

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ПИТАЮЩЕГО ТРУБОПРОВОДА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ОРОШЕНИЯ РАССАДНЫХ ТЕПЛИЦ

А. В. ГРУШИН, А. В. КОЛОМЕЕЦ

Ключевые слова: трубопровод, гидравлический расчет, расход воды, напор, гидравлическое сопротивление

Keywords: pipeline, hydraulic calculation, water flow rate, pressure, and hydraulic resistance

Аннотация. В статье приведен метод гидравлического расчета полиэтиленового питающего напорного трубопровода для проектируемой автоматизированной установки микродождевания рассадных культур, выращиваемых по кассетной технологии в теплицах. Метод гидравлического расчета при проектировании трубопроводных систем для орошения, позволяет определить необходимые параметры потока и потери давления, диаметр труб, если он не задан, подобрать дождеобразующие устройства и насосное оборудование. Алгоритм расчета основывается на исходных данных заданных параметров (диаметра, длины и материала трубопровода, перепада высот, расходных характеристиках и прочих параметрах), схеме системы, с указанием всех узлов на трубопроводе (арматуры, отводов, соединительных элементов и прочего), расчета потерь напора и оптимизации результатов расчета в случае необходимости. При расчетах используются формулы Дарси-Вейсбаха для определения потерь напора на трение и скорости потока для расчета через площадь сечения трубопровода расхода воды. Результат гидравлического расчета показывает, какими должны быть питающий трубопровод и параметры напора и расхода для реализации обеспечения выполнения технологического процесса полива.

Abstract. This article presents a hydraulic calculation method for a polyethylene supply pressure pipeline for a planned automated micro-sprinkler irrigation system for seedlings grown using cassette technology in greenhouses. This hydraulic calculation method for designing irrigation pipeline systems allows one to determine the required flow parameters and pressure losses, the pipe diameter (if not specified), and select rain-generating devices and pumping equipment. The calculation algorithm is based on initial data for the specified parameters (pipeline diameter, length, and material, elevation difference, flow characteristics, and other parameters), a system diagram indicating all pipeline components (fittings, bends, connectors, and others), a calculation of pressure losses, and optimization of calculation results where necessary. The calculations utilize the Darcy-Weisbach formulas for determining frictional pressure losses and flow velocity to calculate water flow using the pipeline cross-sectional area. The result of the hydraulic calculation shows what the supply pipeline and pressure and flow parameters should be to ensure the implementation of the technological irrigation process.

Введение. Гидравлический расчет дождевальной установки производится с целью выбора диаметра питающего трубопровода, определения скоростей и расходов в системе полива, гидравлических потерь напора по длине трубопровода и определения необходимого напора. Расчет производится с учетом характеристик материала трубопровода, вида и количества элементов, устанавливаемых в системе трубопровода, необходимой производительности и характеристик рабочей среды.

Гидравлический расчет трубопровода позволит правильно подобрать насосное оборудование подачи воды для полива.

Цель. Определение потерь напора воды по длине трубопровода на местные сопротивления и правильный подбор насосного оборудования системы водоподдачи в соответствии с требуемыми расходами и напором в сети.

Результаты и их обсуждение. Объектом исследования является напорный питающий трубопровод про-

ектируемой автоматизированной установки микродождевания теплиц. Установка применяется в рассадных теплицах туннельного типа для дождевания в автоматическом режиме в движении по подвесной рельсовой системе, по которой посредством тросовой системы с мотор-редуктором перемещаются поливная тележка с дождеобразующими устройствами и тележка петлеобразователя питающего шланга [1]. Комплект применяют в тепличном хозяйстве для полива кассетной рассады, низкорослой культуры в контейнерах или зеленых культур (лук на перо и т. п.). Комплектом можно проводить подкормку растений или химобработку растений и грунта. Комплект состоит из двухрельсовой направляющей, жестко подвешиваемой к каркасу теплицы над центральной дорожкой, двух кареток на четырех катках (поливной и петлеобразующей, для оборота питающего трубопровода), поливная каретка оснащена поперечной балкой, на которой установлены две телескопические штанги, для изменения высоты. Внизу штанг, с двух сторон от центральной дорожки теплицы расположены открылки с двумя рядами форсунок.

