

УДК 621.182.12

Программное обеспечение для проектирования систем ВПУ

Салькевич Я.А., Миргород Ю.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ЧИЖ В.А.

Подготовка инженеров-энергетиков для Белорусской АЭС требует исключительного внимания к преподаванию дисциплин, связанных с экономической, надежной и безопасной эксплуатацией основного и вспомогательного оборудования АЭС. При выполнении курсового проекта «Воднохимический комплекс АЭС-1200 с реактором ВВЭР-1200» по дисциплине «Водоподготовка и воднохимический режим АЭС» было принято решение проектировать ВПУ с использованием программного продукта ROSA. В работе представлены особенности и возможности проектирования интегрированных систем водоподготовки в данном программном продукте, позволяющем оптимально рассчитывать предочистку, дегазацию и схему обессоливания воды с применением мембранных технологий.

Описание программы

Программа ROSA разработана компанией DOW CHEMICAL для расчета обратноосмотических и нанофильтрационных установок с применением мембранных элементов FILMTEC. ROSA позволяет быстро, легко и наглядно выполнять предварительные расчеты показателей работы элементов FILMTEC на основании данных ионного состава исходной воды, предполагаемых технических параметров проектируемой системы.

Программа позволяет:

- 1) спрогнозировать ионный состав пермеата и концентрата в зависимости от выбранных технических параметров, а также основные характеристические показатели (рН, общее солесодержание, индекс насыщения Ланжелье, индекс стабильности Стиффа-Девиса) для каждого элемента выбранной модели;
- 2) рассчитать общее рабочее давление, давление каждого потока воды, давление на каждом рулонном мембранном элементе системы;
- 3) сделать вывод об эффективности работы выбранной схемы;
- 4) рассчитать энергопотребление процесса.

Описание работы в программе

Назначение ВПУ состоит в подготовке добавочной подпиточной воды второго контура АЭС. Подпитка первого контура в расчете не учитывается, так как она мала. Для подпитки используют только обессоленную воду. При использовании мембранных технологий необходимо выбрать две ступени обратного осмоса, а в качестве третьей – фильтры смешанного действия либо электродеионизационную установку. На установки обратного осмоса вода подается предварительно очищенной от грубодисперсных примесей, органики, кремниевой кислоты. Этого можно добиться установкой фильтров механической очистки с последующей ультрафильтрацией.

Для демонстрации возможностей компьютерной программы при проектировании систем ВПУ проведем расчет интегрированной системы ВПУ для двухблочной АЭС-1200 с реактором ВВЭР-1200 в приложении ROSA [1].

Проектирование системы обратного осмоса начинается с заполнения актуальной информации о проекте: *Название проекта (Project Name)*, *Комментарии (Notes)*, *Автор проекта (Analysis By)*, *Компания-разработчик (Company Name)*, *Реагент ионного баланса (Balance Analysis With)*, *Единицы измерения (Unit Set)*, *Единицы измерения температуры (Temperature Unit)*. Обычно для оценки работы обратноосмотических установок необходимо сделать несколько вариантов расчетов с разными параметрами. Создание и переключение между вариантами расчетов производится в графе *Варианты расчета (Project Cases)*. Введем актуальную информацию о проекте как показано на рисунке 1.

На следующем этапе (вкладка *Данные исходной воды (Feedwater Data)*) описываются тип, а также качественные и количественные характеристики исходной воды. Из списка *Typ*

