

Гидравлика и инженерная гидрология

Научная статья

УДК 628.144.22:628.381.4-047.44(567)

<https://doi.org/10.24866/2227-6858/2021-4/81-89>

Абдуламир Лейс Саид Абдуламир, Н.Т. Джумагулова

АБДУЛАМИР ЛЕЙС САИД АБДУЛАМИР – аспирант (автор, ответственный за переписку),
laith_eng2009@yahoo.com

*Национальный исследовательский Московский государственный
строительный университет*

ДЖУМАГУЛОВА НАЗИРА ТЕНТИМИШОВНА – к.т.н., доцент, dnazira@rambler.ru

*Национальный исследовательский Московский государственный
строительный университет*

*Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева
Москва, Россия*

Технико-экономическое обоснование выбора параметров труб и системы транспортировки сточных вод для орошения на примере административного города Кербела (Ирак)

Аннотация: Для решения проблемы дефицита воды на орошение сельскохозяйственных земель в административном округе Кербель в Ираке было принято решение использовать повторно очищенные сточные воды, качество которых удовлетворяет требованиям, предъявляемым для полива воды сельскохозяйственных культур. Рассмотрены два варианта расходов очищенных сточных вод: со старых очистных сооружений производительностью 1,16 м³/с и второй вариант с расходом 4,63 м³/с с учетом старых и новых очистных сооружений. В работе предпринято обоснование выбора оптимального диаметра и материала труб для обоих вариантов с учетом снижения затрат на транспортировку очищенных сточных вод до места назначения с использованием модели WaterCAD V8i. Выбор производился между трубами из следующих материалов: ковкий чугун, стеклопластик GRP, бетон и пластик. Произведены гидравлические расчеты работы системы подачи воды на орошение. Стоимость транспортировки воды рассчитывалась для каждого диаметра и типа трубы для обоих вариантов. Результаты показали, что диаметр трубы 1000 мм для пластика является оптимальным для первого варианта, а диаметр 2000 мм для материала из ковкого чугуна – оптимальным для второго варианта. Впервые рассматривается вопрос повторного использования очищенных сточных вод для решения продовольственных, социальных и экономических проблем для данного региона и предлагается схема трассировки магистрального трубопровода для повторного использования сточных вод для орошения.

Ключевые слова: повторное использование воды, транспорт воды, очистные сооружения, оптимизация, затраты, материалы труб

Для цитирования: Абдуламир Лейс Саид Абдуламир, Джумагулова Н.Т. Технико-экономическое обоснование выбора параметров труб и системы транспортировки сточных вод для орошения на примере административного города Кербела (Ирак) // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2021. № 4(49). С. 81–89. <https://doi.org/10.24866/2227-6858/2021-4/81-89>

Введение

Одной из главных задач системы сельскохозяйственного водоснабжения является обеспечение необходимым количеством воды для полива культур. В последние годы для проектирования систем водоснабжения используются различные пакеты прикладных компьютерных

© Абдуламир Лейс Саид Абдуламир, Джумагулова Н.Т., 2021

Статья: поступила: 30.08.2021; рецензия: 18.10.2021; финансирование: Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет.

программ, имитационные и математические модели [2, 5, 9, 10]. С их помощью можно производить гидравлические расчеты потока в трубах, подбирать оптимальный диаметр труб, определить скорости движения воды при определенных расходах и т.д., [1, 3, 6, 11, 13].

Цель настоящей статьи – определение оптимального диаметра труб для магистральной сети, транспортирующей очищенные сточные воды в городе Кербела (Ирак), с использованием программного обеспечения WaterCAD V8i.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи.

- 1) построить схему трассировки подачи воды по трубопроводам, проложенным под землей;
- 2) подобрать оптимальный диаметр и материал трубопроводов;
- 3) обеспечить бесперебойную подачу очищенных сточных вод.