Гидравлическая обвязка состоит из подводящего и питающего напорных полиэтиленовых трубопроводов с соединительными частями, а также необходимой запорной арматуры и исполняющих дождеобразующих устройств в виде форсунок. Схемы питающего и подводящего трубопроводов представлены на рисунке.

Исходными данными заложено, что полиэтиленовый трубопровод по конструктивным требованиям должен иметь диаметр 40 мм, толщину стенки 3 мм и длину 100 м питающего трубопровода и 10 м подводящего. Расход одной форсунки при напоре 30 м равен 0,041 л/с. Общее количество одновременно работающих форсунок в ряду – 9. Тогда общий расход будет равен $0,041 \cdot 9 = 0,369$ л/с или $0,000369$ м³/с.

При диаметре полиэтиленовой трубы 40 мм и толщине стенки 3 мм внутренний диаметр равен 34 мм. Отсюда площадь сечения трубопровода:

$$\omega = \pi d^2 / 4 = 3,14 \cdot 0,034^2 / 4 = 0,00090746 \text{ м}^2,$$

где d – внутренний диаметр трубы, м.

Скорость потока воды V в трубе, м/с:

$$V = Q / \omega,$$

где Q – расход воды в трубопроводе, м³/с; ω – площадь внутреннего сечения трубы, м².

$$V = 0,000369 / 0,00090746 = 0,738 \approx 0,41 \text{ м/с}.$$

Определяем число Рейнольдса Re :

$$Re = Vd / \nu,$$

где ν – кинематическая вязкость воды, м²/с.

При 20 °С кинематическая вязкость воды $\nu = 1,004 \cdot 10^{-6}$ м²/с.

$$Re = 0,41 \cdot 0,034 / 1,004 \cdot 10^{-6} \approx 13884.$$

Определяем коэффициент гидравлического трения λ : при $4000 < Re < 40(d/k)$, где k – абсолютная шероховатость трубы, мм; находится в зоне гидравлически гладких труб и λ определяется по формуле Блазиуса: $\lambda = 0,3164 / Re^{0,25}$.

$$\lambda = 0,3164 / (13884)^{0,25} \approx 0,02916.$$

Потери напора по длине трубопровода, как при ламинарном, так и при турбулентном режиме течения определяют по формуле Дарси-Вейсбаха, м:

$$\Delta H = \lambda(lv^2) / (d2g),$$

где l – длина трубопровода, м; g – ускорение свободного падения – $9,81 \text{ м/с}^2$.

$$\Delta H = 0,02916(100 \cdot 0,74^2) / (0,034 \cdot 2 \cdot 9,81) = 2,39 \text{ м}.$$

Предварительно в схеме системы предполагается установка фильтра тонкой очистки, второго фильтра менее тонкой очистки, клапана электромагнитного, двух шаровых кранов, манометра, а также трубопроводной арматуры: тройников – 3 шт., угольников – 8 шт., плавных отводов из труб – 6 шт.

Гидравлические потери H_{Π} сложатся из сумм потерь по длине и потерь на местные сопротивления, т. е.

$$H_{\Pi} = \Delta H + \sum H_M,$$

где ΔH – потери напора по длине трубопровода; H_M – потери напора на местные сопротивления.

Потери напора на местные сопротивления H_M вычисляются по формуле Вейсбаха, м:

$$H_M = \xi v^2 / 2g,$$

где ξ – коэффициент местного сопротивления для арматуры, поворотов, ответвлений и т. п.

