



РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ МЕМБРАННОГО
МОДУЛЯ ОПРЕСНИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ
УПС «КРУЗЕНШТЕРН»

Ф.М. Чукин, студент,
fedor.chukin@yandex.ru,

А.Г. Филонов, канд. техн. наук, доцент,
sudfac@yandex.ru

ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический
университет»

Проанализирована работа существующей схемы мембранного модуля обратноосмотической опреснительной установки УПС «Крузенштерн». На основании оптимизационных расчетов с использованием программы ROSA 9.1 отдано предпочтение двухступенчатой точной схеме.

учебное парусное судно, опреснительная установка, обратный осмос, пермеат, солесодержание, удельные энергозатраты, мембранный модуль, фильтрующий элемент, насос высокого давления, концентрат

Эффективность использования промысловых и транспортных морских судов и уровень комфорта на них в значительной степени зависят от их обеспеченности пресной водой. Все эти современные суда оборудованы дистилляционными или мембранными обратноосмотическими опреснительными установками (ООУ).

Компоновка оборудования в машинно-котельном отделении УПС «Крузенштерн» не позволяет разместить там вакуумный дистилляционный опреснитель. В связи с этим судовладельцем было принято решение установить в специально оборудованном для этого отсеке два обратноосмотических опреснителя марки SELMAR SW 1000 производительностью 22,8 м³ пермеата в сутки каждый [1]. Принципиальная схема и общий вид опреснителя приведены на рис. 1–2. Эксплуатация опреснителей выявила их главный недостаток – малый срок службы применяемых обратноосмотических мембран марки D-4, установленных в пяти фильтрующих модулях, подключённых по последовательной пятиступенчатой схеме. В настоящее время опреснители на судне не работают из-за того, что вышли из строя мембраны.

С целью выявления причин быстрого загрязнения мембран было выполнено расчетное исследование изменения показателей работы мембранного модуля ООУ требуемой производительности в зависимости от схемы соединения мембран и подачи исходной морской воды. Расчеты проводились с использованием программы ROSA 9.1 концерна “DAW CHEMICAL”, предназначенной для проектирования ООУ на базе новых мембран рулонного типа компании “FILMTECH” [2]. Ионный состав исходной воды соответствовал таковому океанической воды (наихудшие условия) [3]. На основании анализа различных типов мембран компании “FILMTECH” для расчетов была выбрана мембрана SW 30–4040 диаметром 100 мм с наилучшим солезадержанием и наименьшими удельными энергозатратами.

В качестве первого варианта расчета использована существующая на судне последовательная пятиступенчатая схема соединения фильтрующих мембран, представленная на рис. 3.

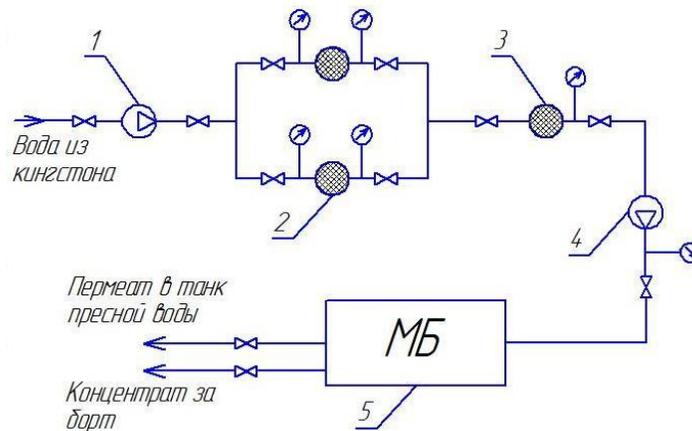


Рисунок 1 – Принципиальная схема опреснителя марки SELMAR SW 1000:
 1 – бустерный насос заборной воды; 2 – фильтр грубой очистки, насыпной;
 3 – фильтр тонкой очистки, картриджный, 5 мкм;
 4 – насос высокого давления SE 2460; 5 – мембранный блок ООУ