Способ транспортировки воды по открытому каналу был невыгоден из-за климатических условий региона, потому что значительная часть воды терялась при испарении. При транспортировке воды по трубам нами рассмотрены два варианта: 1) при расходе = $1.16 \text{ м}^3/\text{с}$, диаметрах труб от 800 до 1200 мм, 2) при расходе = $4.63 \text{ м}^3/\text{с}$, диаметрах труб от 1600 до 2000 мм. В данное время со старых очистных сооружений производится сброс очищенных сточных вод расходом $1.16 \text{ м}^3/\text{с}$. В городе строятся новые очистные сооружения, которые будут производить сброс очищенных сточных вод $3,47 \text{ м}^3/\text{с}$., тогда с новых и старых очистных сооружений вместе расход воды составит $4,63 \text{ м}^3/\text{с}$. В связи с этим в наших вариантах заложены существующие и проектируемые расходы сброса очищенных сточных вод.

Программное обеспечение WaterCAD, которым мы пользуемся в настоящей статье, разработано для проектирования и анализа работы водопроводной сети. Этот программный продукт обеспечивает выбор оптимальных условий работы системы трубопроводов при проектировании в штатных и нештатных ситуациях. Программный алгоритм WaterCAD основан на градиентном методе. Программное обеспечение WaterCAD предлагает оптимальные решения независимо от типа сети, то есть сеть может быть разветвленной, замкнутой или комбинацией разветвленной и замкнутой [7, 12]. В [11] цель авторов – оптимизировать спроектированную систему распределения воды в г. Вукро с использованием модели WaterGEMS. Darwin Designer в WaterGEMS был применен для поиска оптимального диаметра трубы для подачи необходимого количества воды при удовлетворительном давлении для конечных пользователей. Результаты показали, что максимальное давление до оптимизации составляло 31,1 м, а после оптимизации – 38,1 м. Минимальное давление составляет 7,9 м и во время пиковой нагрузки достигает 16 м. Результаты этого исследования показали, что модель WaterGEMS является многообещающим подходом для оптимального определения размеров труб при проектировании водораспределительных сетей и графиков работы насосов. В работе [12] программные обеспечения WaterCAD и WaterGEMS были использованы для сравнительной оценки работоспособности системы распределения воды Федерального сельскохозяйственного университета Макурди. Также был проведен стационарный анализ для определения гидравлических параметров, таких как давление, скорость, потеря напора и скорость потока. Результат статистического анализа показал, что оба симулятора могут использоваться взаимозаменяемо, поскольку статистических различий не было. В нашем случае рассматривается магистральная сеть, которая решается также с помощью вышеуказанного программного продукта. Кроме того, в расчетах использован Darwin Designer, более усовершенствованный инструмент в WaterCAD, позволяющий найти проекты с минимальной стоимостью. Поскольку инструмент доступен в WaterCAD, он включает механизмы оптимизации для автоматической калибровки, проектирования и восстановления работы системы трубопроводов [4].

Материалы и методы

Исследования, проведенные в этой статье, основаны на данных Управления водных ресурсов и Управления канализации в провинции Кербела. Эти данные были использованы для построения имитационной модели с помощью программы WaterCAD V8i. Основу моделирования транспорта очищенных вод для подачи в оросительные системы составляет

имитация процессов движения воды в магистральных трубопроводах. Для обеспечения транспорта воды в напорных системах необходимо учесть потери напора, от которого зависят энергетические затраты на перекачку воды насосным оборудованием.

В литературе известны различные уравнения для определения потерь напора в трубах. Наиболее широкое признание в гидромеханике получила формула Дарси–Вейсбаха благодаря проверенной точности по сравнению с другими уравнениями [8]. Уравнение Дарси–Вейсбаха традиционно рассматривается как наиболее точный метод моделирования потерь на трение в следующем виде:

$$h_f = \lambda \frac{L V^2}{D 2g}, \quad (1)$$

где h_f – потеря напора, м; λ – коэффициент гидравлического сопротивления (коэффициент трения Дарси–Вейсбаха); D – диаметр трубы, м; L – длина трубы, м; V – скорость потока, м/с; g – постоянная гравитационного ускорения, м/с².

Обозначим

$$\lambda = 2 f \left(Re, \frac{\Delta}{d} \right), \quad (2)$$

$$Re = \frac{\rho v d}{\mu}, \quad (3)$$

где Re – число Рейнольдса (безразмерное); ρ – плотность потока ($\frac{Kg}{m^3}$); V – средняя скорость потока, м/с; d – диаметр трубы, м; μ – динамическая вязкость, Па · с; Δ – шероховатость стенок, м.