Потери местного сопротивления на повороты 90° H_{Π} со значением $\xi = 1,1$:

$$8H_{\Pi} = 8 \cdot 1,1 \cdot 0,74^2 / 2 \cdot 9,81 = 0,245 \text{ м}.$$

Потери на тройниках $H_{\text{отв}}$ с $\xi = 1,5$:

$$3H_{\text{отв}} = 3 \cdot 1,5 \cdot 0,74^2 / 2 \cdot 9,81 = 0,125 \text{ м}.$$

Потери напора на шаровые краны H_K с $\xi = 0,15$:

$$2H_K = 2 \cdot 0,15 \cdot 0,74^2 / 2 \cdot 9,81 = 0,008 \text{ м}.$$

Потери напора на клапане электромагнитном $H_{KЭ}$ с $Kvs = 136 \text{ м}^3/\text{ч}$:

$$H = (Q / Kvs) 10, \text{ м}$$

где Q – расход воды, $\text{м}^3/\text{ч}$; Kvs – пропускная способность, $\text{м}^3/\text{ч}$; 10 – пересчет атмосфер в метры водного столба.

$$H_{KЭ} = (2,4 / 136) 10 = 0,176 \text{ м}.$$

Потери напора на изгиб трубопровода $H_{\text{изг}}$ при $\xi = 0,5$:

$$6H_{\text{изг}} = 6 \cdot 0,5 \cdot 0,74^2 / 2 \cdot 9,81 = 0,084 \text{ м}.$$

Потери напора на соединительных муфтах H_C с $\xi = 0,6$:

$$10H_C = 10 \cdot 0,6 \cdot 0,74^2 / 2 \cdot 9,81 = 0,167 \text{ м}.$$

Потери напора на фильтре H_{Φ} с фильтрацией до 170 мкм и $Kvs = 16 \text{ м}^3/\text{ч}$:

$$2H_{\Phi} = 2(2,4 / 16) 10 = 3 \text{ м}.$$

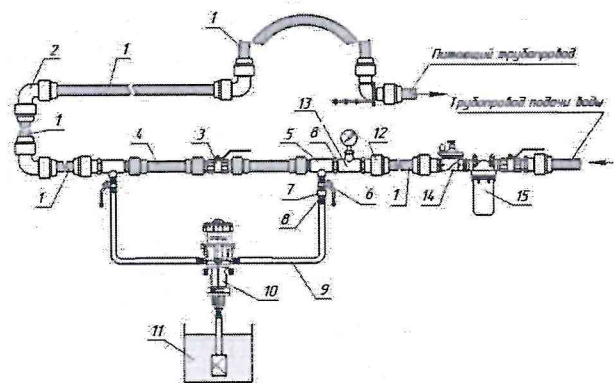
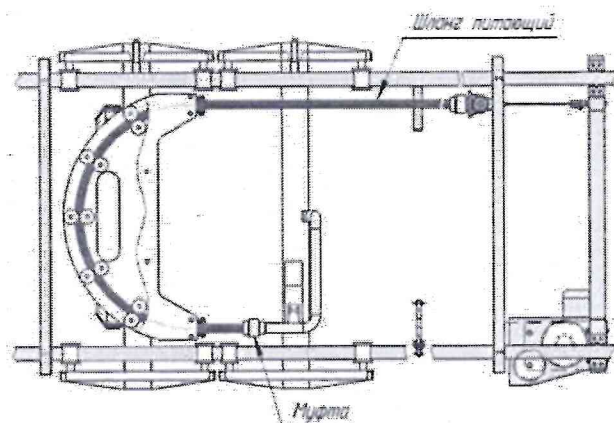
Высота перепада от забора воды до верхней точки подъема H_T составляет $2,5 \text{ м}$.

Итоговая сумма потерь напора по длине трубопровода и местные сопротивления составляет, м:

$$H_{\Pi} = \Delta H + \sum H_M;$$

$$H_{\Pi} = 2,39 + (0,245 + 0,125 + 0,008 + 0,176 + 0,084 + 0,167 + 3 + 2,5) \approx 8,7 \text{ м}.$$

При рекомендованном режиме работы форсунок при микрождевании, равном 30 м , и потерях напора на местные сопротивления $8,7 \text{ м}$, величина необхо-



Схемы питающего (а) и подводящего (б) трубопроводов:

- 1 – подводящий трубопровод; 2 – отвод; 3, 6 – кран;
- 4 – патрубков; 5, 13 – тройник; 7 – ерш; 8 – хомут;
- 9 – шланг; 10 – дозатор; 11 – емкость; 12 – муфта;
- 14 – клапан; 15 – фильтр

димого входного напора в начале трубопровода должна быть не менее 40 м .

