А. С. Штанько, В. Н. Шкура

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

КОМПОНОВОЧНО-КОНСТРУКТИВНОЕ РЕШЕНИЕ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СЕТИ МОДУЛЬНОГО УЧАСТКА КАПЕЛЬНОГО ОРОШЕНИЯ

Цель: разработка компоновочно-конструктивных схем поливной сети для модульного участка капельного орошения сельскохозяйственных культур широкорядного способа посадки, культивируемых на безуклонных земельных участках. **Материалы и методы.** В качестве модульного капельно орошаемого участка рассматривается безуклонное угодье площадью 12 га с размерами сторон 400×300 м с выращиванием сельскохозяйственных культур со схемой посадки $0,25 \times 0,70$ м. В качестве исходного материала для разработки компоновочно-конструктивных схем устройства поливной сети использовались данные исследований и ранее установленные экспериментальные зависимости для определения геометрических параметров контуров влажности, величины поливной нормы, предельной протяженности капельных линий. **Результаты.** В процессе исследований разработана последовательность проведения расчетно-графических операций, которая предусматривает: сбор исходных фитопочвенных условий сельскохозяйственного угодья; определение размеров единичных контуров влажности и поливной нормы; установление площади зоны увлажнения, параметров капельниц, технологии капельного полива, предельной протяженности капельных трубок и лент; определение количества капельниц; выбор компоновки поливных и оросительных модулей и модульного участка в целом; выполнение расчетов по расходным и напорным характеристикам трубопроводов оросительной сети и подбор труб. **Выводы.** На примере 12-гектарного капельно орошаемого участка разработана схема компоновочно-конструктивного решения капельной оросительной сети с шестью поливными модулями для полива сельскохозяйственных культур широкорядного способа посадки. Каждый модуль включает 286 капельных линий длиной 100 м, подключенных к оросителю с переменным диаметром протяженностью 200 м. Предложенная последовательность расчетно-графических операций может быть реализована и для иных условий сельхозугодья и используемых капельных трубок и лент, соответствующих определенным диапазонам применимости используемых расчетных зависимостей.

Ключевые слова: капельное орошение; орошаемый участок; широкорядный посев; поливная сеть; поливные линии; контуры влажности; оросительный модуль.

A. S. Shtanko, V. N. Shkura

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

CONSTRUCTIVE-LAYOUT ARRANGEMENTS OF THE IRRIGATION NETWORK OF A MODULAR DRIP IRRIGATION SECTION

Purpose: to develop the layout schemes of the irrigation network for the modular section of drip irrigation of crops cultivated on steady slope land plots by a wide-row planting method.

Materials and methods. The steady slope area of 12 hectares with a side size 400×300 m for growing crops by a planting scheme of 0.25×0.70 m is considered as a modular drip irrigated section. The research data and previously established experimental dependencies were used as a source material for the layout-design schemes development of the irrigation network to determine the geometric parameters of the moisture contours, the irrigation norm value and the maximum length of drip tubes. **Results.** In the process of research, a sequence of conducting calculation and graphic operations was developed, which provides for: collection of initial phyto-soil conditions of agricultural land; determination of the size of singular moisture contours and irrigation rates; establishing the area of the moisture zone, emitter parameters, drip irrigation technology, the maximum length of drip tubes and tapes; determination of the number of emitters; the selection of arrangements of watering and irrigation modules and the modular section as a whole; calculations on head and flow characteristics of irrigation network pipelines and selection of pipes. **Conclusions.** Using an example of a 12-hectare drip irrigated plot, a layout scheme for a drip irrigation network with six irrigation modules for irrigating agricultural crops by a wide-row planting method has been developed. Each module includes 286 drip lines 100 m long, connected to an irrigator with a variable diameter of 200 m. The proposed sequence of calculation and graphic operations can be implemented for other farmland conditions and the used drip tubes and tapes that correspond to certain ranges of applicability of the used calculated dependencies.

Key words: drip irrigation; irrigated area; wide-row sowing; irrigation network; irrigation lines; moisture contours; irrigation module.

Введение. В аридных регионах России все большее распространение получают технологии выращивания овощных и плодово-ягодных культур при капельном орошении. Продуктивность посадок и насаждений этих культур и их экономические показатели в значительной степени определяются уровнем соответствия потребностей растений в воде и элементах питания и возможностей капельных оросительных систем по их удовлетворению. Указанное требование может быть обеспечено только при соответствующем конкретным условиям сельскохозяйственных угодий комплексно-конструктивном решении капельной поливной сети.