Постоянные и эксплуатационные расходы

Фиксированная стоимость (C_f) трубопровода L выражается согласно [7]:

$$C_f = P \times L \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}, \quad (4)$$

где C_f – фиксированная стоимость, \$/год; P – текущая сумма; L – длина трубы, м; i – процентная ставка; n – срок службы трубы, лет.

Стоимость эксплуатации (C_o) также зависит от следующих факторов:

$$C_o = f(d, Q, h_f, t, c_e, \eta). \quad (5)$$

Годовые эксплуатационные расходы на преодоление трения составляют

$$C_o = \frac{0.746 \times W Q h_f \times c_e \times t}{75 \eta}. \quad (6)$$

При подстановке значения скорости в уравнении (1) $h_f = \frac{8 \lambda L Q^2}{\pi^2 g d^5}$

$$C_o = \frac{8.103 \times 10^{-4} \times W Q^3 h_f \times c_e \times t}{\eta d^5}. \quad (7)$$

Потери мощности из-за трения (PS) в лошадиных силах рассчитываются как

$$PS = \frac{W Q h_f}{75 \eta}. \quad (8)$$

Годовые потери мощности из-за трения (PS) рассчитываются в киловатт-часах:

$$PS = \frac{0.746 \times W \times Q \times h_f \times t}{75 \eta}. \quad (9)$$

Таким образом, $C_t = C_f + C_o$

$$C_t = P \times L \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} + \frac{8.103 \times 10^{-4} \times Y Q^3 h_f \times c_e \times t}{\eta d^5}, \quad (10)$$

где C_t – общая стоимость, \$/год; C_f – фиксированная стоимость, \$/год; C_o – эксплуатационные расходы, \$/год; L – длина трубы, м; d – диаметр трубы, м; Q – расход, м³/с; h_f – потеря

напора, м; t – использование насоса, ч/год; C_e – стоимость электроэнергии, \$/ KWH; η – эффективность насоса = 80%; γ – удельный вес воды, кг/м³; P – цена за единицу длины трубы, \$/м; i – процентная ставка; n – срок службы трубы, лет.

Оптимизация трубопроводной системы

Усовершенствованный инструмент Darwin Designer в WaterCAD V8i применялся для решения задач оптимизации с очень большими областями решений.

Для четырех типов материалов труб использовались разные начальные диаметры в диапазоне 800–1200 мм и расход = 1,16 м³/с для первого варианта, 1600–2000 мм и расход = 4,63 м³/с для второго варианта при выборе лучших диаметров для снижения затрат на транспортировку сточных вод в Кербеле. Итак, нам необходимо с помощью Darwin Designer в WaterCAD V8i решить следующие задачи:

- выбор оптимального диаметра труб;
- снижении энергозатрат на транспортировку воды.

Минимизировать $C_t = C_f + C_o$

$$C_t = \sum_{f=1}^{N_{PP}} C_f L_f + \sum_{t=1}^{N_{Pm}} C_o L_t, \quad (11)$$

где C_t – общая стоимость, \$/год; C_f – стоимость единицы длины, \$/м, при диаметре D , мм; L_f – длина i -й трубы, м; N_{pp} – количество труб; C_o – эксплуатационные расходы, \$/год; L_t – длина t -й трубы, м; N_{pm} – тип материала трубы.

Для этого исследования давление и скорость ограничены: P равно от 0 до 40 м и V от 0,6 до 3 м/с.

Расчет стоимости трубы

В расчете используется стоимость трубы на единицу длины для разного сортамента материала труб. Цены на трубы в расчетах соответствуют ценам для административного округа Кербел (табл. 1).

Таблица 1

Стоимость труб из разного материала, \$/м

Диаметр, мм	Ковкий чугун,	Стеклопластик GRP	Бетон	Пластик
800	294	160	327	230
1000	326	227	488	345
1200	354	302	678	481
1600	405	473	1136	812
1800	427	569	1403	1006
2000	449	671	1696	1219

Примечание. Указана цена диаметра трубы за 1 погонный метр (п.м.) длины.