Выводы и рекомендации

1. Расчетным методом определено, что скорость движения жидкости в трубопроводе при заданных параметрах составляет $0,41 \text{ м/с}$.
2. Число Рейнольдса $Re = 13884$.
3. Коэффициент гидравлического трения $\lambda = 0,02916$.
4. Суммарные потери напора по длине трубопровода $\Delta H = 8,7 \text{ м}$.
5. При рекомендуемом напоре на форсунках 30 м , необходимый напор на входе в систему трубопровода установки необходим не менее 40 м .
6. Расчетный метод определения потерь напора по длине трубопровода позволяет правильно подобрать насосное оборудование подачи воды для обеспечения выполнения технологического режима полива рассады в теплице.

ЛИТЕРАТУРА

1. Грушин А.В., Гжибовский С.А., Коломеец А.В. Актуальность развития тепличного комплекса // Вестник мелиоративной науки. 2024. № 1. С. 62–66.
2. СП 40-102-2000. Проектирование и монтаж трубопроводов систем водоснабжения и канализации из полимерных материалов.

3. СП 66.13330.2011. Проектирование и строительство напорных сетей водоснабжения и водоотведения с применением высокопрочных труб из чугуна с шаровидным графитом. С изменениями № 1. Изд. официальное, М., 2015.

4. СП 399.1325800.2018. Системы водоснабжения и канализации наружные из полимерных материалов. Правила проектирования и монтажа. С изменениями № 1.

5. Абрамов Н.Н. Водоснабжение: учебник для вузов. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1974. 480 с.

6. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическому сопротивлению фасонных и прямых частей трубопроводов. Жуковский: ЦАГИ, 1950.

7. Френкель Н.З. Гидравлика. М.-Л.: Госэнергоиздат, 1947.

8. Справочник по гидравлическим расчетам / Под ред. П.Г. Киселева. Изд. 4-е, перераб. и доп. М.: Энергия, 1972. 372 с.

REFERENCES

1. Grushin A.V., Gzhibovsky S.A., Kolomeets A.V. The relevance of the development of the greenhouse complex // Bulletin of Land Reclamation Science. 2024. No. 1. Pp. 62–66.

2. SP 40-102–2000. Design and Installation of Piping Systems for Water Supply and Sewerage Systems Made of Polymer Materials.

3. SP 66.13330.2011. Design and construction of pressurized water supply and sanitation networks using high-strength cast iron pipes with spherical graphite. With amendments No. 1. Official edition, Moscow, 2015.

4. SP 399.1325800.2018. Outdoor water supply and sewage systems made of polymer materials. Design and installation rules. With amendments No. 1.

5. Abramov N.N. Water Supply. Textbook for Higher Education Institutions. 2nd Edition, Revised and Expanded. Moscow, Stroyizdat, 1974. 480 p.

6. Idelchik I.E. Handbook on the Hydraulic Resistance of Shaped and Straight Parts of Pipelines, TsAGI, 1950.

7. Frenkel N.Z. Hydraulics, Gosenergoizdat, 1947.

8. Handbook of Hydraulic Calculations. Edited by P.G. Kiselev. 4th edition, revised and expanded. Moscow, Energiya, 1972. 372 p.

Грушин Алексей Владимирович, ст. науч. сотрудник отдела техники и технологий микроорошения, gav.vniiraduga@yandex.ru, SPIN-код: 8176-8525 AuthorID: 914880; **Колomeец Анастасия Валерьевна**, мл. науч. сотрудник отдела техники и технологий микроорошения, kolomeecz.n@bk.ru, SPIN-код: 1610-2385, AuthorID: 1046655 (ВНИИ систем орошения и сельхозводоснабжения «Радуга», г. Коломна, Россия).

