q_{\text{бр}}^{\text{выб}}$  (с учетом КПД  $\eta$ ) в месте присоединения к трубопроводу старшего порядка, л/с:

$$Q_{\text{бр}}^{\text{выб}} = Q_{\text{нт}}^{\text{выб}} / \eta.$$

8 Назначается средняя скорость в живом сечении потока выводного трубопровода по рекомендациям Г. М. Зюликова, В. Швабауэра, О. А. Продоуса и др. [1, 22, 23]. При длине выводных к гидрантам трубопроводов от 50 до 200 м, в зависимости от диаметра трубы, назначается  $v = 3,5\text{--}7,5$  м/с.

9 По принятой скорости при ламинарном режиме движения потока определяется внутренний диаметр выводной трубы, м.

10 Просуммировав расходы брутто всех выводных трубопроводов, вычисляют расход нетто РТ, л/с.

11 Назначается средняя скорость в живом сечении потока РТ по рекомендациям Г. М. Зюликова, В. Г. Дементьева, В. Швабауэра, О. А. Продоуса, L.-E. Janson, V. Elias и др. [1, 21–26] ( $v = 2,5\text{--}5,0$  м/с), и вычисляется его диаметр.

12 С учетом КПД ( $\eta$ ) определяется расчетный расход брутто в голове РТ ( $Q_{\text{бр}}^{\text{распр.}} = \sum Q_{\text{нт}}^{\text{выб}} / \eta$ , л/с) в месте подсоединения его к МТ.

13 Определяются (последовательно) расходы воды и диаметры остальных РТ, присоединенных к МТ вверх по течению (в сторону к водозаборному сооружению МТ), согласно рекомендациям пунктов 1–12 данного алгоритма.

14 Вычисляются расчетные расходы, скорости течения и диаметры ( $Q_{\text{нт}}^{\text{МТ}}$ ,  $Q_{\text{бр}}^{\text{МТ}}$ ,  $v_{\text{МТ}}$ ,  $D_{\text{МТ}}$ ) на каждом участке МТ между РТ.

15 Посредством суммирования полученных расчетных расходов по участкам МТ определяется требуемый расход (брутто), на который выполняется расчет и проектирование головного водозаборного сооружения.

Для обоснования приведенного алгоритма покажем его применение на примере линейной схемы МТ 1, представленной на рисунке 2.

По максимальной ординате графика гидромодуля  $q_0 = 0,27$  (л/(с·га)) и общей площади орошения  $\omega = 4051$  га севооборотного участка, подвешенной к РТ 7, определяем расход нетто, необходимый для полива этого орошаемого участка:

$$Q_{\text{нт}}^{\text{свб}} = q_0 \cdot \omega = 0,27 \cdot 4051 = 1093,77 \text{ л/с.}$$

Вычисляем расход брутто в голове РТ (в месте подсоединения к МТ):

$$Q_{\text{бр}}^{\text{свб}} = Q_{\text{нт}}^{\text{свб}} / \eta = 1093,77 / 0,98 = 1116,09 \text{ л/с.}$$

Находим количество выводных трубопроводов к гидрантам орошаемых участков, приняв расход дождевальной машины  $q = 80$  л/с:

$$n_{\text{выв}} = Q_{\text{нт}}^{\text{свб}} / q = 1093,77 / 80 = 13,67 \cong 14 \text{ шт.}$$

Вычисляем площадь поливного участка с гидранта одного выводного трубопровода:

$$\omega_{\text{пол}} = \omega / n_{\text{выв}} = 4051 / 14 = 289,4 \text{ га.}$$

Определяем требуемое число дождевальных машин для полива данного участка по формуле (1):

$$N = \frac{0,27 \cdot 289,4}{80 \cdot 0,75 \cdot 0,75} = 1,74 \text{ шт.}$$

Принимаем количество дождевальных машин  $N = 2$  шт. и сократим число выводных трубопроводов в два раза.

Определяем расход (нетто) выводного трубопровода у гидранта:

$$Q_{\text{нт}}^{\text{вывб}} = N \cdot q = 2 \cdot 80 = 160 \text{ л/с.}$$

Вычисляем расход (брутто) выводного трубопровода  $Q_{\text{бр}}^{\text{вывб}}$  в месте присоединения к РТ:

$$Q_{\text{бр}}^{\text{вывб}} = Q_{\text{нт}}^{\text{вывб}} / \eta = 160 : 0,98 = 163,3 \text{ л/с.}$$

Согласно рекомендациям В. Г. Дементьева, В. Швабауэра, О. А. Про-



доуса, Л.-Е. Janson и др. [21–25] назначаем среднюю скорость в живом сечении потока выводного трубопровода  $v = 6,5$  м/с.