Построение схемы транспортировки воды

Схема транспортировки очищенных сточных вод между двумя станциями в городе Кербела построена с использованием программного обеспечения WaterCAD V8i. В программу заложена карта местности со всеми отметками и зданиями. Для обеспечения транспортировки воды принимается напорная система трубопроводов с использованием насосного оборудования. Подбор и размещение насосного оборудования также производились с помощью программного обеспечения WaterCAD V8i.

Для четырех типов материала использовались разные начальные диаметры в диапазоне 800–1200 мм и расход = 1,16 м³/с для первого варианта, 1600–2000 мм и расход = 4,63 м³/с – для второго (рис. 1).

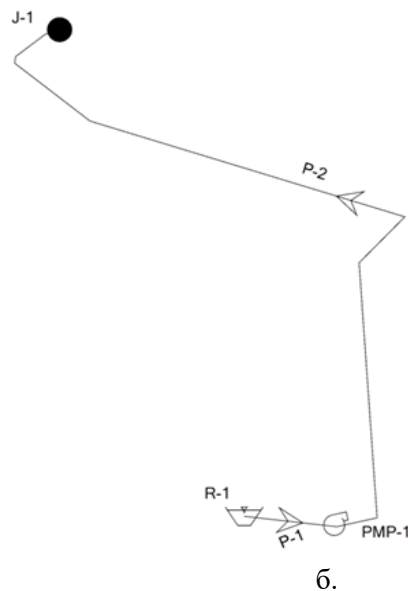


Рис. 1. Схема транспортировки очищенных сточных вод между двумя станциями в городе Кербела (а) и ее модельный дизайн (б): R-1 – источник воды, представляющий новую очистную установку; P-1 – от новой станции до насоса; PMP-1 – насос; P-2 – от насоса до старой станции; J – узел, представляющий расход воды со старой станции

Результаты исследования

Мы убедились, что сравнительную оценку и выбор наилучшего варианта диаметров трубопроводов, а также подбор насосного оборудования, определение гидравлических сопротивлений в этих коммуникациях можно проводить методами моделирования. С помощью программно-вычислительного комплекса WaterCAD V8i нами выполнены гидравлические расчеты для труб разного диаметра и из различных материалов. Потери напора в системе рассчитывались с использованием уравнения Дарси–Вейсбаха.

Годовые затраты на транспортировку сточных вод на 1 п.м. длины для четырех типов материала труб рассчитывались по формуле (7). Показана стоимость эксплуатационных расходов транспортировки воды на 1 п.м. трубопровода для двух вариантов (табл. 2). Дальность передачи между двумя станциями составляет 8200 м.

Таблица 2

Стоимость эксплуатации труб разных диаметров и материалов, \$/год

Диаметр, мм	Ковкий чугун	Стеклопластик GRP	Бетон	Пластик
Первый вариант				
800	1177	2396	1005	786
1000	122	240	106	87
1200	19	37	18	15
Второй вариант				
1600	1294	2561	1149	906
1800	392	763	350	283
2000	135	259	121	100

В целом увеличение годовой стоимости транспортировки воды можно наблюдать при уменьшении диаметра трубы для обоих вариантов из-за потери напора.

Данные таблиц 1, 2 мы использовали для построения математической модели расчета оптимального диаметра и типа материала трубы в системе водоснабжения. На рис. 2 показаны диаметр, цена материала трубы с указанием транспортных расходов на метр длины и тип каждой трубы.

