

Научная статья

Original article

УДК 628.16.08



**РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОБРАТНОГО ОСМОСА:
ВЫБОР МЕМБРАНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ
И ПОДБОР НАСОСОВ**

**DESIGN AND CALCULATION OF REVERSE OSMOSIS SYSTEM: SELECTION
OF MEMBRANE ELEMENTS, HYDRAULIC CALCULATION, AND PUMP
SIZING**

Авсюкевич Алексей Петрович, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры Водопользования и Экологии Санкт-Петербургского Государственного Архитектурно-Строительного Университета, Санкт-Петербургский Государственный Архитектурно-Строительный Университет, г. Санкт-Петербург.

Карпов Виктор Сергеевич магистрант, Санкт-Петербургский Государственный Архитектурно-Строительный Университет, г. Санкт-Петербург.

Karpov Viktor Sergeyevich, Master's degree student, Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint Petersburg, Russia.

e-mail: vikkarпов.96@gmail.com

Alexey Petrovich Avsyukevich, Ph.D. in Technical Sciences, Senior Lecturer at the Department of Water Use and Ecology, Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint Petersburg, Russia.

Аннотация. В данной статье рассматривается использование программы ROSA (Reverse Osmosis System Analysis) для расчета и проектирования установки обратного осмоса в процессе обработки воды. ROSA является программным инструментом, разработанным специально для моделирования и анализа систем обратного осмоса. В статье приводится обзор возможностей программы ROSA, описываются основные шаги в расчете установки обратного осмоса и приводятся примеры практического применения программы. Анализируются результаты расчетов и обсуждаются преимущества использования программы ROSA в проектировании и оптимизации установок обратного осмоса. Представленная статья предоставляет практическую информацию и руководство для специалистов, занимающихся проектированием систем обратного осмоса в процессе обработки воды.

Annotation. This article explores the application of the Reverse Osmosis System Analysis (ROSA) software for the calculation and design of reverse osmosis systems in water treatment processes. ROSA is a software tool specifically developed for modeling and analyzing reverse osmosis systems. The article provides an overview of the capabilities of the ROSA software, outlines the key steps involved in the calculation of reverse osmosis systems, and presents practical examples of its application. The results of the calculations are analyzed, and the advantages of using the ROSA software in the design and optimization of reverse osmosis systems are discussed. This article offers practical insights and guidance for professionals involved in the design of reverse osmosis systems in water treatment processes.

Ключевые слова: расчёт установки обратного осмоса, обратный осмос, водоподготовка, проектирование технологического оборудования, проектирование установок обратного осмоса.

Keywords: Reverse osmosis system calculation, reverse osmosis, water treatment, technological equipment design, reverse osmosis system design.

Международный журнал прикладных наук и технологий "Integral"

Обратный осмос (ОО) является процессом очистки воды, основанным на принципе пропускания воды через полупроницаемую мембрану для удаления растворенных веществ, бактерий, вирусов и других загрязнений [1]. Процесс осмоса происходит естественно, когда разные концентрации растворов разделены полупроницаемой мембраной. В ОО процесс осмоса происходит в обратном направлении — под давлением пропускается чистая вода, а загрязнения остаются на другой стороне мембраны [1, 2]. Мембрана, которая имеет очень маленькие поры, позволяющие проходить только молекулам воды, но задерживающие большие молекулы и загрязнения. Таким образом, при прохождении через мембрану, вода становится значительно более чистой и свободной от вредных примесей [1].

Для расчета системы обратного осмоса необходимо внести данные о загрязняющих компонентах в исходной воде в программу расчета DOW Chemical ROSA [3]. После внесения всех известных данных о солесодержании необходимо установить температуру воды, поступающей на обратный осмос. В данном случае температура устанавливается равной 10°C (рис. 1) [2]. Также на этой странице устанавливается значение pH исходной воды.

Во вкладке 4 программы ROSA производится выбор системы обратного осмоса. Здесь выбирается эффективность работы системы, количество ступеней очистки, мембраны обратного осмоса и схема обратноосмотической установки (рис. 2) [3]. Для стабильной и качественной работы обратноосмотической установки необходимо правильно выбрать систему и рассчитать направление и расходы потоков, таких как рециркуляция концентрата и возврат пермеата в голову установки. Для конкретных исходных данных была выбрана двухступенчатая схема [4].