Определяем внутренний диаметр выводной трубы, применив рекомендации Ф. А. Шевелева [8] и В. А. Большакова [4]:

$$d = 1,129 \sqrt{\frac{Q_{\text{HT}}^{\text{ВЫВ}}}{v}} = 1,129 \sqrt{\frac{0,16}{6,5}} = 0,177 \text{ м.}$$

Принимаем  $d = 0,18$  м и корректируем расход, пропускаемый трубопроводом с принятым внутренним диаметром:

$$Q_{\text{HT}}^{\text{ВЫВ}} = \frac{vd^2}{1,129^2} = \frac{6,5 \cdot 0,18^2}{1,129^2} = 0,165 \text{ м}^3/\text{с.}$$

Тогда  $Q_{\text{бр}}^{\text{ВЫВ}} = Q_{\text{HT}}^{\text{ВЫВ}} / \eta = 165 / 0,98 = 169$  л/с.

Вычисляем расход нетто РТ, л/с:

$$Q_{\text{HT}}^{\text{распр.}} = \sum_1^7 Q_{\text{бр}}^{\text{ВЫВ}} = 7 \cdot 169 = 1183 \text{ л/с.}$$

Назначаем среднюю скорость в живом сечении потока РТ  $v = 4,5$  м/с и вычисляем его диаметр:

$$d = 1,129 \sqrt{\frac{Q_{\text{HT}}^{\text{распр.}}}{v}} = 1,129 \sqrt{\frac{1,183}{4,5}} = 0,58 \text{ м.}$$

Принимаем  $d = 0,6$  м и корректируем расход, пропускаемый РТ с принятым внутренним диаметром:

$$Q_{\text{HT}}^{\text{распр.}} = \frac{vd^2}{1,129^2} = \frac{4,5 \cdot 0,6^2}{1,129^2} = 1,271 \text{ м}^3/\text{с} = 1270 \text{ л/с.}$$

Определяем расход брутто РТ в месте присоединения к МТ и вычисляем его диаметр в конце трассы МТ при скорости течения  $v = 4$  м/с:

$$Q_{\text{бр}}^{\text{распр.}} = Q_{\text{HT}}^{\text{распр.}} / \eta = 1270 / 0,98 = 1296 \text{ л/с} = Q_{\text{HT}}^{\text{MT}},$$

$$d = 1,129 \sqrt{\frac{Q_{\text{HT}}^{\text{MT}}}{v}} = 1,129 \sqrt{\frac{1,296}{4,0}} = 0,64 \text{ м.}$$

Принимаем  $d = 0,7$  м и определяем расход воды тупиковой части МТ:

$$Q_{\text{нт}}^{\text{MT}} = \frac{v d^2}{1,129^2} = \frac{4,0 \cdot 0,7^2}{1,129^2} = 1,538 \text{ м}^3/\text{с} = 1538 \text{ л/с.}$$

Аналогично выполняются расчеты по севооборотным участкам, подвешенным к РТ 4 и РТ 2. Результаты расчетов приведены ниже.

РТ 4:

$$Q_{\text{нт}}^{\text{свб}} = q_0 \cdot \omega = 0,27 \cdot 5914 = 1597 \text{ л/с,}$$

$$Q_{\text{бр}}^{\text{свб}} = Q_{\text{нт}}^{\text{свб}} / \eta = 1597 / 0,98 = 1629,37 \text{ л/с,}$$

$$n_{\text{выб}} = Q_{\text{нт}}^{\text{свб}} / q = 1597 / 80 = 19,96 \cong 20 \text{ шт.,}$$

$$\omega_{\text{пол}} = \omega / n_{\text{выб}} = 5914 / 20 = 295,7 \text{ га,}$$

$$N = \frac{q_0 \omega_{\text{пол}}}{q K_t K} = \frac{0,27 \cdot 295,7}{80 \cdot 0,75 \cdot 0,75} = 1,77 \text{ шт.}$$