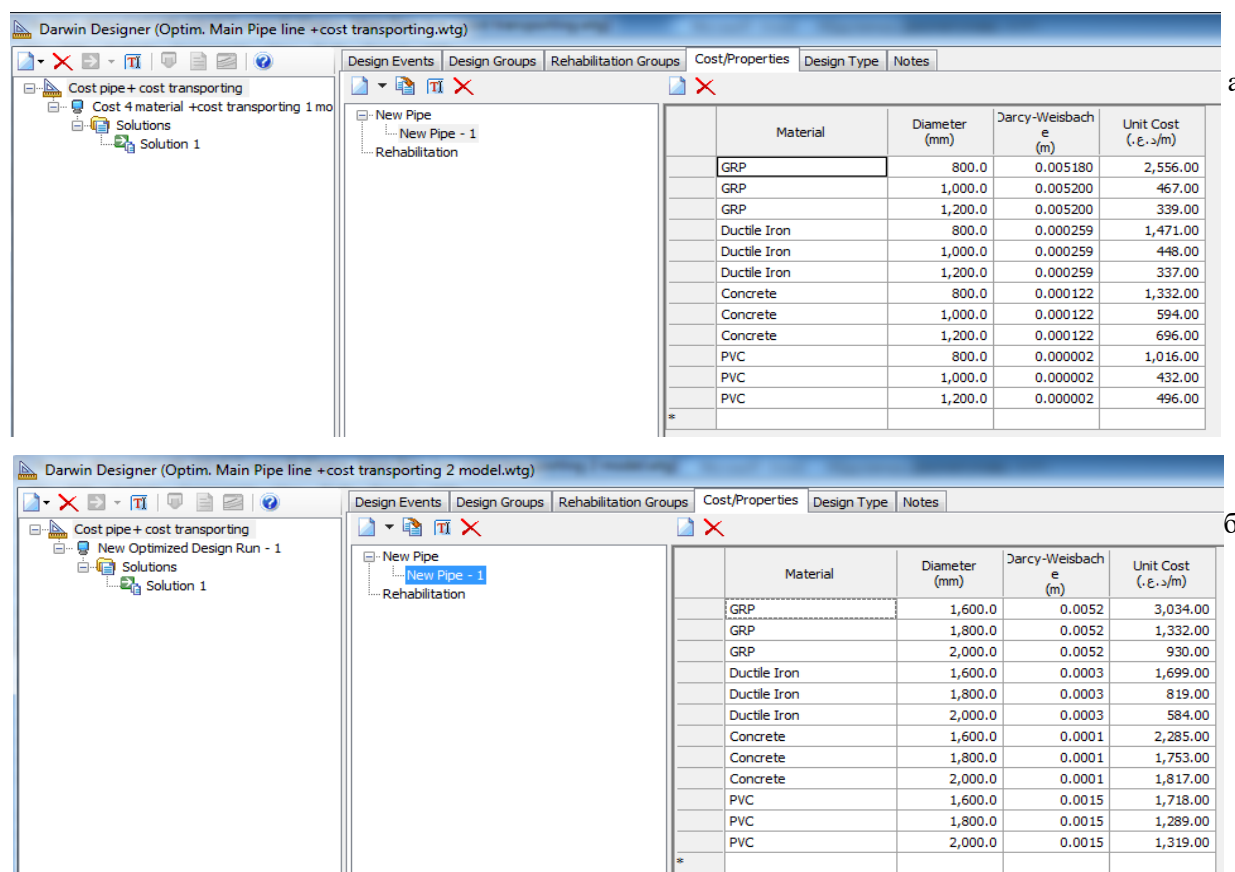


Рис. 2. Тип материала, диаметр и стоимость погонного метра длины труб, используемых в программе WaterCAD V8i, для первого (а) и второго (б) вариантов

Результаты вычисления модели свидетельствуют что, оптимальный диаметр трубы для первого варианта составлял 1000 мм из пластика при стоимости 3 585 600 долларов (цена трубы и стоимость транспортировки в год); результаты второго варианта составили 2000 мм для ковкого чугуна стоимостью 4 847 200 долларов (рис. 3). Также результаты показали, что давление и скорости в допустимых пределах.