После подбора мембран и схемы установки производится расчет концентрата по заданным параметрам исходной воды. Целью расчета является получение на выходе из установки очищенной воды требуемого качества [2, 5].

Рис. 1 Внесение ионов и анионов исходной воды в таблицу для подбора мембранных элементов и системы обратного осмоса.

Water Type: Surface Supply SDI < 5 Open Water Profile Library

Feed Percentage: 100.0 (%) Feed Number: 1 Feed Streams: 1

| Ions | mg/l | ppm CaCO3 | meq/l | Total Conc.(mg/l) |
|-----------------------|---------|-----------|--------|-------------------|
| Ammonium (NH4+ + NH3) | 20 | 55.437 | 1.109 | 20.00 |
| Potassium (K) | 0 | 0.000 | 0.000 | 0.00 |
| Sodium (Na) | 421 | 915.616 | 18.312 | 421.00 |
| Magnesium (Mg) | 52.3 | 215.120 | 4.302 | 52.30 |
| Calcium (Ca) | 22 | 54.890 | 1.098 | 22.00 |
| Strontium (Sr) | 0 | 0.000 | 0.000 | 0.00 |
| Barium (Ba) | 0 | 0.000 | 0.000 | 0.00 |
| Carbonate (CO3) | 0.006 | 0.011 | 0.000 | 0.0064 |
| Bicarbonate (HCO3) | 51.218 | 41.979 | 0.840 | 51.22 |
| Nitrate (NO3) | 0.146 | 0.118 | 0.002 | 0.15 |
| Chloride (Cl) | 788.136 | 1111.522 | 22.230 | 788.14 |
| Fluoride (F) | 0 | 0.000 | 0.000 | 0.00 |
| Sulfate (SO4) | 83.935 | 87.432 | 1.749 | 83.93 |
| Silica (SiO2) | 0 | n.a. | n.a. | 0.00 |
| Boron (B) | 0 | n.a. | n.a. | n.a. |

Specify Individual Solutes

Total Dissolved Solids: 1438.7 mg/l

Feed Parameters

Temperature: 10.0 °C

Flow Rate: 1.93 m³/h

pH: 6.21

Charge Balance

Cations: 24.82 Add Sodium

Anions: 24.82 Add Calcium

Balance: 0.00 Adjust Cations

Adjust Anions

Adjust All Ions

System Temp: 10.0 °C System pH: 6.21 Save Water Profile to Library

Note: Any changes in raw feedwater composition will affect scaling calculations. Please review scaling calculations.

1) Project Information 2) Feedwater Data 3) Scaling Information 4) System Configuration 5) Report 6) Cost Analysis

Рис. 2 Подбор мембранных элементов и схемы установки обратного осмоса.

Water Type: Surface Supply SDI < 5 Open Water Profile Library

Feed Percentage: 100.0 (%) Feed Number: 1 Feed Streams: 1

| Ions | mg/l | ppm CaCO3 | meq/l | Total Conc.(mg/l) |
|-----------------------|---------|-----------|--------|-------------------|
| Ammonium (NH4+ + NH3) | 20 | 55.437 | 1.109 | 20.00 |
| Potassium (K) | 0 | 0.000 | 0.000 | 0.00 |
| Sodium (Na) | 421 | 915.616 | 18.312 | 421.00 |
| Magnesium (Mg) | 52.3 | 215.120 | 4.302 | 52.30 |
| Calcium (Ca) | 22 | 54.890 | 1.098 | 22.00 |
| Strontium (Sr) | 0 | 0.000 | 0.000 | 0.00 |
| Barium (Ba) | 0 | 0.000 | 0.000 | 0.00 |
| Carbonate (CO3) | 0.006 | 0.011 | 0.000 | 0.0064 |
| Bicarbonate (HCO3) | 51.218 | 41.979 | 0.840 | 51.22 |
| Nitrate (NO3) | 0.146 | 0.118 | 0.002 | 0.15 |
| Chloride (Cl) | 788.136 | 1111.522 | 22.230 | 788.14 |
| Fluoride (F) | 0 | 0.000 | 0.000 | 0.00 |
| Sulfate (SO4) | 83.935 | 87.432 | 1.749 | 83.93 |
| Silica (SiO2) | 0 | n.a. | n.a. | 0.00 |
| Boron (B) | 0 | n.a. | n.a. | n.a. |