Принимаем количество дождевальных машин  $N = 2$  и число выводных трубопроводов 10 шт.:

$$Q_{\text{нт}}^{\text{выб}} = N \cdot q = 2 \cdot 80 = 160 \text{ л/с,}$$

$$Q_{\text{бр}}^{\text{выб}} = Q_{\text{нт}}^{\text{выб}} / \eta = 160 / 0,98 = 163,3 \text{ л/с.}$$

Назначаем среднюю скорость в живом сечении потока выводного трубопровода  $v = 6,5$  м/с и определяем внутренний диаметр выводной трубы:

$$d = 1,129 \sqrt{\frac{Q_{\text{нт}}^{\text{выб}}}{v}} = 1,129 \sqrt{\frac{0,16}{6,5}} = 0,177 \text{ см.}$$

Принимаем  $d = 18$  см, тогда:

$$Q_{\text{нт}}^{\text{выб}} = \frac{v d^2}{1,129^2} = \frac{6,5 \cdot 0,18^2}{1,129^2} = 0,165 \text{ м}^3/\text{с} = 165 \text{ л/с,}$$

$$Q_{\text{бр}}^{\text{выб}} = 165 / 0,98 = 169 \text{ л/с.}$$

Вычисляем расход нетто РТ, л/с:

$$Q_{\text{нт}}^{\text{распр}} = \sum_1^{10} Q_{\text{бр}}^{\text{выб}} = 10 \cdot 169 = 1690 \text{ л/с,}$$

$$d = 1,129 \sqrt{\frac{1,69}{4,5}} = 0,69 \text{ м; } d = 70 \text{ см,}$$

$$Q_{\text{нт}}^{\text{распр}} = \frac{4,5 \cdot 0,7^2}{1,129^2} = 1,73 \text{ м}^3/\text{с} = 1730 \text{ л/с},$$

$$Q_{\text{бр}}^{\text{распр}} = 1730 / 0,98 = 1765 \text{ л/с},$$

$$d = 1,129 \sqrt{\frac{1765}{4,0}} = 0,75 \text{ м.}$$

Принимаем  $d = 0,8$  м – диаметр врезки РТ в МТ и определяем расход воды нетто в МТ:

$$Q_{\text{нт}}^{\text{МТ}} = \frac{4,0 \cdot 0,8^2}{1,129^2} = 2,008 \text{ м}^3/\text{с} = 2008 \text{ л/с.}$$

Вычисляем расход брутто МТ в створе водовыдела 4-го РТ:

$$Q_{\text{бр}}^{\text{МТ}} = \sum_4^7 Q_{\text{нт}}^{\text{МТ}} / \eta = (1538 + 2008) / 0,98 = 3618 \text{ л/с},$$

где  $Q_{\text{нт}}^{\text{МТ}}$  – расход воды нетто в МТ на участке между 4-м и 7-м водозаборами, л/с.

Назначаем среднюю скорость  $v = 3,0$  м/с и определяем диаметр МТ в створе водовыдела 4-го распределителя:

$$d_4^{\text{МТ}} = 1,129 \sqrt{\frac{3618}{3,0}} = 1,24 \text{ м},$$

принимаем  $d_4^{\text{МТ}} = 1,3$  м.

РТ 2:

$$Q_{\text{нт}}^{\text{свб}} = q_0 \cdot \omega = 0,27 \cdot 7871 = 2125 \text{ л/с},$$

$$Q_{\text{бр}}^{\text{свб}} = Q_{\text{нт}}^{\text{свб}} / \eta = 2125 / 0,98 = 2168,54 \text{ л/с},$$

$$n_{\text{выб}} = Q_{\text{нт}}^{\text{свб}} / q = 2125 / 80 = 26,6 \cong 28 \text{ шт.},$$

$$\omega_{\text{пол}} = \omega / n_{\text{выб}} = 7871 / 28 = 281,1 \text{ га},$$

$$N = \frac{q_0 \omega_{\text{пол}}}{q K_t K} = \frac{0,27 \cdot 281,1}{80 \cdot 0,75 \cdot 0,75} = 1,69 \text{ шт.}$$

Принимаем количество дождевальных машин  $N = 2$  и число выводных трубопроводов 14 шт.:

$$Q_{\text{нт}}^{\text{ВЫВ}} = N \cdot q = 2 \cdot 80 = 160 \text{ л/с},$$

$$Q_{\text{бр}}^{\text{ВЫВ}} = Q_{\text{нт}}^{\text{ВЫВ}} / \eta = 160 / 0,98 = 163,3 \text{ л/с}.$$