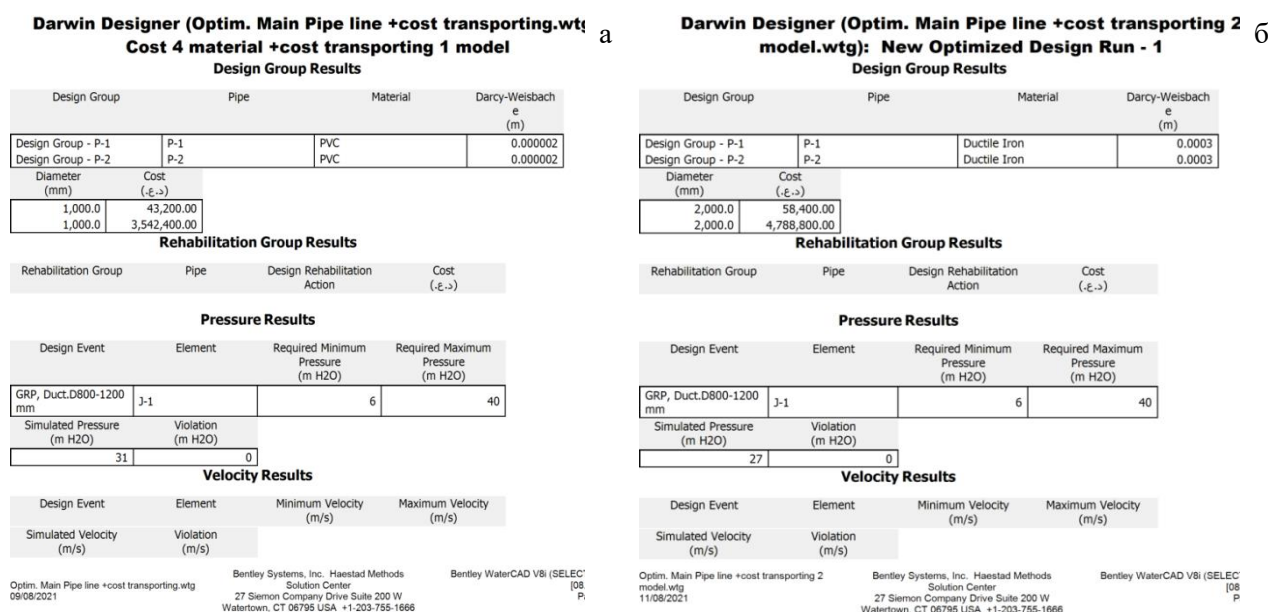


Рис. 3. Оптимизированный диаметр трубы с использованием WaterCAD V8i для первого (а) и второго (б) вариантов

Закключение

С использованием программного обеспечения WaterCAD V8i нами спроектирована оптимальная система магистральных трубопроводов для транспортировки очищенных сточных вод в г. Кербела (Ирак). Программное обеспечение дало возможность произвести оптимальный выбор по диаметру и материалам труб с учетом проектных ограничений, т.е. давления, скорости. Кроме того, с помощью программы удалось произвести расчет затрат на транспортировку воды с различными материалами и диаметрами труб и подобрать оптимальный вариант.

По результатам моделирования были получены следующие показатели:

1. Для первого варианта оптимальный диаметр труб при расходе = 1,16 м³/с составил 1000 мм из пластика. Годовые эксплуатационные расходы на транспортировку и стоимость трубы равны 3 585 600 долларов.
2. Для второго варианта оптимальный диаметр труб при расходе = 4,63 м³/с составил 2000 мм для ковкого чугуна. Годовые эксплуатационные расходы на транспортировку и стоимость трубы составили 4 847 200 долларов.
3. Определение стоимости транспортировки воды очень важно при выборе оптимального диаметра трубы, так как небольшой диаметр трубы требует более высоких эксплуатационных затрат на транспортировку расходов воды, чем в трубах большего диаметра.

Работа имеет практическую значимость и выполнена для административного района Кербель в Ираке. В дальнейшем планируется провести натурный эксперимент для верификации модели и уточнения данных.

Заявленный вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Al-Amin Bello D., Waheed Alayande A., Johnson Otun A., Abubakar Ismail, Umar Lawan F. Optimization of the designed water distribution system using MATLAB. International Journal of Hydraulic Engineering. 2015;4(2):37–44. doi:10.5923/j.ijhe.20150402.03
2. Arunjyoti Sonowal, Senapati S.C. and Sirisha Adamala. A mathematical model for the selection of an economical pipe size in pressurized irrigation systems. Afr. J. Agric. Res. 2016;11(8):683–692. doi:10.5897/AJAR2015.10648