УДК 626.8

DOI: 10.32962/0235-2524-2026-1-4-7

ИССЛЕДОВАНИЯ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ МЕЛИОРАТИВНЫХ ОРОСИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ

Х.А. АБДУЛМАЖИДОВ, В.И. БАЛАБАНОВ, И.В. БЕЛОВ, Н.В. ГАВРИЛОВСКАЯ

Ключевые слова: мелиоративные оросительные каналы, фильтрация в каналах, защитные покрытия каналов, дефекты бетонных покрытий, бетоны для ремонта каналов, прочность бетонов, марки бетонов

Keywords: reclamation irrigation canals, filtration in canals, protective coatings of canals, defects of concrete pavements, concretes for canal repair, strength of concrete, concrete grades

Аннотация. В статье представлены анализ состояния защитных бетонных покрытий оросительных каналов, способы восстановления нарушенных бетонных конструкций, результаты экспериментальных исследований бетонов для ремонта защитных покрытий оросительных каналов, рекомендации по видам и количеству добавок в бетонные смеси для улучшения их свойств при ремонте стыков бетонных конструкций. В процессе длительной эксплуатации мелиоративных оросительных каналов с защитными бетонными покрытиями в виде плит и экранов, наблюдается их разрушение под действием сил со стороны потока воды, волновых сил, льда в зимний период, а также собственного веса, в результате чего происходит трещины стыков, сползание плит, оголение и размыв участков канала, приводящие к увеличению потерь воды с фильтрацией. В статье представлено исследование прочности бетонов с сульфоферритными добавками, основное назначение которых заключается в контролируемом расширении цементных растворов с компенсацией усадки, что важно для гидроизоляции и заделки трещин, с добавлением суперпластификатора на основе эфира поликарбоксилата с ускорителем набора прочности BASF MasterGlenium ACE 430.

Abstract. This article presents the analysis of the condition of protective concrete coatings of irrigation canals, methods of restoration of disturbed concrete structures, the results of experimental studies of concretes for the repair of protective coatings of irrigation canals, recommendations on the types and amount of additives to concrete mixtures to improve their properties when repairing joints of concrete structures. In the process of long-term operation of reclamation irrigation canals with protective concrete coatings in the form of slabs and screens, their destruction is observed under the influence of forces from the water flow, wave forces, ice in winter, as well as its own weight, as a result of which cracks occur in joints, sliding of slabs, exposure and erosion of sections of the canal, leading to an increase in water losses with filtration. The article presents a study of the strength of concretes with sulfoferritic additives, the main purpose of which is the controlled expansion of cement mortars with shrinkage compensation, which is important for waterproofing and crack sealing, with the addition of a polycarboxylate ester-based superplasticizer with a BASF MasterGlenium ACE 430 hardening accelerator.

Введение. Потери воды на фильтрацию в процессе ее транспортировки в каналах зоны орошения в земляном теле могут достигать значительных величин, что отражается негативно не только с точки зрения экологии, подтопления ближайших территорий, но и с экономической целесообразности. Для исключения таких потерь на предварительно уплотненных поверхностях дна и откосов оросительных каналов формируются защитные бетонные покрытия. Они могут быть сформированы в виде бетонных плит со стыковыми соединениями или в целом сформированы заливкой бетонной смеси в опалубку с армированными конструкциями в процессе строительства [1–4].

Цель исследования. Обоснование, выбор и определение прочности бетонных смесей с использованием сульфоферритных добавок и дифференцированного количества суперпластификатора на основе эфира поликарбоксилата с ускорителем набора прочности BASF MasterGlenium ACE 430.

Материалы и методы исследования. При длительной эксплуатации мелиоративных оросительных каналов с защитными покрытиями наблюдается их частичное разрушение, особенно соединительных стыков и швов бетонных плит. Кроме того, часто наблюдается сползание бетонных плит по откосу канала, при котором оголяется грунтовая подоснова, которая с течением времени размывается. Часто сползание бетонных плит возникает в результате разрушения конструкций бетонных оснований служащих упором для самой плиты. Такое состояние откосов и дна может привести к повышению фильтрации. Для обеспечения сохранности защитных экранов, связей бетонных плит