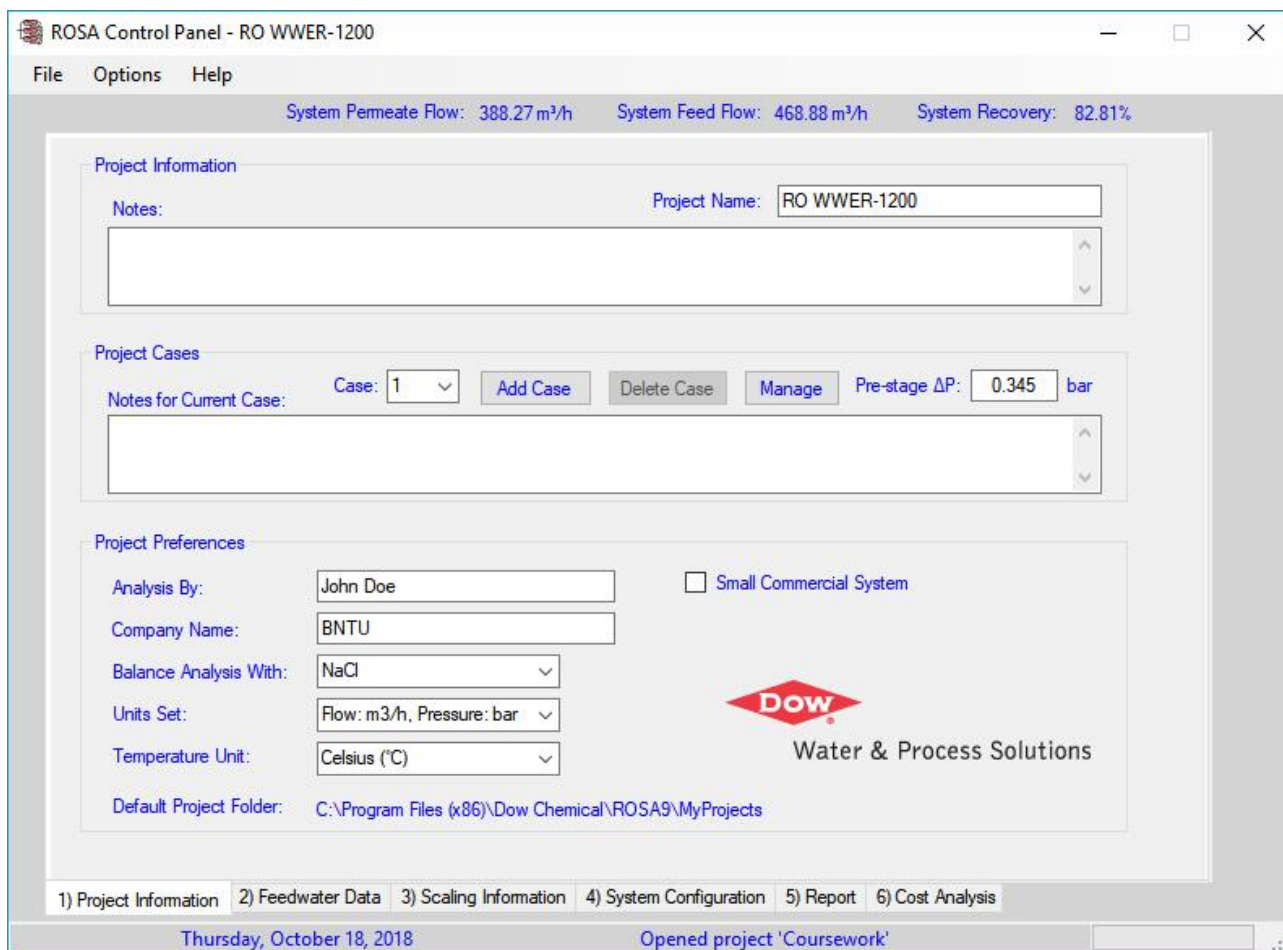


Рисунок 2 – Вкладка «Информация о проекте»

воды (*Water Type*) необходимо выбрать тип источника воды и соответствующий ему индекс плотности ила (*SDI*). Ионный состав воды можно выбрать из встроенной библиотеки (*Открыть библиотеку источников воды (Open Water Profile Library)*) или ввести его вручную, отметив пункт *Указать собственный состав (Specify Individual Solutes)*. Особое внимание следует обратить на уравнение электронейтральности (*Charge Balance*): сумма зарядов катионов (*Cations*) и анионов (*Anions*) должна быть одинаковой, ошибка определения не может превышать 1%. Система ROSA допускает возможность указать два и более источника воды (*Число источников воды (Feed Streams)*) на вход установки обратного осмоса. Для каждого такого источника (*Текущий источник (Feed Number)*) необходимо указать его долю в общем потоке (*Доля источника в потоке (Feed Percentage)*).

Необходимо также задать температуру (*Temperature*) и pH исходной воды в поле *Параметры источника воды (Feed Parameters)*. Значение *Расхода исходной воды (Flow Rate)* рассчитывается автоматически исходя из гидравлического КПД системы обратного осмоса и доли данного источника в потоке. Пример заполнения данных вкладки представлен на рисунке 2.

Далее на вкладке *Предварительное дозирование реагентов (Scaling Information)* производится выбор воздействия на исходную воду: *Без добавления реагентов (No chemicals added)*, *Пользовательское регулирование pH (user-adjusted pH)*, *Ионно-обменное умягчение (Ion-exchange softening)*.