До настоящего времени специалисты-гидромелиораторы испытывают дефицит рекомендаций по проектированию поливных сетей капельных систем орошения, соответствующих требованиям рациональности и эффективности. Указанное обстоятельство связано с широким разнообразием рельефных, почвенных и фенологических условий устройства капельно орошаемых угодий и дефицитом знаний в области формирования контуров капельного увлажнения почв и установления необходимых для растений площадей зон увлажнения, определения поливных норм и других характеристик и пара-

метров технологии капельного орошения. При дефиците необходимых пользователям рекомендаций допускаются неточности в выборе соответствующих условиям угодий и потребностям растений элементов поливных сетей (капельниц, капельных трубок или лент) или принимаются нерациональные (неоптимальные в технологическом или ресурсно-экономическом отношении) их компоновочно-конструктивные решения. Допущенные недостатки проектных решений выявляются только в процессе эксплуатации поливных сетей и приводят к снижению продуктивности сельскохозяйственных культур и увеличению затрат на эксплуатацию.

Отметим, что современная индустрия позволяет выпускать широкий набор технических средств капельного орошения, при квалифицированном применении которых может быть обеспечено создание рациональных и эффективных поливных сетей для широкого спектра условий их функционирования. Отметим и то, что разработками отечественных специалистов А. Д. Ахмедова, В. С. Бочарникова, Н. Н. Дубенка, Е. В. Кузнецова, А. С. Овчинникова, М. Ю. Храброва, О. Е. Ясониди и др. [1–8] к настоящему времени создана минимально необходимая научная база для рационального проектирования и эффективного использования капельных систем орошения. Отдельные рекомендации по выбору компонентов капельных систем и расчету технологических параметров капельного полива приведены в авторских разработках [9–12], но должное обобщение известной информации не было осуществлено. С учетом вышеотмеченного целью настоящего исследования определена разработка компоновочно-конструктивного решения оросительной сети для модульного капельно орошаемого участка с культивированием на нем культур широкорядного способа посадки.

Материалы и методы. Основу материала для обобщения составляют данные исследований и полученные при их камеральной обработке авторские экспериментальные зависимости для расчета параметров контуров влажности, поливной нормы, определения предельной протяженности ка-

пельных трубок и лент и других характеристик технических элементов капельных поливных сетей [9–12]. При обобщении информации использованы известные технологии научного анализа и синтеза, а при конструировании элементов поливной сети технологии поискового конструирования.

Схема компоновочно-конструктивного решения оросительной сети и технология его создания разрабатывались для модульного участка капельного орошения с нижеприведенными условиями и характеристиками.

1 Земельный участок прямоугольной формы размером 300×400 м площадью 12,0 га с выровненной поверхностью (при средних уклонах на отдельных участках почвенного покрова i_m , не превышающих 3°).

2 Источником орошения является проложенный по границе земельного участка магистральный трубопровод капельной системы орошения.

3 Давление (напор) в точке водовыдела из магистрального трубопровода в распределительный трубопровод составляет $H_\phi = 3 \text{ атм.} = 30 \text{ м.}$

4 Почвенный покров земельного участка представлен южным тяжелосуглинистым черноземом и характеризуется нижеследующими показателями: средним содержанием глинистых частиц в метровом почвенном слое $W_{г/ч} = 58,0 \text{ \% МСП}$, средней по слою почвогрунтовой толщи мощностью 1,0 м наименьшей влагоемкостью $W_{нв} = 25,2 \text{ \% МСП}$ и средней плотностью сложения почвы в пределах расчетного слоя $\gamma_{об} = 1,4 \text{ т/м}^3$.

5 Фитопочвенные условия капельно орошаемого сельхозугодья:

- сельскохозяйственная культура с посевом по схеме 25×70 см (при расстоянии между растениями 25 см в ряду и 70 см между рядами);

- глубина увлажняемого слоя почвы (контура) $h_{увл} = h_{кон} = 0,6 \text{ м};$

- площадь питания одного растения $\omega_{пит} = 0,25 \cdot 0,70 = 0,175 \text{ м}^2;$

- площадь увлажняемой зоны $\omega_{увл} = 0,8 \cdot \omega_{пит} = 0,8 \cdot 0,175 = 0,140 \text{ м}^2;$

- дополивная влажность почвы $\beta_{д/п} = 0,6 \cdot \beta_{нв} = 0,6 \cdot 25,2 = 15,1 \text{ \% МСП};$

- уровень постполивной влажности $\beta_{\text{п/п}} = 0,95 \cdot \beta_{\text{нв}} = 0,95 \cdot 25,2 = 23,9 \text{ \% МСП}$.

Результаты и обсуждение. Реализация поставленной задачи по разработке варианта компоновочно-конструктивного решения оросительной сети на орошаемом участке проведена по нижеприведенному алгоритму.