Specify Individual Solutes

Total Dissolved Solids: 1438.7 mg/l

Feed Parameters

Temperature: 10.0 °C

Flow Rate: 1.93 m³/h

pH: 6.21

Charge Balance

Cations: 24.82 Add Sodium

Anions: 24.82 Add Calcium

Balance: 0.00 Adjust Cations

Adjust Anions

Adjust All Ions

System Temp: 10.0 °C System pH: 6.21 Save Water Profile to Library

Note: Any changes in raw feedwater composition will affect scaling calculations. Please review scaling calculations.

1) Project Information 2) Feedwater Data 3) Scaling Information 4) System Configuration 5) Report 6) Cost Analysis

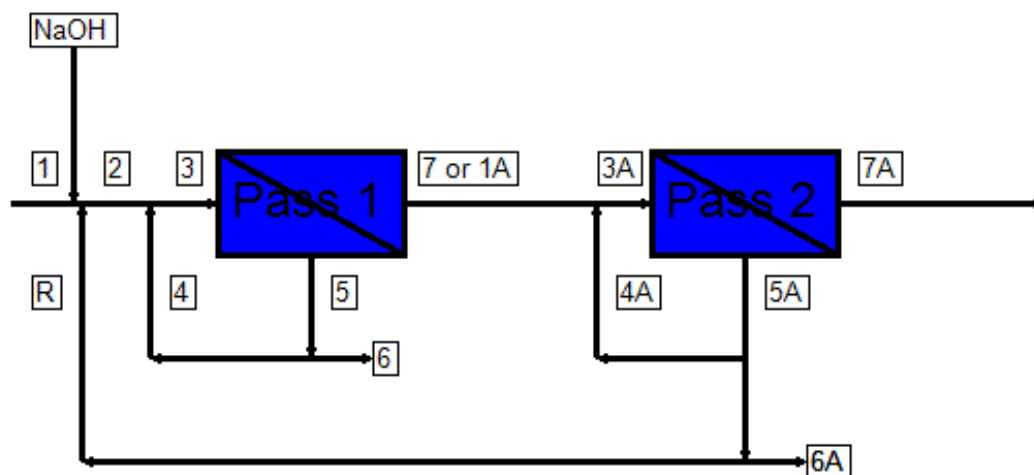
| Pass Streams (mg/l as Ion) | | | | | | |
|---------------------------------------|-------------|----------------------|-----------------------|--------------------|-----------------|--------------|
| Name | Feed | Adjusted Feed | | Concentrate | Permeate | |
| | | Initial | After Recycles | Stage 1 | Stage 1 | Total |
| Boron | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| CO2 | 5.33 | 5.33 | 5.40 | 5.41 | 5.21 | 5.19 |
| TDS | 9.47 | 9.47 | 19.27 | 27.02 | 0.63 | 0.63 |
| pH | 5.96 | 5.96 | 6.24 | 6.38 | 5.29 | 5.29 |

В табл. 1 и 2 приводятся результаты расчета программы по солесодержанию после первой и второй ступени обратноосмотической установки соответственно. Для достижения этого качества были выбраны высокоселективные мембраны компании DOW Chemical [4].

Качество пермеата после второй ступени обратноосмотической установки соответствует требованиям к очищенной воде, что позволяет снизить нагрузку на дальнейшие очистные ступени.

После получения расчётных параметров качества очищенной воды производится гидравлический расчёт установки обратного осмоса. На рисунке 3 показана принципиальная схема обратноосмотической установки с направлениями потоков, их расчётными расходами и необходимым давлением.

Рис. 3 гидравлическая схема установки обратного осмоса с расчётными расходами потоков.