Рисунок 2 – Общий вид опреснителя SELMAR SW 1000 УПС «Крузенштерн»

Заложенный в программу ROSA 9.1 алгоритм расчета показателей работы схемы базируется на общепринятых формулах, используемых при проектировании систем обратного осмоса [3].

$$C_K = C_o \cdot (1 - \alpha^{-\varphi}), \text{ моль/л;} \quad (1)$$

$$C_{\phi} = C_o \cdot \frac{1 - \alpha^{(1-\varphi)}}{1 - \alpha}, \text{ моль/л;} \quad (2)$$

$$\varphi = 1 - \frac{C_{\phi}}{C_o}; \quad \alpha = \frac{Q_{\phi}}{Q_o}, \quad (3)$$

где C_o , C_{ϕ} , C_K – концентрации ионов в исходной воде, пермеате и концентрате; Q_K , Q_o – расходы концентрата и исходной воды, т/ч.

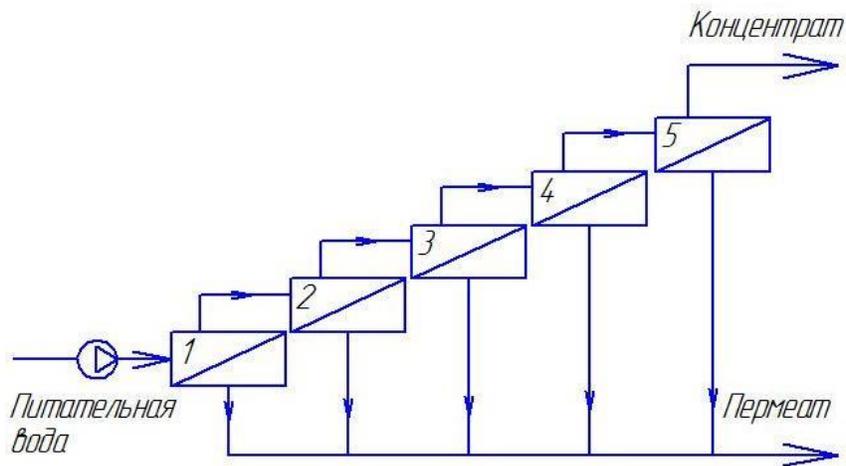


Рисунок 3 – Существующая схема соединения мембран опреснителя SELMAR SW 1000

Расчетный интерфейс программы ROSA 9.1 существующей последовательной пятиступенчатой схемы приводится на рис. 4, а результаты расчета основных ее технологических показателей – в табл. 1.