При проектировании систем обратного осмоса необходимо учитывать вероятность обрастания мембран карбонатом кальция. Вероятность данного процесса описывается индексом Ланжелье, отрицательное значение которого исключает возможность засорения мембран. Индекс Ланжелье находится в прямой зависимости от уровня pH.

Отрегулируем коэффициент Ланжелье путем дозирования в воду концентрированного раствора серной кислоты (*Dosing Chemical*).



Рисунок 3 – Вкладка «Данные исходной воды»

Также укажем *Гидравлический КПД (Recovery)* установки обратного осмоса, который является отношением расхода пермеата к расходу исходной воды (формула 1):

$$Recovery = \frac{Q_P}{Q} \cdot 100\% = \frac{Q - Q_C}{Q} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где Q – расход исходной воды, м³/ч;

Q_P – расход пермеата, м³/ч;

Q_C – расход концентрата, м³/ч.

Пример заполнения данного окна представлен на рисунке 3.

Последним этапом проектирования системы обратного осмоса является составление конфигурации ступеней установки (вкладка *Конфигурация системы (System Configuration)*) (рисунок 4).

Для начала укажем *Число ступеней (No. Passes)* установки обратного осмоса. Для получения глубоко обессоленной воды применим две ступени очистки. Настройка каждой ступени производится отдельно, переключение между ними выполняется в области *Current Pass*.

Расчет расхода воды, подаваемой на установку, происходит с учетом гидравлического КПД каждой ступени установки и требуемой производительности системы обратного осмоса. Для ввода данных параметров выполним двойное нажатие на одном из следующих полей: *Расход пермеата (Permeate Flow)*, *Гидравлический КПД ступени (Recovery)*, *Расход воды на ступень (Feed Flow)*, *Поток пермеата (Permeate Flux)*. Откроется окно *Расчета расхода (Flow Calculator)*. Отмечаем галочками (*Specify*) параметры, необходимые для расчета (рисунок 5): расход пермеата после второй ступени (требуемая производительность системы),

System Permeate Flow: 388.27 m³/h System Feed Flow: 468.88 m³/h System Recovery: 82.81%

Scaling Calculations Options

No chemicals added
 User-adjusted pH
 Ion-exchange softening

	Feed	Adj. Feed	Concentrate
pH	7.6	5.86	6.68
LSI	-0.203	-2.481	-0.099
Stiff & Davis Index	0.704	-1.652	0.057
TDS (mg/l)	232.52	210.32	1.402
Ionic Strength (molal)	0.004	0.005	0.035
HCO ₃ (mg/l)	146.412	41.882	279.214
CO ₂ (mg/l)	5.121	80.509	80.509
CO ₃ (mg/l)	0.000	0.002	0.014
CaSO ₄ (% Saturation)	0.14	0.92	26.67
BaSO ₄ (% Saturation)	0.0	0.0	0.0
SrSO ₄ (% Saturation)	0.0	0.0	0.0
CaF ₂ (% Saturation)	0.0	0.0	0.0
SiO ₂ (% Saturation)	9.12	7.99	58.46
Mg(OH) ₂ (% Saturation)	0.00050	0.00000	0.00005

Ion-exchange Leakage

Ca Leakage: 0.1 (mg/L)
Mg Leakage: 0 (mg/L)

Recovery and Temperature

Recovery: 85.00 (%)
Temperature: 25.0 °C

Use original feed
 Use adjusted feed

User-adjusted pH

Dosing Chemical: H₂SO₄ (v)
pH: 5.86 GO
Concentrate LSI: -0.099 GO

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

Thursday, October 18, 2018 Opened project 'Coursework'

Рисунок 4 – Вкладка «Предварительное дозирование реагентов»

гидравлический КПД первой и второй ступени. Нажатием кнопки *Пересчитать (Recalculate)* получим значение расхода подаваемой на первую ступень воды.

Концентрат с первой ступени обратного осмоса представляет собой сильно засоленные воды, не пригодные для дальнейшего использования в ВПУ. Однако для уменьшения объема сточных вод и увеличения экономичности схемы ВПУ, очищенный от ГДП, кремневки и органики концентрат можно использовать для отмывки установок ультрафильтрации. Для дальнейшего уменьшения затрат на собственные нужды можно произвести рециркуляцию концентрата со второй ступени в тракт исходной воды перед первой в двухступенчатых установках обратного осмоса. Программа ROSA позволяет произвести расчет такой системы. Для этого в области *Рециркуляция (Recirculation Loops)* при настройке второй ступени выберем *Подача концентрата второй ступени на первую (Pass 2 Conc to Pass 1 Feed)*. Установим максимальное значение подачи концентрата от второй ступени.