Назначаем среднюю скорость в живом сечении потока выводного трубопровода  $v = 6,5$  м/с и определяем внутренний диаметр выводной трубы:

$$d = 1,129 \sqrt{\frac{Q_{\text{нт}}^{\text{ВЫВ}}}{v}} = 1,129 \sqrt{\frac{0,16}{6,5}} = 0,177 \text{ см}.$$

Принимаем  $d = 18$  см, тогда:

$$Q_{\text{нт}}^{\text{ВЫВ}} = \frac{6,5 \cdot 0,18^2}{1,129^2} = 0,165 \text{ м}^3/\text{с} = 0,165 \text{ л/с},$$

$$Q_{\text{бр}}^{\text{ВЫВ}} = Q_{\text{нт}}^{\text{ВЫВ}} / \eta = 165 / 0,98 = 169 \text{ л/с}.$$

Вычисляем расход нетто РТ, л/с:

$$Q_{\text{нт}}^{\text{распр}} = \sum_1^{14} Q_{\text{бр}}^{\text{ВЫВ}} = 14 \cdot 169 = 2366 \text{ л/с},$$

$$d = 1,129 \sqrt{\frac{2,366}{4,5}} = 0,825 \text{ м}.$$

Принимаем  $d = 90$  см, тогда:

$$Q_{\text{нт}}^{\text{распр}} = \frac{4,5 \cdot 0,9^2}{1,129^2} = 2,86 \text{ м}^3/\text{с} = 2860 \text{ л/с},$$

$$Q_{\text{бр}}^{\text{распр}} = 2860 / 0,98 = 2918 \text{ л/с},$$

$$d = 1,129 \sqrt{\frac{2,918}{4,0}} = 0,96 \text{ м}.$$

Принимаем  $d = 1,0$  м – диаметр врезки РТ в МТ и определяем расход воды нетто в МТ:

$$Q_{\text{нт}}^{\text{МТ}} = \frac{4,0 \cdot 1,0^2}{1,129^2} = 3,138 \text{ м}^3/\text{с} = 3138 \text{ л/с}.$$

Вычисляем расход брутто МТ в створе водовыдела 2-го РТ:

$$Q_{\text{бр}}^{\text{МТ}} = \sum_2^7 Q_{\text{нт}}^{\text{МТ}} / \eta = (3138 + 1538 + 2008) / 0,98 = 6820 \text{ л/с.}$$

Назначаем среднюю скорость  $v = 3,0$  м/с и определяем диаметр МТ в створе водовыдела 2-го распределителя:

$$d_2^{\text{МТ}} = 1,129 \sqrt{\frac{6,820}{3,0}} = 1,70 \text{ м.}$$

Определяем расход брутто МТ в створе водозаборного сооружения  $Q_{\text{бр.гол}}^{\text{МТ}}$ , л/с:

$$Q_{\text{бр.гол}}^{\text{МТ}} = Q_{\text{бр}}^{\text{МТ}} / \eta = 6,820 / 0,98 = 6,960 \cong 7,00 \text{ м}^3/\text{с} = 7000 \text{ л/с.}$$

Назначаем среднюю скорость  $v = 2,5$  м/с на участке МТ между головным сооружением и створом водовыдела 2-го распределителя для определения диаметра трубопровода входного оголовка  $d_{\text{ог}}^{\text{МТ}}$ , м:

$$d_{\text{ог}}^{\text{МТ}} = 1,129 \sqrt{\frac{7,00}{2,5}} = 1,89 \text{ м,}$$

принимаем  $d_{\text{ог}}^{\text{МТ}} = 2,0$  м.

Приведенный расчет показал, что в створе головного водозаборного сооружения необходимо МТ принять диаметром 2 м с постепенным уменьшением его до 0,7 м в тупиковой (концевой) части.

### **Выводы**

1 Разработанный алгоритм позволяет систематизировать расчет напорных самотечных трубопроводов из полимерных материалов с определением количества дождевальных машин и выводных трубопроводов для сезонного полива орошаемых площадей с сельскохозяйственными культурами.

2 Расчет расходов и диаметров трубопроводов в обратном порядке начиная с трубопроводов, подводящих воду к гидрантам, позволяет последовательно назначить рациональные размеры трубопроводов от младших порядков до МТ с учетом технико-экономических показателей.

3 Новизна исследования состоит в разработке алгоритма расчета гидравлических характеристик потока и геометрических характеристик РТ, начиная с распределителя младшего порядка и заканчивая расчетом МТ.