1 В соответствии с методикой определения геометрических и влажностных параметров контуров увлажнения почв, формирующихся в подкапельном почвенном пространстве при капельном поливе [9], для вышеуказанных почвенных и фитопочвенных условий участка устанавливаются геометрические параметры единичных контуров увлажнения почвы.

1.1 Максимальный диаметр контура определяется по зависимости:

$$d_{\text{кон}} = 0,5 \cdot [(0,51 + 0,009 \cdot W_{\text{г/ч}}) + (0,073 + 0,038 \cdot W_{\text{нв}})] \cdot h_{\text{кон}} = \\ = 0,5 \cdot [(0,51 + 0,009 \cdot 58,0) + (0,073 + 0,038 \cdot 25,2)] \cdot 0,6 = 0,62 \text{ м.}$$

1.2 Площадь зоны увлажнения почвы, соответствующая максимальному диаметру контура влажности, определяется по зависимости вида:

$$\omega_{\text{кон}} = 0,785 \cdot d_{\text{кон}}^2 = 0,785 \cdot 0,62^2 = 0,30 \text{ м}^2.$$

2 В соответствии с приведенными авторскими рекомендациями [10] по компоновке и конструированию капельной оросительной сети для полива орошаемого участка принимаем: шесть поливных модулей площадью 2,0 га каждый исходя из условия обеспечения полива одного модуля в течение 3–5 ч. В рассматриваемом примере принята продолжительность полива одного модуля $t_{\text{пол}} = 4 \text{ ч}$, а всего орошаемого угодья в течение 12 ч при условии проведения одновременного полива двух поливных модулей. При этом размеры основных водоводов в пределах одного поливного модуля составят: протяженность поливного трубопровода (капельной линии) $l_{\text{пт}} = 100 \text{ м}$, а длина оросительного трубопровода $l_{\text{от}} = 200 \text{ м}$.

3 Поливная норма на одну капельницу, необходимая для увлажнения почвенного пространства в вышеуказанных условиях полива (для создания контура влажности почвы с требуемой глубиной $h_{\text{кон}} = 0,60 \text{ м}$), составит:

$$N_{\text{пол}} = 0,00196 \cdot \gamma_{\text{об}} \cdot h_{\text{кон}}^3 \cdot (0,0765 \cdot W_{\text{г/ч}}^{0,6} + 0,0292 \cdot W_{\text{НВ}})^2 \cdot (\beta_{\text{п/п}} - \beta_{\text{д/п}}) =$$

$$= 0,00196 \cdot 1,4 \cdot 0,6^3 \cdot (0,0765 \cdot 58,0^{0,6} + 0,0292 \cdot 25,2)^2 \cdot (23,9 - 15,1) =$$

$$= 13,6 \text{ л/кап.}$$

4 В соответствии с пп. 2 и 3 при $t_{\text{пол}} = 4$ ч и $(N_{\text{пол}})_{\text{кап}} = 13,6$ л/кап. расход капельницы составит: $q_{\text{кап}} = N_{\text{пол}} / t_{\text{пол}} = 13,6 / 4 = 3,4$ л/ч, что вполне приемлемо для капельного полива почвы по показателю ее впитывающей способности. Расход стандартно изготавливаемой капельницы, встроенной в капельную трубку или ленту, составляет $q_{\text{кап}} = 3,6$ л/ч при нормативном давлении на входе в поливной трубопровод, равном 2,0 атм.

5 С учетом пп. 3 и 4 продолжительность проведения капельного полива, соответствующая расходу принятой к применению стандартно изготавливаемой капельницы, составит $t_{\text{пол}} = (N_{\text{пол}})_{\text{кап}} / q_{\text{кап}} = 13,6 / 3,6 = 3,8$ ч, что и рекомендуется выдерживать при проведении капельного полива.

6 Межкапельное расстояние принимается кратным расстоянию между растениями в ряду L и равным $l_{\text{м/к}} = 2L = 0,50$ м, т. е. одна капельница приходится на два растения. При этом условии площадь зоны капельного увлажнения почвы одного растения составит половину от площади контура увлажнения $\omega_{\text{кон}}$, или $0,15 \text{ м}^2$ (см. п. 1.2), при требуемой площади увлажнения одного растения, равной $0,14 \text{ м}^2$, что является приемлемым.

7 С учетом почвенных и фенологических условий и положений, приведенных в пп. 2 и 6, принимается представленная на рисунке 1 схема посадки растений и расположения поливной сети на участке орошения.