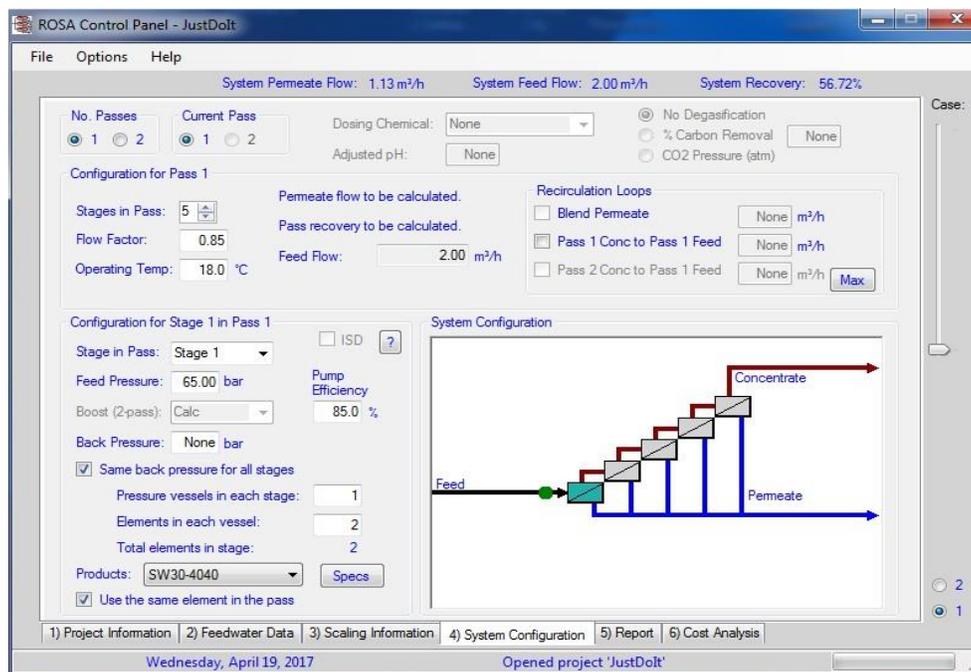


Рисунок 4 – Расчетный интерфейс программы ROSA 9.1 существующей последовательной пятиступенчатой схемы опреснителя SELMAR SW 1000

Наиболее оптимальным оказался вариант расчета с двухступенчатой проточной схемой мембранного модуля, первая и вторая ступень которой состоит из трех и двух фильтрующих корпусов, соответственно (см. рис. 5).

Таблица 1 – Результаты расчета технологических показателей работы существующей последовательной схемы соединения мембран опреснителя SELMAR SW 1000

Ступень	Фильтрующий элемент	Кол-во корпусов	Кол-во мембран	Входной поток, м ³ /ч	Давление воды на входе, бар	Выход концентрата, м ³ /ч	Выход пермеата, м ³ /ч	Солесодержание концентрата, мг/л	Солесодержание пермеата, мг/л
1	SW30-4040	1	2	2,0	65,0	1,52	0,48	46840	95
2		1	2	1,52	64,02	1,2	0,32	59200	173
3		1	2	1,2	63,47	1,02	0,19	69940	337
4		1	2	1,02	62,98	0,92	0,10	77380	679
5		1	2	0,92	62,51	0,87	0,05	81910	1344
Итого							0,87	1,14	81910

Расчетный интерфейс программы ROSA 9.1 предлагаемой проточной двухступенчатой схемы приводится на рис. 5, а результаты расчета основных её технологических показателей – на рис. 6 и в табл. 2.

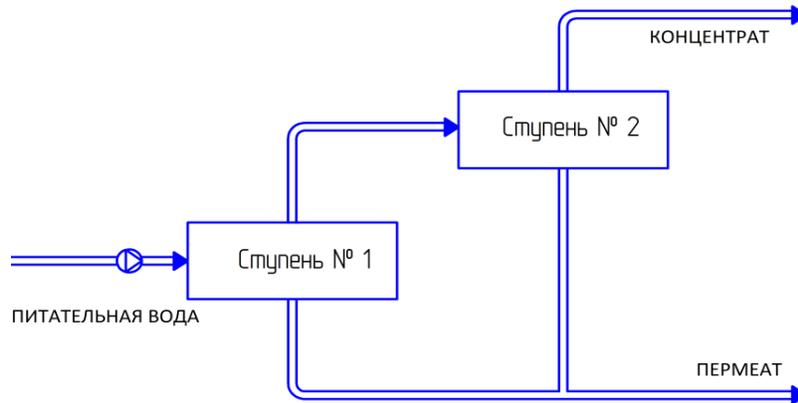


Рисунок 5 – Предлагаемая двухступенчатая проточная схема мембранного модуля опреснительной установки УПС «Крузенштерн»

При сопоставлении данных табл. 1 и 2 видно, что солёность концентрата на входе в четвертую ступень существующей пятиступенчатой схемы оказывается выше примерно на 5 г/л по сравнению с солёностью концентрата на входе во вторую ступень предлагаемой схемы. Скорость отложения плохо растворимых солей кальция и магния на поверхностях мембран существующей схемы оказывается выше, чем для предлагаемой двухступенчатой.