Важным фактором для надёжной работы теплоэнергетического оборудования является отсутствие коррозионноактивных газов (CO₂, O₂, Cl⁻, F⁻) в теплоносителе. Программа ROSA позволяет произвести расчет декарбонизации. Параметрами контроля удаления свободной углекислоты из теплоносителя являются: *Процент удаляемого CO₂ (% Carbon Removal)* или *Остаточное парциальное давление CO₂ (CO₂ Pressure (atm))*. В нашем проекте декарбонизацию будем производить после первой ступени.

На следующем этапе необходимо выбрать мембранный элемент для каждой ступени из встроенного сортамента в зависимости от требуемых характеристик системы. Рассчитав отношение производительности ступени к производительности выбранных изделий, получим необходимое число мембранных элементов. Скомбинируем по несколько элементов. Полученное разбиение внесём в поля *Pressure vessels in each stage* и *Elements in each vessel*. Данные действия необходимо выполнять для каждой ступени отдельно.

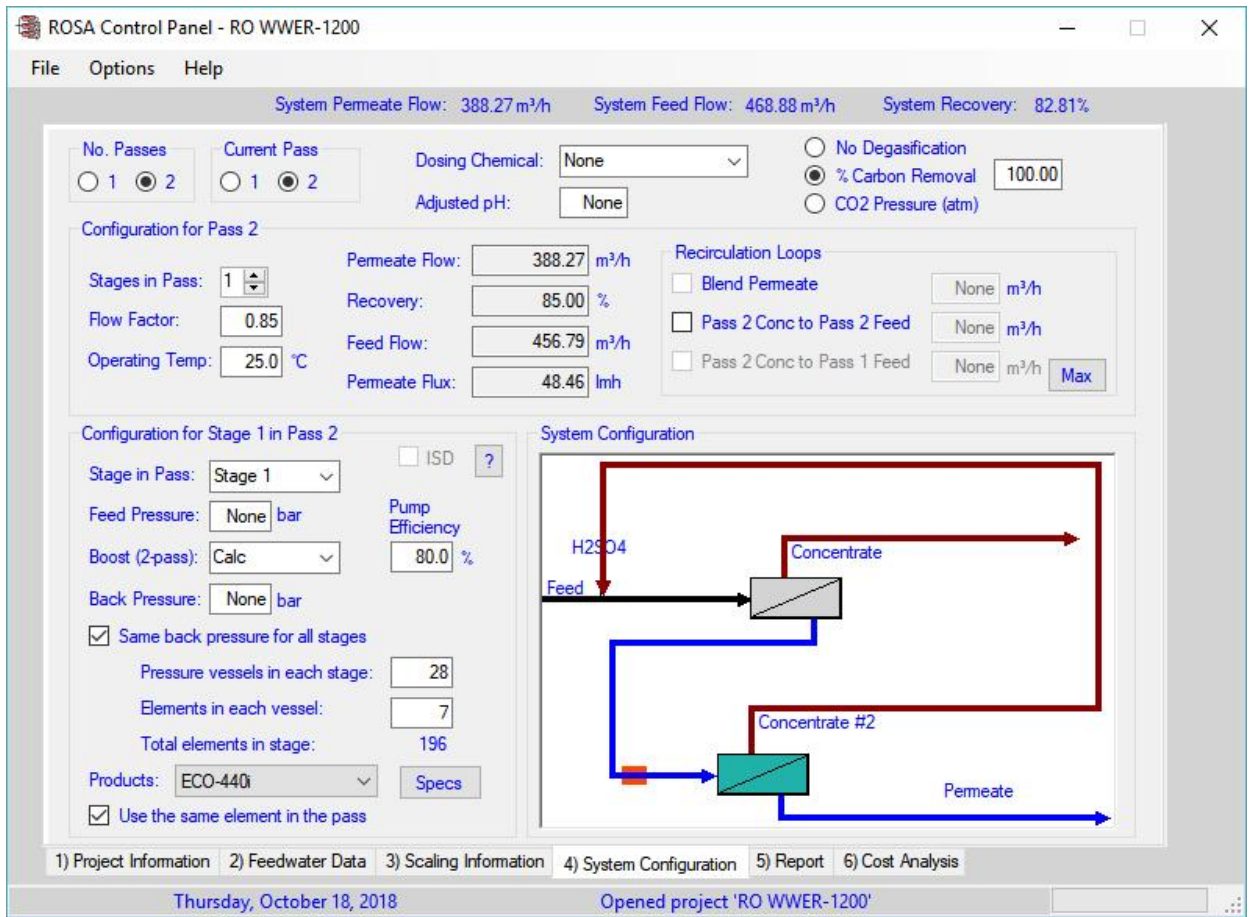


Рисунок 5 – Вкладка «Конфигурация системы»