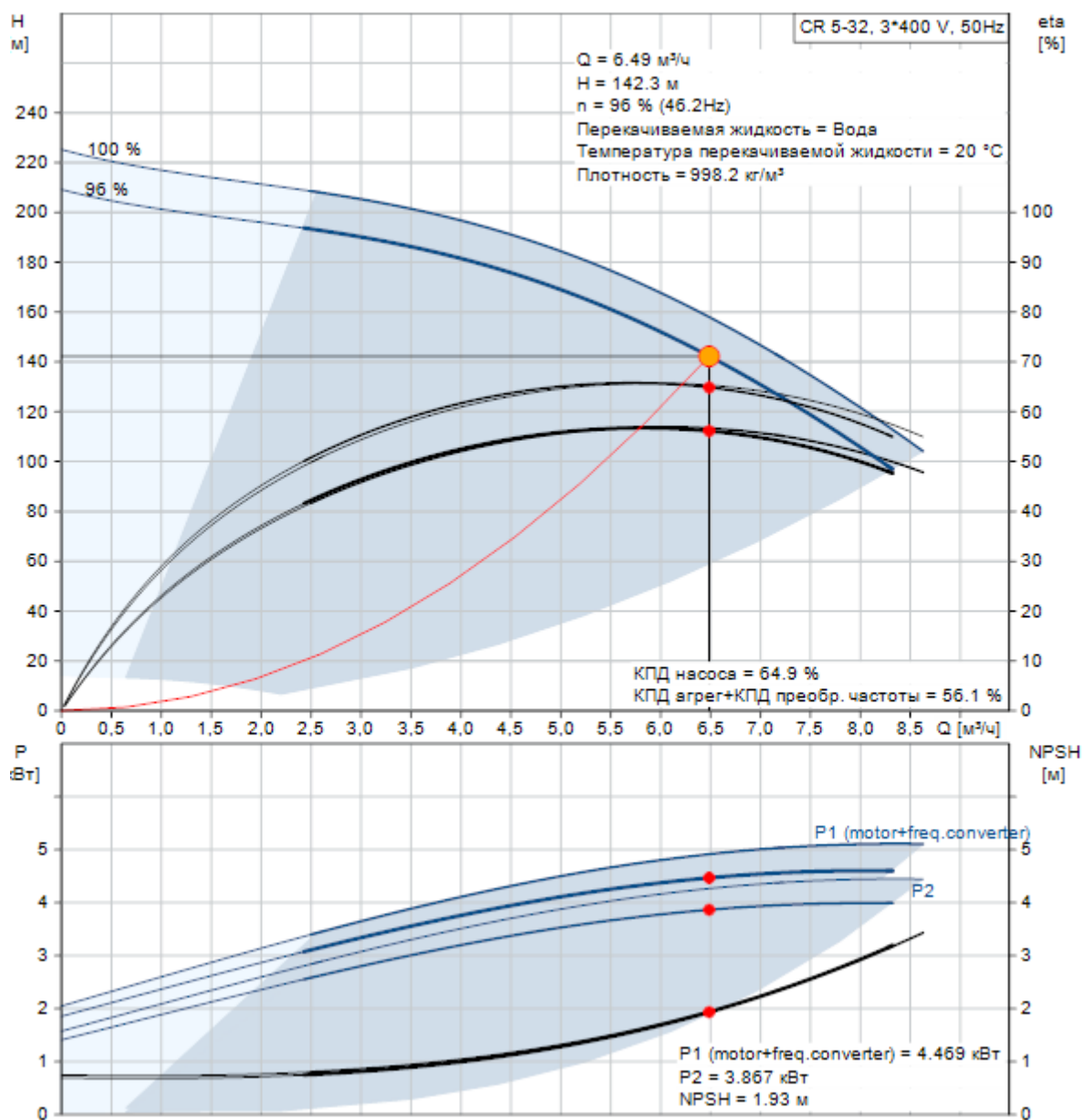


| Pass 1 | | | | Pass 2 | | | |
|----------|--------------------------|----------------|------------|----------|--------------------------|----------------|------------|
| Stream # | Flow (m ³ /h) | Pressure (bar) | TDS (mg/l) | Stream # | Flow (m ³ /h) | Pressure (bar) | TDS (mg/l) |
| 1 | 1.93 | 0.00 | 1438.74 | 1A | 1.62 | - | 9.47 |
| 2 | 2.49 | 0.00 | 1179.37 | 3A | 3.62 | 15.21 | 19.27 |
| 3 | 6.49 | 14.23 | 2574.36 | 4A | 2.00 | 14.79 | 27.02 |
| 4 | 4.00 | 13.53 | 3426.76 | 5A | 2.57 | 14.79 | 27.02 |
| 5 | 4.87 | 13.53 | 3426.76 | 6A | 0.00 | 14.79 | 27.02 |
| 6 | 0.87 | 13.53 | 3426.76 | 7A | 1.05 | - | 0.63 |
| 7 | 1.62 | - | 9.47 | R | 0.57 | 14.79 | 27.02 |
| 7/2 | % Recovery | 65.00 | | 7A/1A | % Recovery | 64.99 | |

После того, как стали известны данные о расходах и напорах потоков воды, можно подобрать насос и определить мощность установки.