3. Do Guen Yoo, Ho Min Lee, Ali Sadollah, and Joong Hoon Kim. Optimal Pipe Size Design for Looped Irrigation Water Supply System Using Harmony Search: Saemangeum Project Area. *The scientific World Journal*. 2015:1–10. URL: <https://doi.org/10.1155/2015/651763> Fulvio Boano, Marco Scibetta, Luca Ridolfi, Orazio Giustolisi. Water distribution system modeling and optimization: A case study. *Procedia Engineering*. 2015;119(1):719–724. doi:10.1016/j.proeng.2015.08.925
4. King Kuok Kuok, Po Chan Chiu, Danny Chee and Ming Ting. Evaluation of “C” Values to Head Loss and Water Pressure Due to Pipe Aging: Case Study of Uni-Central Sarawak. *Journal of Water Resource and Protection*. 2020;12:1077–1088. doi:10.4236/jwarp.2020.1212064
5. Loredana Pintilie, Carmen M. Torres, Carmen Teodosiu, Francesc Castells. Urban wastewater reclamation for industrial reuse: An LCA case study. *Journal of Cleaner Production*. 2016;139:1–14. doi:10.1016/j.jclepro.2016.07.209
6. Niazkar M., Talebbeydokhti N. and Afzali S.H. Relationship between Hazen-William coefficient and Colebrook-White friction factor: Application in water network analysis. *European Water*. 2017;58: (513–520).
7. Rezagama A., Handayani D.S., Zaman B. and Putra R.R. S. Design Optimization of Water Distribution Suburban Area in Mranggen, Semarang, Indonesia. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2020;448:1-10. doi:10.1088/1755-1315/448/1/012066
8. Ramos H.M., Costa L.H.M., Goncalves F.V. Energy efficiency in water supply systems: GA for pump schedule optimization and ANN for Hybrid energy prediction. *Intech Open*. 2012;4(2):75–103. doi:10.5772/50458
9. Samani H.M. V., Zanganeh A. Optimisation of water networks using linear programming. *Proceedings of the ICE - Water Management*. 2015;163(9):475–485. doi:10.1680/wama.2010.163.9.475
10. Shinde Parmanand Bhaskar, Dr. More Ashok B., Ankush Rout K., Gadhe Mayuri Rajendra. Feasibility Analysis of Water Distribution System for Yavatmal City using WaterGems Software .*International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*. 2017;6(7):13706-13714.
11. Tewelde Gebremedhin Berhane, Tamru Tesseme Aregaw. Optimization of Water Distribution System Using WaterGEMS: The Case of Wukro Town, Ethiopia. *Civil and Environmental Research*. 2020;-12(6):1–14.
12. Utsev Joseph Terlumuna, Ekwule Oloche Robert. Evaluation of Municipal Water Distribution Network Using Watercard and Watergems. *Journal of Engineering and Sciences*. 2019;5(2):147–156.
13. Vidhi N. Mehta, Geeta S. Joshi. Design and Analysis of Rural Water Supply System Using Loop 4.0 and Water Gems V8i for Nava Shihora Zone 1. *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)*. 2019;9(1).

FEFU: SCHOOL of ENGINEERING BULLETIN. 2021. N 4/49

Engineering Hydrology

www.dvfu.ru/en/vestnikis

Original article

<https://doi.org/10.24866/2227-6858/2021-4/81-89>

Abdulameer Layth Saeed Abdulameer, Dzhumagulova N.

ABDULAMEER LAYTH SAEED ABDULAMEER – Postgraduate Student (corresponding author),
laith_eng2009@yahoo.com

National Research Moscow State University of Civil Engineering

NAZIRA T. DZHUMAGULOVA – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, dnazira@rambler.ru

National Research Moscow State University of Civil Engineering

Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev
Moscow, Russia

Feasibility study of the choice of pipe parameters and wastewater transportation system for irrigation on the example of the administrative district of Kerbala (Iraq)

Abstract: The reuse of treated wastewater was adopted to solve the problem of water scarcity for irrigation of agricultural land in the administrative district Kerbala, Iraq, was decided. The quality of water meets the requirements for irrigation of agricultural plants.

The first variant is old treatment structures with a capacity 1.16 and the second one - 4.63 m³/s (old and new treatment structures).

The feasibility development is based on determination of the optimal diameter and material of pipes for both variants, taking into account the reduction in the transportation cost to the destination site using WaterCAD V8i model. The choice was made between pipes made of the following materials: ductile cast iron, glass plastic GRP, concrete and plastic. The hydraulic calculations of the operation of the irrigation water supply system have been made.

The results of calculations showed that a plastic pipe with diameter 1000 mm is optimal for the first variant and a diameter 2000 mm - ductile cast iron - for second one.

This is the first consideration of recycle treatment of wastewater to solution the food, social and economic problems of the region. Also at the first time the scheme for main pipeline routing for irrigation reuse of wastewater is proposed.