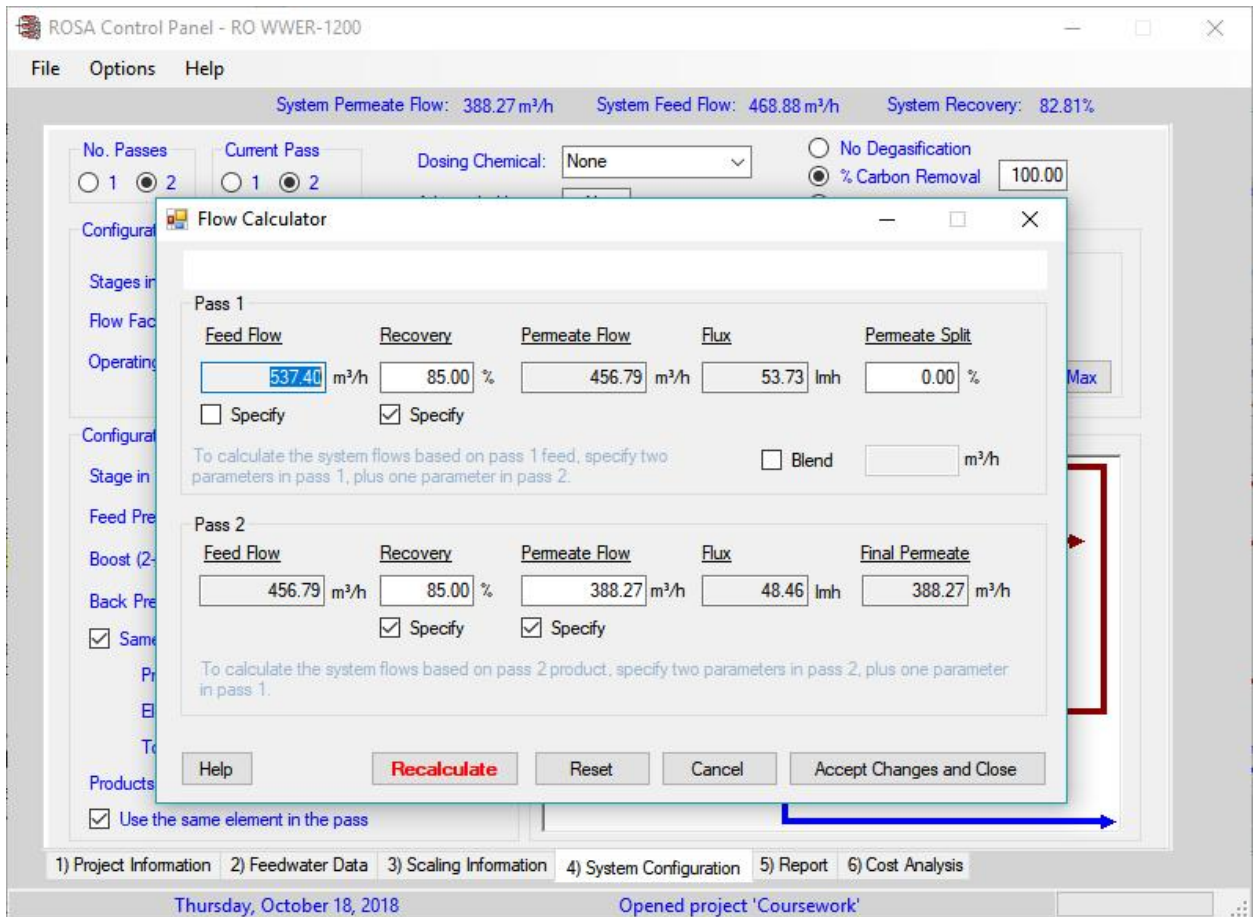


Рисунок 6 – Окно «Расчет расхода»

На заключительном этапе полный расчет системы обратного осмоса оформляется в отчет. Для этого необходимо перейти на вкладку *Report* (рисунок 6). Данный отчет содержит:

- 1) Блок-схему спроектированной установки;
- 2) Качественные и количественные данные о ионном составе воды после каждой ступени очистки;
- 3) Расходы воды в каждом трубопроводе системы;
- 4) Вводимые реагенты и их количество;
- 5) Другие характеристики.