### **Список использованных источников**

- 1 Зюликов, Г. М. Закрытые оросительные системы / Г. М. Зюликов. – М.: Колос, 1966. – 183 с.
- 2 Канализация. Наружные сети и сооружения: СП 32.13330.2012. Актуализированная редакция СНиП 2.04.03-85: введ. в действие 01.01.13. – М.: Минрегион России, 2013. – 127 с.
- 3 Справочник по гидравлическим расчетам / под ред. П. Г. Киселева. – М.: Энергия, 1974. – 312 с.
- 4 Справочник по гидравлике / В. А. Большаков, Ю. М. Константинов, В. Н. Попов, В. Ю. Даденков; под ред. В. А. Большакова. – Киев, 1977. – 280 с.
- 5 Идельчик, И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / И. Е. Идельчик. – М.: Госэнергоиздат, 1960. – 43 с.
- 6 Шевелев, Ф. А. Исследование основных гидравлических закономерностей турбулентного движения в трубах / Ф. А. Шевелев. – М.: Стройиздат, 1953. – 208 с.
- 7 Федорец, А. А. Теоретические основы и методика гидравлического расчета закрытой оросительной сети мелиоративных систем с переменным расходом / А. А. Федорец. – М.: ВНИИМитП, 1993. – 51 с.
- 8 Шевелев, Ф. А. Таблицы для гидравлического расчета стальных, чугунных, асбестоцементных и пластмассовых водопроводных труб / Ф. А. Шевелев. – М.: Стройиздат, 1970. – 112 с.
- 9 Васильев, С. М. Повышение экологической безопасности способов орошения для формирования устойчивых агроландшафтов в аридной зоне: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 06.01.02 / Васильев Сергей Михайлович. – Волгоград, 2006. – 35 с.
- 10 Васильев, С. М. Регулирование управленческих процессов в структурированных проблемных ситуациях АПК / С. М. Васильев, Ю. Е. Домашенко // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2016. – № 4. – С. 12–13.
- 11 Щедрин, В. Н. Эксплуатационная надежность оросительных систем / В. Н. Щедрин, Ю. М. Косиченко, А. В. Колганов. – Ростов н/Д.: СКНЦ ВШ, 2004. – 388 с.
- 12 Обеспечение безопасности и надежности низконапорных гидротехнических сооружений: монография / В. Н. Щедрин, Ю. М. Косиченко, Д. В. Бакланова, О. А. Баев, Е. Д. Михайлов. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2016. – 283 с.
- 13 Мирцхулава, Ц. Е. О критериях надежности при проектировании гидромелиоративных сооружений / Ц. Е. Мирцхулава // Доклады ВАСХНИЛ. – 1972. – № 2. – С. 39–41.
- 14 Косиченко, Ю. М. Высоконадежные конструкции противofильтрационных покрытий каналов и водоёмов, критерии их эффективности и надежности / Ю. М. Косиченко, О. А. Баев // Гидротехническое строительство. – 2014. – № 8. – С. 18–25.
- 15 Тищенко, А. И. Проблема продления жизненных ресурсов сетевых гидротехнических сооружений / А. И. Тищенко // Интеграция науки и образования – стратегия устойчивого развития водно-мелиоративного комплекса страны: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 100-летию выпуска первого мелиоратора России, г. Новочеркасск, 29–30 мая 2013 г. – Новочеркасск: Лик, 2013. – С. 163–166.
- 16 Тищенко, А. И. Обеспечение надежной работы сбросных гидротехнических сооружений / А. И. Тищенко // Техносферная безопасность, надежность, качество,

энергоснабжение: материалы 14 Междунар. науч.-практ. конф. (Ростов-на-Дону – Новомихайловский, 2012 г.). Вып. XIV: в 3 т. – Ростов н/Д.: РГСУ, 2012. – Т. 3. – С. 156–161.

17 Пехтин, В. А. Государственная политика и формирование законодательной поддержки в интересах функционирования и развития гидроэнергетики в составе электроэнергетических и водохозяйственных комплексов / В. А. Пехтин // Гидротехническое строительство. – 2005. – № 9. – С. 2–6.

18 Хамитов, Р. З. Водные ресурсы как основа устойчивого развития гидроэнергетики / Р. З. Хамитов // Гидротехническое строительство. – 2005. – № 9. – С. 13–17.