8 С учетом позиций по пп. 2–6 к дальнейшей разработке компоновочно-конструктивного решения поливного модуля предварительно могут быть приняты: капельная лента с некомпенсирующими капельницами с расходом $q_{\text{кап}} = 3,6$ л/ч и диаметром ленты $d_i = 16$ мм при межкапельном расстоянии $l_{\text{м/к}} = 0,5$ м; капельная трубка диаметром $d_i = 16$ мм со встроенными в нее через интервал $l_{\text{м/к}} = 0,5$ м не компенсирующими давление ка-

пельницами расходом $q_{\text{кап}} = 3,6$ л/ч; капельная трубка диаметром $d_i = 16$ мм со встроенными компенсирующими изменение давления капельницами расходом $q_{\text{кап}} = 3,6$ л/ч и интервалом их расположения $l_{\text{м/к}} = 0,5$ м [12].

Значения геометрических параметров в м

Рисунок 1 – Схема посадки растений и расположения поливной сети на участке капельного орошения

9 Для предварительно принятых видов капельной линии определяется величина их предельной протяженности $L_{\text{пр}}$, м, при которой обеспечивается нормативная равномерность расхода оросительной воды, подаваемой через капельные микроводовыпуски, установленные в начале и конце капельной линии (в пределах ± 10 % от принятого значения $q_{\text{кап}} = 3,6$ л/ч).

9.1 Для капельной ленты, оборудованной не компенсирующими вариации давления капельницами, с указанными в п. 8 параметрами предельная ее протяженность для безуклонных земельных участков составит:

$$L_{\text{пр}} = 400 \cdot l_{\text{м/к}}^{0,65} \cdot \left[2,0 - q_{\text{кап}}^{0,18+0,01q_{\text{кап}}^{1,95}} \right] \cdot (d_i / d_{16})^{1,77} =$$

$$= 400 \cdot 0,5^{0,65} \cdot [2,0 - 3,6^{0,18+0,01 \cdot 3,6^{1,95}}] \cdot (16 / 16)^{1,77} = 134,7 \text{ м},$$

где d_i – внутренний диаметр используемой капельной ленты, мм;

d_{16} – расчетный диаметр капельной ленты, составляющий 16 мм.

9.2 Предельная протяженность капельной трубки с не компенсирующими давление капельницами с характеристиками по п. 8 составит:

$$L_{\text{пр}} = (28 + 156 \cdot l_{\text{м/к}}^{0,86}) \cdot P_i^{0,59} (d_i / d_{16})^{1,77} [2,0 - (q_{\text{кап}} - 1,2)^{0,33-0,0125 \cdot q_{\text{кап}}}] =$$

$$= (28 + 156 \cdot 0,5^{0,86}) \cdot 2^{0,59} \cdot (16/16)^{1,77} \cdot (2 - (3,6 - 1,2)^{0,33-0,0125 \cdot 3,6}) = 122,9 \text{ м},$$

где P_i – давление на входе в поливной трубопровод, равное 2 атм.

9.3 Для капельной трубки с компенсирующими давление капельницами с указанными в п. 8 параметрами предельная протяженность составит:

$$L_{\text{пр}} = (28 \cdot l_{\text{м/к}}^{0,2} + 156 \cdot l_{\text{м/к}}^{1,06}) \cdot 0,77 \cdot P_i^{0,645} \times [2,0 - (q_{\text{кап}} - 1,2)^{0,33-0,0125 \cdot q_{\text{кап}}}] \times$$

$$\times (d_i / d_{16})^{2,1} = (28 \cdot 0,5^2 + 156 \cdot 0,5^{1,06}) \cdot 0,77 \cdot 2^{0,645} \times$$

$$\times (2,0 - (3,6 - 1,2)^{0,33-0,0125 \cdot 3,6}) \cdot (16/16)^{2,1} = 85,6 \text{ м}.$$

9.4 Величина предельной протяженности поливного трубопровода $L_{\text{пр}}$ сопоставляется с предварительно принятой в п. 2 длиной поливного трубопровода $l_{\text{пт}}$. При этом должно выполняться условие $L_{\text{пр}} > l_{\text{пт}}$, т. е. предварительно принятая протяженность поливного трубопровода должна быть меньше предельной протяженности капельной линии. В связи с этим к дальнейшей разработке оросительной сети может быть принят поливной модуль с протяженностью поливного трубопровода $l_{\text{пт}} = 100$ м в виде капельной ленты или капельной трубки с не компенсирующими изменение давления капельницами. Отметим возможность использования и капельной трубки большего диаметра со встроенными в нее компенсирующими капельницами. Например, при диаметре капельной трубки $d_i = 18$ мм предельная протяженность такой капельной линии составляет $L_{\text{пр}} = 109,6$ м.

10 С учетом принятого размера протяженности поливного трубопровода $l_{\text{пт}} = 100$ м при принятом межкапельном расстоянии $l_{\text{м/к}} = 0,5$ м определяется число капельниц на капельной линии $n_{\text{кап}} = 100 / 0,5 = 200$ шт.