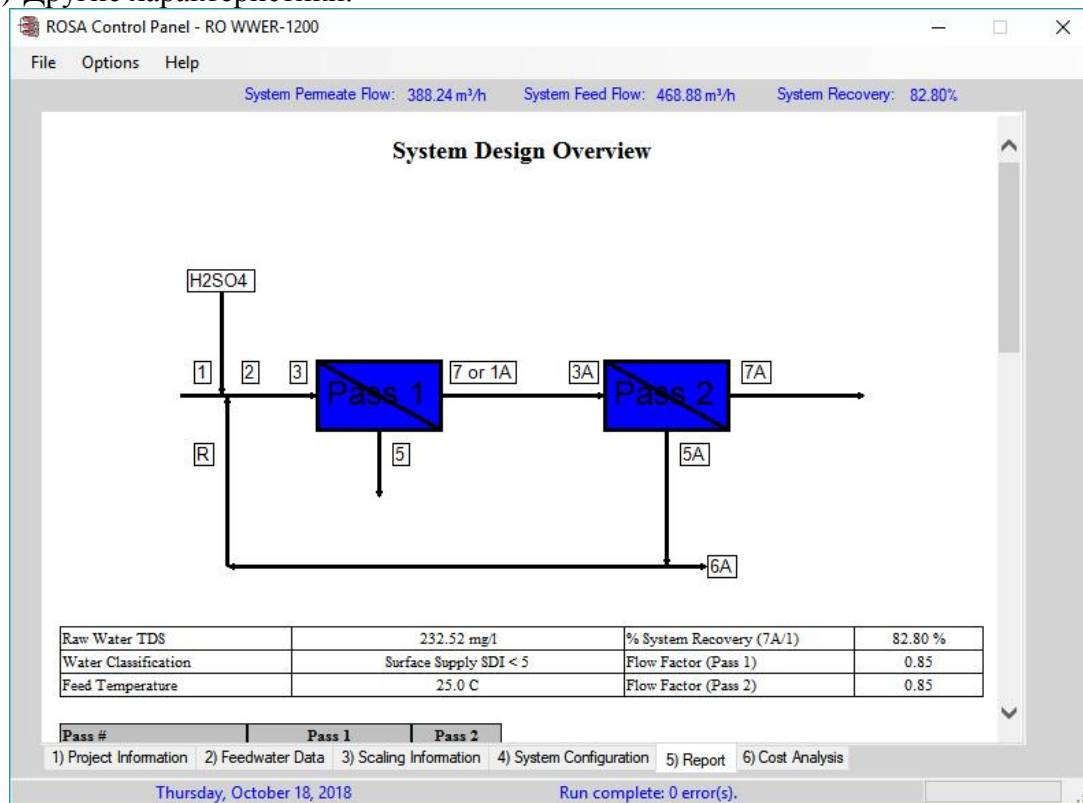


Рисунок 7 – Вкладка «Отчёт»

Пример произведенного расчета доказывает эффективность использования программного обеспечения для автоматизированного проектирования систем водоподготовки. ROSA позволяет произвести расчет интегрированной системы водоподготовки на основе мембранных технологий. Возможность анализа нескольких вариантов конфигурации ВПУ дает возможность в кратчайшие сроки выбрать оптимальную схему обессоливания воды без необходимости выполнения повторных расчетов. Полученная при расчете система позволяет добиться исключительного качества воды, полностью очищенной от катионов и анионов различных солей, растворенных коррозионно-агрессивных газов. Установка систем ЭДИ или ФСД в качестве финального этапа обессоливания в спроектированной ВПУ позволяет гарантировать безопасную эксплуатацию АЭС.

Интуитивный интерфейс, наглядность представления полученных результатов, возможность учета различных факторов при проектировании системы, таких как дозирование дополнительных реагентов, декарбонизация, расчет мощности насосных агрегатов, анализ стоимости и многое другое делает такие программы незаменимыми при расчете и проектировании установок водоподготовки не только в энергетике, но и муниципальном водоснабжении, других отраслях промышленности.

Литература

1. Копылов А.С. Процессы и аппараты передовых технологий водоподготовки и их программные расчеты: учеб. пособие для вузов / А.С. Копылов, В.Ф. Очков, Ю.В. Чудова. — М.: Издательский дом МЭИ, 2009. — 222 с.: ил.