Переход работы ООУ по новой схеме приводит к незначительному увеличению солёности пермеата и практически не влияет на удельные энергозатраты на опреснение, которые составят 3,83 КВт·час/м³, водородный показатель пермеата рН = 6,8, концентрация углекислого газа – 4,6 мг/л.

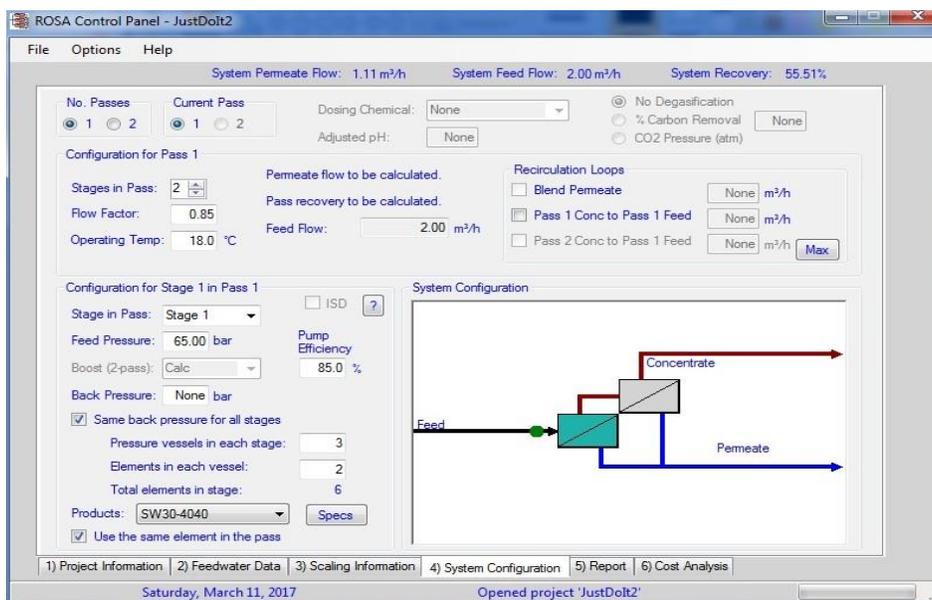


Рисунок 6 – Расчетный интерфейс программы ROSA 9.1 предлагаемой проточной двухступенчатой схемы опреснителя УПС «Крузенштерн»

Таблица 2 – Результаты расчета предлагаемой двухступенчатой схемы соединения мембран опреснителя УПС «Крузенштерн»

Ступень	Фильтрующий элемент	Кол-во корпусов	Кол-во мембран	Входной поток, м ³ /ч	Давление воды на входе, бар	Выход концентрата, м ³ /ч	Выход пермеата, м ³ /ч	Солесодержание пермеата, мг/л
1	SW 30-440	3	6	2,0	65,00	1,09	0,91	188
2		2	4	1,09	64,27	1,2	0,2	668
Итого						0,87	1,11	278