Keywords: water reuse, water transport, treatment facility, optimization, cost, pipe material

For citation: Abdulameer Layth Saeed Abdulameer, Dzhumagulova N. Feasibility study of the choice of pipe parameters and wastewater transportation system for irrigation on the example of the administrative district of Kerbala (Iraq). FEFU: School of Engineering Bulletin. 2021;(49):81-89. (In Russ.). <https://doi.org/10.24866/2227-6858/2021-4/81-89>

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflicts of interests.

REFERENCES

1. Al-Amin Bello D., Waheed Alayande A., Johnson Otun A., Abubakar Ismail, Umar Lawan F. Optimization of the designed water distribution system using MATLAB. *International Journal of Hydraulic Engineering*. 2015;4(2):37–44. doi:10.5923/j.ijhe.20150402.03
2. Arunjyoti Sonowal, Senapati S.C. and Sirisha Adamala. A mathematical model for the selection of an economical pipe size in pressurized irrigation systems. *Afr. J. Agric. Res.* 2016;11(8):683–692. doi:10.5897/AJAR2015.10648
3. Do Guen Yoo, Ho Min Lee, Ali Sadollah, and Joong Hoon Kim. Optimal Pipe Size Design for Looped Irrigation Water Supply System Using Harmony Search: Saemangeum Project Area. *The scientific World Journal*. 2015:1–10. URL:<https://doi.org/10.1155/2015/651763> Fulvio Boano, Marco Scibetta, Luca Ridolfi, Orazio Giustolisi. Water distribution system modeling and optimization: A case study. *Procedia Engineering*. 2015;119(1):719–724. doi:10.1016/j.proeng.2015.08.925
4. King Kuok Kuok, Po Chan Chiu, Danny Chee and Ming Ting. Evaluation of “C” Values to Head Loss and Water Pressure Due to Pipe Aging: Case Study of Uni-Central Sarawak. *Journal of Water Resource and Protection*. 2020;12:1077–1088. doi:10.4236/jwarp.2020.1212064
5. Loredana Pintilie, Carmen M. Torres, Carmen Teodosiu, Francesc Castells. Urban wastewater reclamation for industrial reuse: An LCA case study. *Journal of Cleaner Production*. 2016;139:1–14. doi:10.1016/j.jclepro.2016.07.209
6. Niazkar M., Talebbeydokhti N. and Afzali S.H. Relationship between Hazen-William coefficient and Colebrook-White friction factor: Application in water network analysis. *European Water*. 2017;58:(513–520).
7. Rezagama A., Handayani D.S., Zaman B. and Putra R.R. S. Design Optimization of Water Distribution Suburban Area in Mranggen, Semarang, Indonesia. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2020;448:1-10. doi:10.1088/1755-1315/448/1/012066
8. Ramos H.M., Costa L.H.M., Goncalves F.V. Energy efficiency in water supply systems: GA for pump schedule optimization and ANN for Hybrid energy prediction. *Intech Open*. 2012;4(2):75–103. doi:10.5772/50458
9. Samani H.M.V., Zanganeh A. Optimisation of water networks using linear programming. *Proceedings of the ICE - Water Management*. 2015;163(9):475–485. doi:10.1680/wama.2010.163.9.475
10. Shinde Parmanand Bhaskar, Dr. More Ashok B., Ankush Rout K., Gadhe Mayuri Rajendra. Feasibility Analysis of Water Distribution System for Yavatmal City using WaterGems Software. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*. 2017;6(7):13706-13714.
11. Tewelde Gebremedhin Berhane, Tamru Tesseme Aregaw. Optimization of Water Distribution System Using WaterGEMS: The Case of Wukro Town, Ethiopia. *Civil and Environmental Research*. 2020;12(6):1–14.
12. Utsev Joseph Terlumuna, Ekwule Oloche Robert. Evaluation of Municipal Water Distribution Network Using Watercard and Watergems. *Journal of Engineering and Sciences*. 2019;5(2):147–156.
13. Vidhi N. Mehta, Geeta S. Joshi. Design and Analysis of Rural Water Supply System Using Loop 4.0 and Water Gems V8i for Nava Shihora Zone 1. *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)*. 2019;9(1).