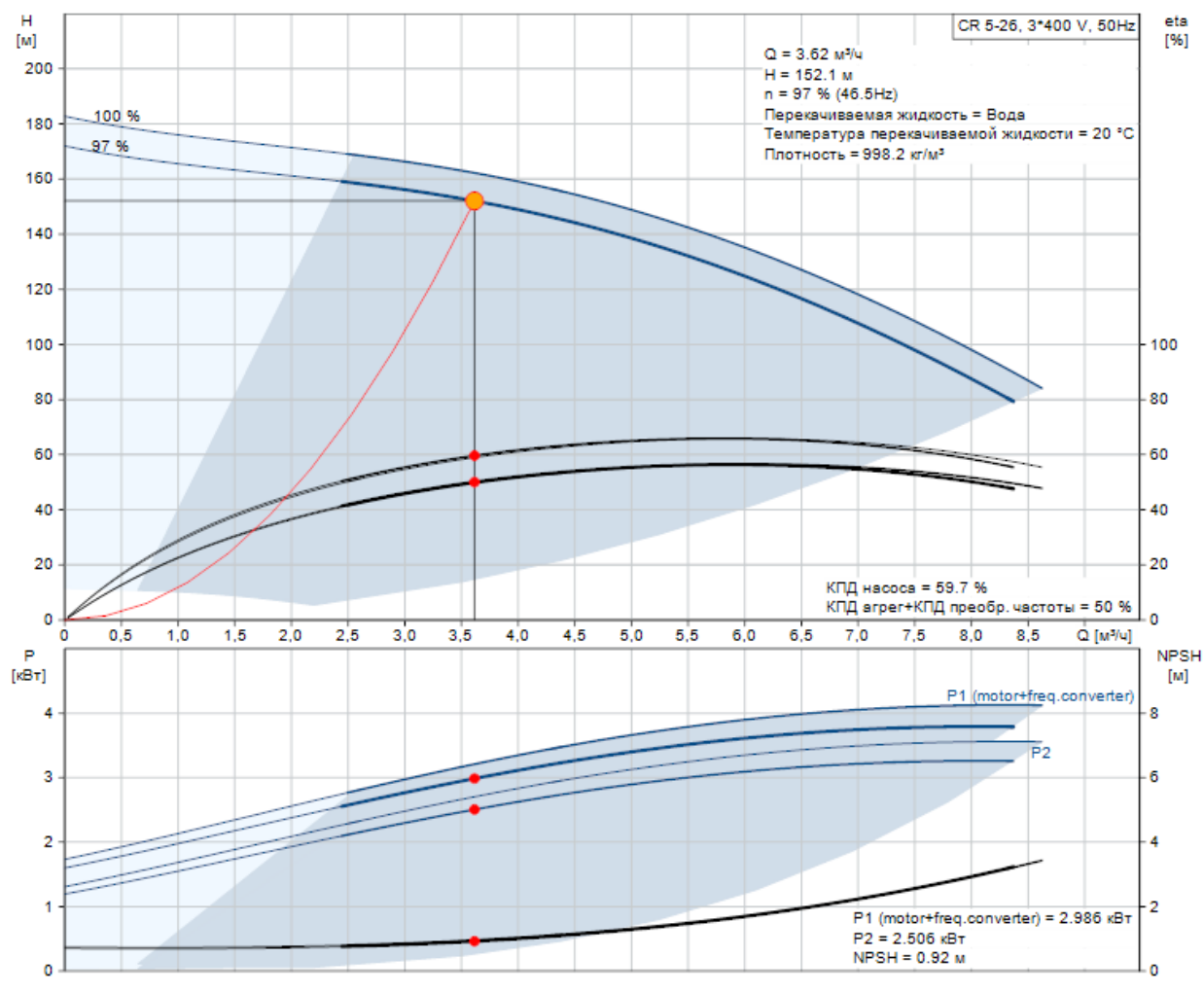
Для первой ступени обратноосмотической установки устанавливается насос Grundfos CR 5-32, или аналог, при подходящих рабочих характеристиках. Рабочая характеристика насоса показана на рис. 4.