11 При протяженности капельного оросителя $l_{от} = 200$ м и междурядовом расстоянии $l_{м/л} = 0,7$ м количество капельных линий в пределах поливного модуля составит $n_{пт} = 200 / 0,70 = 286$ шт., а количество капельниц в пределах поливного модуля составит $(n_{кап})_{пм} = 286 \cdot 200 = 57200$ шт.

12 Оросительный модуль включает два поливных модуля, питающихся поливной водой из двух соседствующих оросительных трубопроводов, подсоединенных к одному распределительному трубопроводу [10].

13 С учетом пп. 2, 9 и 10 на орошаемом участке предлагается устроить три оросительных модуля, объединяющих шесть поливных модулей [12].

14 При принятой схеме землеустройства капельно орошаемого участка его капельный полив может быть осуществлен оросительной сетью, включающей: питающийся из магистрального трубопровода (Мт) распределительный водовод (Рт1); шесть питающихся из распределителя оросительных водоводов (Рт1/От1; Рт1/От2; Рт1/От3; Рт1/От4; Рт1/От5; Рт1/От6); 1716 капельных линий, подсоединенных к оросительным трубопроводам (по 286 капельных линий на один ороситель). Соответствующее вышеотмеченному и условиям сельскохозяйственного угодья компоновочное решение оросительной сети проиллюстрировано рисунком 2.

15 Компоновочное решение оросительной сети в обязательном порядке обеспечивается конструктивно с установлением размеров трубопроводов и других параметров капельной оросительной сети, определяемых гидравлическим расчетом, основные позиции которого рассмотрены ниже.

16 Гидравлический расчет оросительного трубопровода (От) протяженностью $l_{от} = 200$ м (п. 2 и рисунок 2) производится по трем-четырем участкам (в нашем случае по четырем участкам протяженностью 50 м каждый).

16.1 Определению расхода капельного оросителя предшествует расчет расходов воды питающихся из него капельных поливных трубопроводов (поливных линий). При этом учитывается количество подсоединяемых

к капельному оросителю поливных капельных трубопроводов в соответствии с принятой схемой их взаимного расположения в пределах поливного модуля. С учетом указанного положения расход поливной воды в голове капельного трубопровода (поливной линии) будет численно равен сумме расходов питающихся из него (нее) капельниц и составит:

$$Q_{\text{Пт}} = \sum_1^{n_{\text{кап}}} q_{\text{кап}} = q_{\text{кап}} \cdot n_{\text{кап}} = 3,6 \cdot 200 = 720 \text{ л/ч, или } 0,0002 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Рисунок 2 – Схема компоновки капельной оросительной сети на типичном орошаемом участке

16.2 Расход капельного оросителя $Q_{\text{От}}$, л/ч, соответствует расходу в голове первого по ходу воды расчетного участка капельного оросителя $(Q_{\text{От}})_i$, л/ч, который равен сумме расходов всех поливных капельных трубопроводов (линий) $Q_{\text{Пт}}$, непосредственно питающихся из него, а также расположенных ниже по направлению течения в оросителе:

$$(Q_{\text{от}})_i = Q_{\text{пт}} \cdot (n_{\text{пт}})_i,$$

где $(n_{\text{пт}})_i$ – количество поливных капельных трубопроводов (линий), шт., питаемых расчетным участком капельного оросителя, а также расположенных ниже по направлению течения воды, определяемое по зависимости:

$$(n_{\text{пт}})_i = L_{\text{p}_i} / B \cdot (n_{\text{пт}})_\text{p},$$

где L_{p_i} – расстояние от начала i -го расчетного участка до последнего по течению воды поливного трубопровода, питаемого данным оросителем, м;

B – расстояние между рядами растений (капельными линиями), м;

$(n_{\text{пт}})_\text{p}$ – количество поливных трубопроводов на один ряд, шт.

16.3 На каждом i -м расчетном участке капельного оросителя определяется его диаметр d_i , м, с использованием соотношения вида (здесь и далее в расчетах гидравлических характеристик $(Q_{\text{от}})_i$ подставлять в м³/с):

$$d_i = (0,75...1,20)\sqrt{(Q_{\text{от}})_i}.$$

Полученный диаметр капельного оросителя d_i округляется до ближайшего стандартного значения диаметра труб D_i в большую сторону.