19 Лапин, Г. Г. Возможности российского научно-технического комплекса по обеспечению развития гидроэнергетики / Г. Г. Лапин // Гидротехническое строительство. – 2005. – № 9. – С. 17–23.

20 Мелиорация и водное хозяйство. Орошение: справочник / под ред. Б. Б. Шумакова. – М.: Колос, 1999. – 432 с.

21 Дементьев, В. Г. Орошение: учеб. и учеб. пособие для с.-х. вузов / В. Г. Дементьев. – М.: Колос, 1979. – 303 с.

22 Швабауэр, В. Шероховатость полиэтиленовых труб. Расчет гидравлических потерь давления в трубопроводе из пластмасс / В. Швабауэр, И. Гвоздев, М. Горилковский // Полимерные трубы – Украина. – 2006. – № 2(11). – С. 65–72.

23 Продоус, О. А. Сравнительная оценка величин потерь напора для обоснования выбора материала труб из разных полимерных материалов / О. А. Продоус, Л. Д. Терехов // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. – 2018. – № 9(129). – С. 38–42.

24 Janson, L.-E. *Plastics pipes for water supply and sewage disposal* / L.-E. Janson. – 4th ed. – Boras: Borealis, 2003. – 404 с.

25 *Thermoplastics pipes for the transport of liquids under pressure: ISO/TR 10501:1993* [Electronic resource]. – Mode of access: <https://iso.org/ru/standard/18570.html?browse=tc>.

26 Elias, V. FHWA Technical Note on the Degradation-Reduction Factors for Geosynthetics / V. Elias, J. A. DiMaggio, A. DiMillio // *Geotechnical Fabrics Report*. – 1997, Aug. – Vol. 15, no. 6. – P. 24–27.

## References

1 Zyulikov G.M., 1966. *Zakrytye orositel'nye sistemy* [Closed Irrigation Systems]. Moscow, Kolos Publ., 183 p. (In Russian).

2 SP 32.13330.2012. *Kanalizatsiya. Naruzhnye seti i sooruzheniya. Aktualizirovannaya redakciya SNIIP 2.04.03-85* [Sewage. External Networks and Facilities]. Moscow, Ministry of Regional Development of Russia Publ., 2013, 127 p. (In Russian).

3 Kiselev P.G., 1974. *Spravochnik po gidravlicheskim raschetam* [Handbook of Hydraulic Calculations]. Moscow, Energy Publ., 312 p. (In Russian).

4 Bol'shakov V.A., Konstantinov Yu.M., Popov V.N., Dadenkov V.Yu., 1977. *Spravochnik po gidravlike* [Handbook of Hydraulics]. Kiev, 280 p. (In Russian).

5 Idel'chik' I.E., 1960. *Spravochnik po gidravlicheskim soprotivleniyam* [Handbook of Hydraulic Resistances]. Moscow, Gosenergoizdat Publ., 43 p. (In Russian).

6 Shevelev F.A., 1953. *Issledovanie osnovnykh gidravlicheskiikh zakonomernostey turbulentnogo dvizheniya v trubakh* [Study of Basic Hydraulic Laws of Turbulent Motion in Pipes]. Moscow, Stroiizdat Publ., 208 p. (In Russian).

7 Fedorets A.A., 1993. *Teoreticheskie osnovy i metodika gidravlicheskogo rascheta zakrytoy orositel'noy seti meliorativnykh sistem s peremennym raskhodom* [Theoretical Foundations and Methods of Hydraulic Calculation of a Closed Irrigation Network of Reclamation Systems with Variable Flow]. Moscow, VNIIMTP Publ., 51 p. (In Russian).

8 Shevelev F.A., 1970. *Tablitsy dlya gidravlicheskogo rascheta stal'nykh, chugunnykh, asbestotsementnykh i plastmassovykh vodoprovodnykh trub* [Tables for Hydraulic Cal-

culatation of Steel, Cast Iron, Asbestos-cement and Plastic Water Pipes]. Moscow, Stroizdat Publ., 112 p. (In Russian).

9 Vasil'ev S.M., 2006. *Povyshenie ekologicheskoy bezopasnosti sposobov orosheniya dlya formirovaniya ustoychivyykh agrolandshaftov v aridnoy zone. Avtoreferat diss. d-ra tekhn. nauk* [Improving the Environmental Safety of Irrigation Methods for the Formation of Sustainable Agricultural Landscapes in the Arid Zone. Abstract of doctor tech. sci. diss.]. Volgograd, 35 p. (In Russian).