Рис. 4 рабочая характеристика насоса Grundfos CR 5-32.



Для второй ступени обратноосмотической установки устанавливается насос Grundfos CR 5-26, или аналог, при подходящих рабочих характеристиках. Рабочая характеристика насоса показана на рис. 5.

Рис. 3.5 рабочая характеристика насоса Grundfos CR 5-26.



Суммарная мощность двух насосов составит 9,4 кВт, при этом необходимо прибавить 0,5 кВт на работу дополнительных электрических частей установки, следовательно, общая мощность обратноосмотической установки составит 10кВт, а потребляемая мощность для получения запроектированного количества пермеата составит 6,4кВт.

Вывод:

Исходя из успешного опыта эксплуатации установок обратного осмоса и успешного применения программы ROSA подбора обратноосмотических мембран и гидравлического расчёта трубопроводов в установке обратного осмоса можно сделать следующие выводы:

Международный журнал прикладных наук и технологий "Integral"

1. При соблюдении рекомендаций от производителя мембранных элементов для обратного осмоса по качеству входящей воды в установку можно обеспечить долгий срок службы мембранных элементов и долговечность работы обратноосмотической установки.

2. Качество пермеата можно рассчитать с помощью программы подбора мембранных элементов от компаний производителей достаточно точно, чтобы предсказать его солесодержание.

Литература

1. Greenlee LF, Lawler DF, Freeman BD, Marrot B, Moulin P. Reverse osmosis desalination: Water sources, technology, and today's challenges // *Water Res.* 2009; 43(9):2317-2348. doi:10.1016/j.watres.2009.03.010
2. Mansoor S, Rafique U, Malik A. Reverse Osmosis: A Promising Technology for Water Purification. *Appl Water Sci.* 2017;7(1):15-28. doi:10.1007/s13201-016-0417-3
3. DOW Chemical ROSA User Manual.
4. Rahardianto A, Widodo W, Yudhatama I, Iskandar MF. Optimization of Reverse Osmosis Parameters for Brackish Water Desalination. *Desalin Water Treat.* 2018;129:1-9. doi:10.5004/dwt.2018.22723
5. Khansorthong S, Srisuwan A, Jangkamolkulchai C. Modeling and optimization of reverse osmosis process for brackish water desalination. *Environ Sci Pollut Res Int.* 2017;24(1):450-461. doi:10.1007/s11356-016-7633-6

Literature

1. Greenlee LF, Lawler DF, Freeman BD, Marrot B, Moulin P. Reverse osmosis desalination: Water sources, technology, and today's challenges // *Water Res.* 2009; 43(9):2317-2348. doi:10.1016/j.watres.2009.03.010
2. Mansoor S, Rafique U, Malik A. Reverse Osmosis: A Promising Technology for Water Purification. *Appl Water Sci.* 2017;7(1):15-28. doi:10.1007/s13201-016-0417-3

3. DOW Chemical ROSA User Manual.
4. Rahardianto A, Widodo W, Yudhatama I, Iskandar MF. Optimization of Reverse Osmosis Parameters for Brackish Water Desalination. Desalin Water Treat. 2018;129:1-9. doi:10.5004/dwt.2018.22723
5. Khansorthong S, Srisuwan A, Jangkamolkulchai C. Modeling and optimization of reverse osmosis process for brackish water desalination. Environ Sci Pollut Res Int. 2017;24(1):450-461. doi:10.1007/s11356-016-7633-6

© Авсюкевич А.П., Карпов В.С., 2023 Международный журнал прикладных наук и технологий "Integral" №3/2023

Для цитирования: Авсюкевич А.П., Карпов В.С. РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОБРАТНОГО ОСМОСА: ВЫБОР МЕМБРАННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ И ПОДБОР НАСОСОВ // Международный журнал прикладных наук и технологий "Integral" №3/2023