16.4 Линейные потери напора (потери напора по длине водовода) на расчетном участке капельного оросителя h_{ω_i} , м, вычисляются по формуле:

$$h_{\omega_i} = K_{\text{г.т.}_i} \cdot l_i \cdot (V_{\text{от}})_i^2 / (D_i \cdot 2 \cdot g),$$

где $K_{\text{г.т.}}$ – коэффициент гидравлического трения, $K_{\text{г.т.}} = 0,1148 / \text{Re}^{0,25}$;

Re – число Рейнольдса, определяемое по скорости в начале расчетного участка $(V_{\text{от}})_i$ и диаметру D_i капельного оросителя, $\text{Re}_i = (V_{\text{от}})_i \cdot D_i / \nu$;

ν – коэффициент кинематической вязкости (для воды $1 \cdot 10^{-6}$ м²/с);

l_i – протяженность расчетного участка капельного оросителя, м;

$(V_{\text{от}})_i$ – скорость течения воды в начале каждого расчетного участка оросительного трубопровода (составит $(V_{\text{от}})_i = 4 \cdot (Q_{\text{от}})_i / \pi \cdot D_i^2$, м/с);

g – ускорение свободного падения тел, $g = 9,81$ м/с².

16.5 Результаты расчета по пп. 16.2–16.4 представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Данные расчета диаметров оросительного трубопровода поливного модуля по расчетным участкам

Параметр	Значение параметра			
Расчетный участок, м	0–50	50–100	100–150	150–200
$(n_{\text{ПТ}})_i$, шт.	286	214	143	71
$(Q_{\text{ОТ}})_i$, л/ч	205714,3	154285,7	102857,1	51428,6
$(Q_{\text{ОТ}})_i$, м ³ /с	0,057	0,043	0,029	0,014
d_i , м	0,239	0,207	0,169	0,120
Наружный диаметр/толщина стенки стандартных труб, мм	250/7,7	225/6,9	180/5,5	140/4,3
D_i , м	0,235	0,211	0,169	0,131
$(V_{\text{ОТ}})_i$, м/с	1,32	1,22	1,27	1,05
Re	310287,5	258499,5	215365,2	138495,9
$K_{\text{г.т.}}$	0,00486	0,00509	0,00533	0,00595
h_{ω_i} , м	0,09	0,08	0,10	0,12

16.6 Суммарные потери напора по длине оросительного трубопровода в рассматриваемом примере составят $h_{\omega} = 0,09 + 0,08 + 0,10 + 0,12 = 0,39$ м, что меньше допустимых 10 % от необходимого напора на входе в поливную трубопровод, который равен рабочему напору капельницы (2 атм.).

16.7 По результатам выполненных расчетов принимается оросительный трубопровод из полиэтилена высокой плотности длиной 200 м, состоящий из четырех участков длиной 50 м со следующими параметрами:

- участок 0–50 м – наружный диаметр 250 мм, толщина стенки 7,7 мм;
- оросительный трубопровод на участке 50–100 м имеет наружный диаметр полиэтиленовой трубы 225 мм с толщиной стенки 6,9 мм;
- на участке 100–150 м наружный диаметр оросительного трубопровода принимается равным 180 мм при толщине его стенки 5,5 мм;
- участок 150–200 м оросительного трубопровода предполагается устроить с наружным диаметром 140 мм и толщиной стенки 4,3 мм.

17 Производится гидравлический расчет распределительного трубопровода Рт1 протяженностью $l_{\text{рт}} = 200$ м, обеспечивающего одновремен-

ный полив двух поливных модулей. При самом неудобном варианте поливаемые модули могут питаться из узла вододеления, находящегося в конце распределительного трубопровода Рт1. В соответствии с этим расход распределительного трубопровода принимается равным сумме расходов двух поливных модулей, а его диаметр постоянным по всей длине. Результаты гидравлического расчета этого трубопровода приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Данные гидравлического расчета распределительного трубопровода Рт1

Параметр	Значение параметра
Расход распределительного трубопровода $Q_{Рт}$, м ³ /с	0,114
Расчетный диаметр распределительного трубопровода d_i , м	0,338
Наружный диаметр/толщина стенки стандартной трубы, мм	355/10,9
Принятый диаметр распределительного трубопровода D_i , м	0,333
Скорость течения воды в начале трубопровода $(V_{Рт})_i$, м/с	1,31
Число Рейнольдса Re	436935,5
Коэффициент гидравлического трения $K_{г.т.}$	0,00447
Суммарные потери напора по длине трубопровода h_{ω} , м	0,23

По результатам расчета распределительный трубопровод Рт1 предлагается устроить из полиэтиленовых труб высокой плотности протяженностью 200 м, внешним диаметром 355 мм и толщиной стенки 10,9 мм.