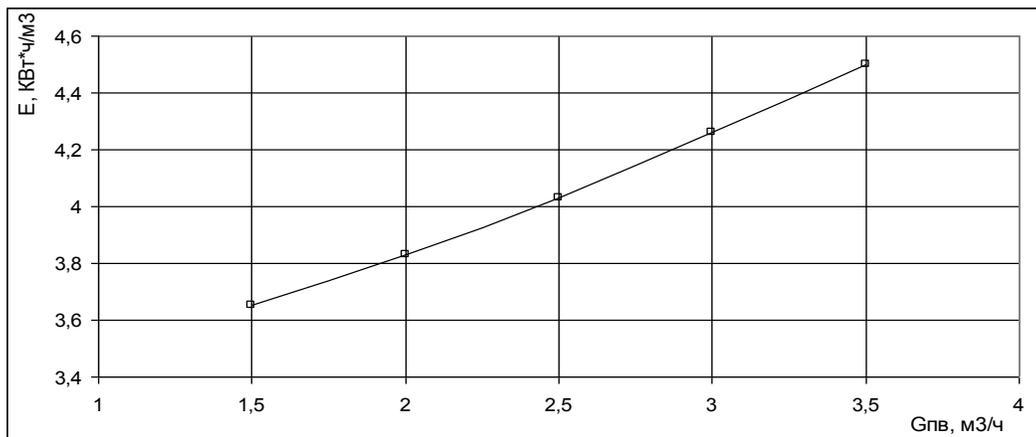


Рисунок 7 – Влияние расхода питательной воды на удельные энергозатраты

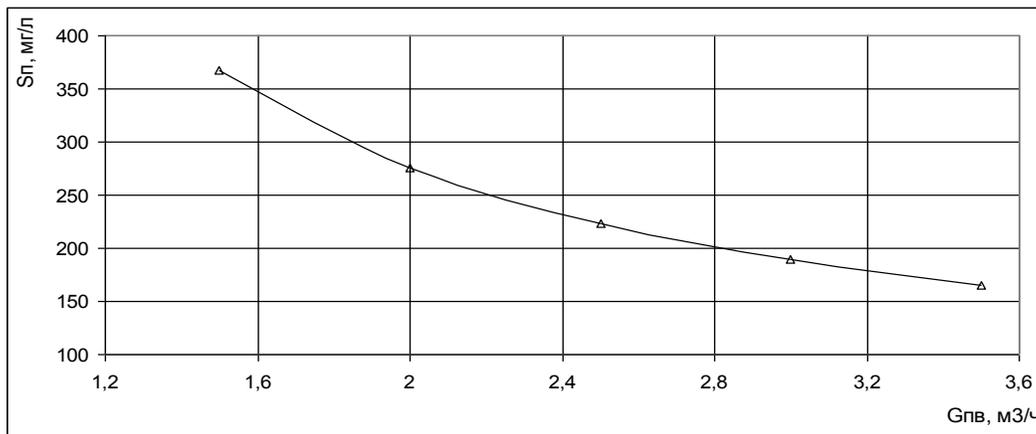


Рисунок 8 – Влияние расхода питательной воды на солесодержание пермеата

Для наиболее оптимальной, предлагаемой двухступенчатой схемы мембранного модуля было установлено влияние подачи питательной воды на солесодержание и выход пермеата, солесодержание концентрата, а также на расход энергии, что представлено на рис. 7–8.

Однако, даже в предлагаемой схеме, рассчитанные произведения активностей таких плохо растворимых солей, как CaCO₃, MgCO₃, MgSO₄, превышают произведения растворимости этих солей, что будет приводить к обрастанию мембран отложениями, увеличению энергозатрат и снижению производительности. Поэтому дальнейшее совершенствование опреснителя должно быть направлено на разработку схем дозирования в питательную воду антискаланта и химиче-

ской промывки мембран, схемы бактерицидной обработки для предотвращения биологического обрастания мембран.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сайт фирмы SELMAR Technologies <http://www.selmar.it/>
2. Сайт концерна DOW CHEMICAL <http://www.dow.com>
3. Копылов, А.С. Водоподготовка в энергетике / А.С. Копылов, В.М. Лавыгин, В.Ф. Очков. – Москва: Изд-во МЭИ, 2003. – 309 с.

PRINCIPAL SCHEME MEMBRANE MODULE OF DESALINATION PLANT FOR SAILING SHIP «KRUZENSHTERN»

F.M. Chukin, student,
fedor.chukin@yandex.ru,
A.G. Filonov, PhD, Associate Professor,
of Kaliningrad State Technical University,
sudfac@yandex.ru
FGBOU VO “Kaliningrad State Technical University”

The article analyzes the operation of the existing membrane module of the desalination plant SELMAR SW 1000 for sailing ship «Kruzenshtern». Based on optimization calculations using the ROSA program 9.1, a two-stage flow scheme is preferred.

the training sailing vessel, desalination plant, reverse osmosis, permeate, salinity, specific energy consumption, the membrane module, filter cartridge, high pressure pump, concentrate.