10 Vasil'ev S.M., Domashenko Yu.E., 2016. *Regulirovanie upravlencheskikh protsessov v strukturirovannykh problemnykh situatsiyakh APK* [Regulation of management processes in structured problem situations of agrarian – industrial complex]. *Vestnik ros-siyskoy sel'skokhozyaystvennoy nauki* [Bullet. of Russian Agricultural Science], no. 4, pp. 12-13. (In Russian).

11 Shchedrin V.N., Kosichenko Yu.M., Kolganov A.V., 2004. *Ekspluatatsionnaya nadozhnost' orositel'nykh sistem* [Operational Reliability of Irrigation Systems]. Rostov n/Don, SKNTS HS Publ., 388 p. (In Russian).

12 Shchedrin V.N., Kosichenko Yu.M., Baklanova D.V., Baev O.A., Mikhailov E.D., 2016. *Obespechenie bezopasnosti i nadezhnosti nizkonapornyykh gidrotekhnicheskikh sooruzheniy: monografiya* [Ensuring the Safety and Reliability of Low-Pressure Hydraulic Structures: monograph]. Novocherkassk, RosNIIPM Publ., 283 p. (In Russian).

13 Mirtskhulava Ts.E., 1972. *O kriteriyakh nadezhnosti pri proektirovanii gidromeliorativnykh sooruzheniy* [On the criteria of reliability in the design of hydroreclamation structures]. *Doklady VASKHNIL* [Reports of the Academy of Agricultural Sciences], no. 2, pp. 39-41. (In Russian).

14 Kosichenko Yu.M., Baev O.A., 2014. *Vysokonadozhnye konstruksii protivofil'tratsionnykh pokrytiy kanalov i vodoemov, kriterii ikh effektivnosti i nadozhnosti* [Highly reliable structures of antifiltration coatings of canals and water bodies, criteria of their efficiency and reliability]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Hydrotechnical Construction], no. 8, pp. 18-25. (In Russian).

15 Tischenko A.I., 2013. *Problema prodleniya zhiznennykh resursov setevykh gidrotekhnicheskikh sooruzheniy* [The problem of extending the vital resources of network hydraulic structures]. *Integratsiya nauki i obrazovaniya – strategiya ustoychivogo razvitiya vodnomeliorativnogo kompleksa strany materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferencii, posvyashchennoj 100-letiyu vypuska pervogo melioratora Rossii* [Integration of Science and Education – a Strategy for the Sustainable Development of Country's Water-reclamation Complex: Proceed. of International scientific-practical conf., dedicated to the 100<sup>th</sup> Anniversary of the First Irrigator of Russia on May 29–30]. Novocherkassk, Lick Publ., pp. 163-166. (In Russian).

16 Tischenko A.I., 2012. *Obespechenie nadozhnoy raboty sbrosnykh gidrotekhnicheskikh sooruzheniy* [Ensuring reliable operation of discharge hydraulic structures]. *Tekhnosfernaya bezopasnost', nadozhnost', kachestvo, energosnabzhenie: materialy 14 Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferencii* [Technosphere Safety, Reliability, Quality, Power Rupply: Proceed. 14 Intern. scientific-practical conference]. Issue XIV, in 3 vol. Rostov n/Don, RGSU Publ., vol. 3, pp. 156-161. (In Russian).

17 Pekhtin V.A., 2005. *Gosudarstvennaya politika i formirovanie zakonodatel'noy podderzhki v interesakh funktsionirovaniya i razvitiya gidroenergetiki v sostave elektroenergeticheskikh i vodokhozyaystvennykh kompleksov* [State policy and the formation of legislative support in the interests of functioning and development of hydropower as part of electric power and water economy complexes]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Hydrotechnical Construction], no. 9, pp. 2-6. (In Russian).

18 Khamitov R.Z., 2005. *Vodnye resursy kak osnova ustoychivogo razvitiya gidroenergetiki* [Water resources as a basis for sustainable development of hydropower engineer-



ing]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Hydrotechnical Construction], no. 9, pp. 13-17. (In Russian).

19 Lapin G.G., 2005. *Vozможности rossiyskogo nauchno-tekhnicheskogo kompleksa po obespecheniyu razvitiya gidroenergetiki* [Possibilities of the Russian scientific and technical complex to ensure the development of hydropower]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Hydrotechnical Construction], no. 9, pp. 17-23. (In Russian).