18 После определения потерь напора в трубопроводах капельной оросительной сети вычисляется напор H , м, который должен быть создан на водовыделе из магистрального канала Мт в распределительный трубопровод Рт1 для обеспечения нормальной работы оросительной сети системы капельного орошения, он определяется по зависимости вида:

$$H = \pm H_r + H_i + h_{Мт} + h_{Рт} + h_{От},$$

где H_r – геодезическая высота, которая определяется разностью отметки поверхности земли, где установлена самая удаленная капельница на капельной линии (поливном капельном трубопроводе) в самом возвышенном месте орошаемого участка, и отметки на входе в магистральный трубопровод, м;

H_i – напор, необходимый для обеспечения работы капельницы, м;

$h_{\text{Мт}}$ и $h_{\text{Рт}}$ – потери напора в магистральном и в распределительных трубопроводах, определяемые их гидравлическим расчетом, м;

$h_{\text{От}}$ – суммарные потери напора в оросительном трубопроводе, м.

Для проектируемого оросительного участка требуемый напор составит $H = 20,0 + 0,23 + 0,39 = 20,62$ м. Фактический напор на входе в магистральный трубопровод $H_{\text{ф}} = 30$ м больше необходимого расчетного значения напора, т. е. $H_{\text{ф}} > H$, следовательно, разработанное компоновочно-конструктивное решение капельной оросительной сети обеспечит проведение полива с заданной водоподачей капельных микроводовыпусков.

Выводы. В результате исследований предложена последовательность выполнения расчетно-графических операций по разработке компоновочно-конструктивного решения капельной оросительной сети, которая была рассмотрена на примере конкретных природных (почвенных и фенологических) условий сельскохозяйственного угодья.

Предложенная методология (последовательность) разработки компоновочно-конструктивного решения поливной сети капельного орошения базируется на комплексе авторских экспериментальных зависимостей и известных зависимостях для гидравлического расчета трубопроводов и может быть использована для различных почвенных и фенологических условий орошаемого участка при соблюдении требования по выдерживанию диапазонов изменения значений рассмотренных факторов влияния. При этом могут рассматриваться и отличные от предложенной компоновочные схемы оросительной сети, более полно удовлетворяющие условиям конкретного орошаемого участка и капельной оросительной системы в целом.

Список использованных источников

- 1 Ахмедов, А. Д. Контуры увлажнения почвы при капельном орошении / А. Д. Ахмедов, Е. Ю. Галиуллина // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2012. – № 3. – С. 183–188.
- 2 Бородычев, В. В. Современные технологии капельного орошения овощных культур / В. В. Бородычев. – Волгоград: Инлайт, 2010. – 242 с.
- 3 Дубенок, Н. Н. Формирование корневой системы саженцев сливы при капель-

ном орошении и распределение влаги по почвенному профилю в условиях Нечерноземной зоны / Н. Н. Дубенок, А. В. Гемонов // Мелиорация и водное хозяйство. – 2018. – № 4. – С. 9–13.

4 Овчинников, А. С. Модернизация элементов систем капельного орошения / А. С. Овчинников, М. П. Мещеряков, В. С. Бочарников // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2012. – № 3(27). – С. 171–174.

5 Ovchinnikov, A. S. Methodology of calculation and justification of the wetting parameters in the open field and greenhouse / A. S. Ovchinnikov, V. S. Bocharnikov, M. P. Meshcheryakov // Environmental Engineering. – 2012. – № 4. – P. 29.

6 Храбров, М. Ю. Расчет распространения влаги в почве при капельном орошении / М. Ю. Храбров // Мелиорация и водное хозяйство. – 1999. – № 4. – С. 34–35.

7 Ясониди, О. Е. Капельное орошение / О. Е. Ясониди. – Новочеркасск: Лик, 2011. – 322 с.

8 Ясониди, Е. О. Гидравлические исследования поливных трубопроводов с капельницами / Е. О. Ясониди, О. Е. Ясониди, Д. П. Гостищев // Мелиорация и водное хозяйство. – 2018. – № 1. – С. 33–39.

9 Васильев, С. М. Геометрические и влажностные параметры контуров капельного увлажнения суглинистых черноземов / С. М. Васильев, А. С. Штанько // Мелиорация и водное хозяйство. – 2019. – № 1. – С. 16–19.

10 Шкура, В. Н. Компонентно-конструктивные решения самонапорных ярусных систем капельного орошения / В. Н. Шкура, А. С. Штанько // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2018. – № 2(30). – С. 78–94. – Режим доступа: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=542&id=547>.

11 Штанько, А. С. Методика расчета поливных норм, обеспечивающих формирование заданных параметров увлажнения почв при капельном поливе / А. С. Штанько, В. Н. Шкура // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2018. – № 4(32). – С. 60–76. – Режим доступа: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=567&id=571>. – DOI: 10.31774/2222-1816-2018-4-60-76.