20 Shumakov B.B., 1999. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo. Oroshenie: spravochnik* [Land Reclamation and Water Management. Irrigation: a handbook]. Moscow, Kolos Publ., 432 p. (In Russian).

21 Dement'ev V.G., 1979. *Oroshenie: uchebnik i uchebnoe posobiya dlya s.-kh. vuzov* [Irrigation: textbook and study guides for agricultural universities]. Moscow, Kolos Publ., 303 p. (In Russian).

22 Schwabauer V., Gvozdev I., Gorilovsky M., 2006. *Sherokhovatost' polietilenovykh trub. Raschet gidravlicheskiykh poter' davleniya v truboprovode iz plastmass trub* [Roughness of polyethylene pipes. Calculation of hydraulic pressure loss in a pipeline made of plastics]. *Polimernye trubyy Ukraina* [Polymer Pipes Ukraine], no. 2(11), pp. 65-72. (In Russian).

23 Prodous O.A., Terekhov L.D., 2018. *Sravnitel'naya otsenka velichin poter' napora dlya obosnovaniya vybora materiala trub iz raznykh polimernykh materialov* [Comparative evaluation of head loss values to substantiate the choice of pipe material from different polymeric materials]. *Vodoochistka. Vodopodgotovka. Vodosnabzhenie* [Water Purification. Water Treatment. Water Supply], no. 9(129), pp. 38-42. (In Russian).

24 Janson L.-E., 2003. *Plastics pipes for water supply and sewage disposal*. 4<sup>th</sup> edition. Boras, Borealis. (In English).

25 *Thermoplastics pipes for liquids under pressure: ISO/TR 10501:1993*, available: <https://iso.org/ru/standard/18570.html?browse=tc>. (In English).

26 Elias V., DiMaggio J.A., DiMillio A., 1997. *FHWA Technical Note on the Degradation-Reduction Factors for Geosynthetics*. Geotechnical Fabrics Report, August, vol. 15, no. 6, pp. 24-27. (In English).

---

### **Сенчуков Герман Александрович**

Ученая степень: кандидат технических наук

Должность: заместитель директора по науке и инновациям

Место работы: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации»

Адрес организации: Баклановский пр-т, 190, г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация, 346421

E-mail: [rosniipm\\_vodreestr\\_gmvo@mail.ru](mailto:rosniipm_vodreestr_gmvo@mail.ru)

### **Senchukov German Alexandrovich**

Degree: Candidate of Technical Sciences

Position: Deputy Director for Science and Innovation

Affiliation: Russian Scientific Research Institute of land Improvement Problems

Affiliation address: Baklanovsky ave., 190, Novocherkassk, Rostov region, Russian Federation, 346421

E-mail: [rosniipm\\_vodreestr\\_gmvo@mail.ru](mailto:rosniipm_vodreestr_gmvo@mail.ru)

### **Тищенко Александр Иванович**

Ученая степень: кандидат технических наук

Ученое звание: доцент

Должность: ведущий научный сотрудник

Место работы: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации»

Адрес организации: Баклановский пр-т, 190, г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация, 346421

E-mail: [aleks.tishencko2016@mail.ru](mailto:aleks.tishencko2016@mail.ru)

**Tischenko Alexandr Ivanovich**

Degree: Candidate of Technical Sciences

Title: Associate Professor

Position: Leading Researcher

Affiliation: Russian Scientific Research Institute of land Improvement Problems

Affiliation address: Baklanovsky ave., 190, Novochoerkassk, Rostov region, Russian Federation, 346421

E-mail: [aleks.tishencko2016@mail.ru](mailto:aleks.tishencko2016@mail.ru)

**Гостищев Вячеслав Дмитриевич**

Ученая степень: кандидат сельскохозяйственных наук

Ученое звание: доцент

Должность: ведущий научный сотрудник

Место работы: федеральное государственной бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации»

Адрес организации: Баклановский пр-т, 190, г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация, 346421.

E-mail: [rosniipm@yandex.ru](mailto:rosniipm@yandex.ru)

**Gostishchev Vyacheslav Dmitriyevich**

Degree: Candidate of Agricultural Sciences

Title: Associate Professor

Position: Leading Researcher

Affiliation: Russian Scientific Research Institute of land Improvement Problems

Affiliation address: Baklanovsky ave., 190, Novochoerkassk, Rostov region, Russian Federation, 346421

E-mail: [rosniipm@yandex.ru](mailto:rosniipm@yandex.ru)