12 Щедрин, В. Н. Методологические основы проектирования самонапорных систем капельного орошения / В. Н. Щедрин, А. С. Штанько, В. Н. Шкура // Мелиорация и водное хозяйство. – 2018. – № 2. – С. 36–42.

References

1 Akhmedov A.D., Galiullina E.Yu., 2012. *Kontury uvlazhneniya pochvy pri kapel'nom oroshenii* [Soil moisture contours under drip irrigation]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Proc. of Nizhnevolzhskiy Agrouniversity Complex: Science and Higher Vocational Education], no. 3, pp. 183–188. (In Russian).

2 Borodychev V.V., 2010. *Sovremennyye tekhnologii kapel'nogo orosheniya ovoshchnykh kul'tur* [Modern Technology of Drip Irrigation of Vegetable Crops]. Volgograd, Inlight Publ., 242 p. (In Russian).

3 Dubenok N.N., Gemonov A.V., 2018. *Formirovanie kornevoy sistemy sazhenitsev slivy pri kapel'nom oroshenii i raspredelenie vlagi po pochvennomu profilu v usloviyakh Nечерноземной зоны* [Formation of the root system of plum seedlings under drip irrigation and distribution of moisture along the soil profile in the Non-Chernozem zone]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* [Irrigation and Water Management], no. 4, pp. 9–13. (In Russian).

4 Ovchinnikov A.S., Meshcheryakov M.P., Bocharnikov V.S., 2012. *Modernizatsiya elementov sistem kapel'nogo orosheniya* [Modernization of the of drip irrigation systems elements]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee profes-*

sional'noe obrazovanie [Proc. of Nizhnevolzskiy Agrouniversity Complex: Science and Higher Vocational Education], no. 3(27), pp. 171-174. (In Russian).

5 Ovchinnikov A.S., Bocharnikov V.S., Meshcheryakov M.P., 2012. Methodology of calculation and justification of the wetting parameters in the open field and greenhouse. *Environmental Engineering*, no. 4, p. 29.

6 Khrabrov M.Yu., 1999. *Raschet rasprostraneniya vlagi v pochve pri kapel'nom oroshenii* [Calculation of moisture distribution in soil under drip irrigation]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* [Irrigation and Water Management], no. 4, pp. 34-35. (In Russian).

7 Yasonidi O.E., 2011. *Kapel'noe oroshenie* [Drip Irrigation]. Novocherkassk, Lik Publ., 322 p. (In Russian).

8 Yasonidi E.O., Gostishchev D.P., 2018. *Gidravlicheskie issledovaniya polivnykh truboprovodov s kapel'nitsami* [Hydraulic researches of irrigation conduits with the droppers]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* [Irrigation and Water Management], no. 1, pp. 33-39. (In Russian).

9 Vasiliev S.M., Shtan'ko A.S., 2019. *Geometricheskie i vlazhnostnye parametry konturov kapel'nogo uvlazhneniya suglinistykh chernozemov* [Geometric and moisture parameters of drip irrigation contours of loamy chernozems]. *Melioratsiya i vodnoye khozyaystvo* [Irrigation and Water Management], no. 1, pp. 16-19. (In Russian).

10 Shkura V.N., Shtan'ko A.S., 2018. [Constructive-layout arrangements of gravity layer systems in drip irrigation]. *Nauchnyy Zhurnal Rossiyskogo NII Problem Melioratsii*, no. 2(30), pp. 78-94, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=542&id=547>. (In Russian).

11 Shtan'ko A.S., Shkura V.N., 2018. [The methodology for calculating irrigation rates providing the formation of the given soil moisture parameters under drip irrigation]. *Nauchnyy Zhurnal Rossiyskogo NII Problem Melioratsii*, no. 4(32), pp. 60-76, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=567&id=571>, DOI: 10.31774/2222-1816-2018-4-60-76. (In Russian).

12 Shchedrin V.N., Shtan'ko A.S., Shkura V.N., 2018. *Metodologicheskie osnovy proektirovaniya samonapornykh sistem kapel'nogo orosheniya* [Methodological basis of design of gravity drip systems]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* [Irrigation and Water Management], no. 2, pp. 36-42. (In Russian).

Штанько Андрей Сергеевич

Ученая степень: кандидат технических наук

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: rosniipm@yandex.ru

Shtanko Andrey Sergeyevich

Degree: Candidate of Technical Sciences

Position: Leading Researcher

Affiliation: Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems

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

E-mail: rosniipm@yandex.ru

Шкура Виктор Николаевич

Ученая степень: кандидат технических наук

Ученое звание: профессор

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: rosniipm@yandex.ru

Shkura Viktor Nikolayevich

Degree: Candidate of Technical Sciences

Title: Professor

Position: Leading Researcher

Affiliation: Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems

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

E-mail: rosniipm@yandex.ru