

УДК 628.165

М.В. КОЗЛОВА, к.т.н., доцент (ИГЭУ)  
г. Иваново

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ ПРИ ВЫБОРЕ ТЕХНОЛОГИИ ОПРЕСНЕНИЯ

Проблема дефицита пресных водных ресурсов может быть частично решена путем опреснения морских и солоноватых вод. На сегодняшний день в 177 странах эксплуатируется более 16 000 опреснительных станций [1].

Известно достаточно большое количество различных технологий опреснения, принципиально их можно разделить на две большие категории: с изменением агрегатного состояния и без изменения агрегатного состояния. К первой группе относятся дистилляция, вымораживание, газогидратация, ко второй – мембранные технологии, ионный обмен, а также электродиализ.

Выбор метода опреснения зависит от ряда факторов: требований, предъявляемых к качеству получаемой пресной воды, качества исходной воды, принципа действия и стоимости установки, эксплуатационных затрат [2].

Наиболее распространенными являются технологии обратного осмоса, дистилляции и ионного обмена. На выбор типа опреснительной установки влияет в первую очередь минерализация исходной воды, так для солености 2-3 г/л предпочтение следует отдать ионному обмену, 2,5-10 г/л – обратному осмосу, при солености более 10 г/л – термической дистилляции. Кроме этого, исходя из технико-экономических соображений необходимо учитывать производительность опреснительных установок (рис. 1).

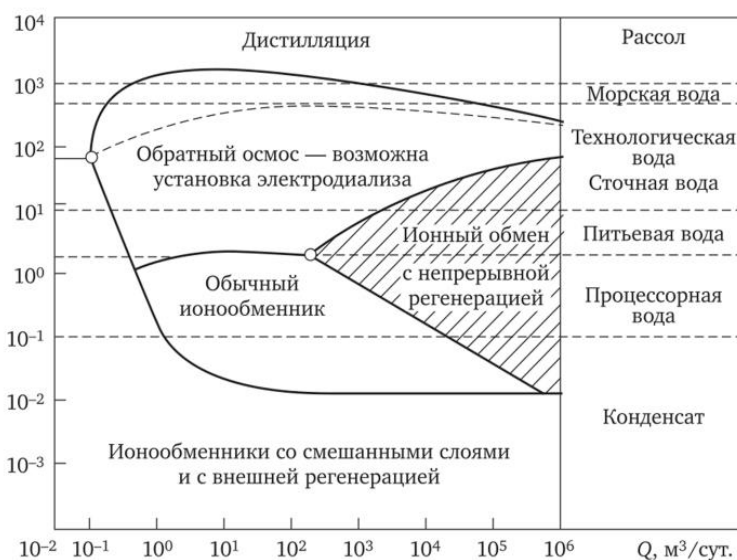


Рис. 1. Диаграмма выбора метода опреснения в зависимости от производительности установки

Однако для выбора метода опреснения недостаточно руководствоваться только данными рекомендациями. Для выбора метода опреснения автор предлагает использовать комплексный показатель, который будет учитывать затраты энергии на опреснение, экологичность, экономичность. Разработка показателя ведется на основе метода анализа иерархий Т. Саати [3].

В зависимости от принципа действия опреснительной установки к предварительной подготовке исходной воды предъявляются разные требования. Наиболее чувствительными к качеству исходной опресняемой воды являются обратноосмотические опреснительные установки [4]. В зависимости от используемых мембран к ней предъявляются следующие требования:

- количество взвешенных веществ не должно превышать 0,1 мг/л;
- содержание железа, алюминия, марганца в исходной воде должно быть менее 0,1 мг/л;
- водородный показатель морской воды для ацетатцеллюлозных мембран должен составлять 3,5–7,2, для полиамидных мембран – 2,0–12,0;
- содержание свободного хлора не обходимо поддерживать на уровне менее 0,1 мг/л – для тонкопленочных композитных полиамидных мембран, и на уровне менее 0,6 мг/л – для ацетатцеллюлозных мембран.

В этой связи одним из основных недостатков обратного осмоса является сложная предварительная очистка исходной воды, стоимость которой иногда в два-три раза превышает стоимость самой установки обратного осмоса и наличие которой существенно увеличивает энергопотребление.

В то время как для работы, например, дистилляционных опреснительных установок с контактным испарителем требуется только механическая очистка морской воды.

Таким образом для оценки уровня требований к предварительной подготовке исходной воды необходимо ввести критерий, который будет учитывать данное обстоятельство –  $K_{пр.п.}$ .

Достаточно важным аспектом при выборе типа и конструкции опреснительной установки является затраты энергии на получение одного м<sup>3</sup> пресной воды. Для дистилляционных опреснительных установок этот показатель находится в пределах 70-250 кВт·ч/(м<sup>3</sup> пресной воды), обратноосмотических – 5-30 кВт·ч/(м<sup>3</sup> пресной воды). Введем критерий, который позволит это учесть –  $K_э$  – энергетический критерий. При использовании в работе установок возобновляемых источников энергии или вторичных энергетических ресурсов (ВЭР) потребление энергии для работы установки можно существенно снизить.

Важным аспектом в части снижения энергопотребления является возможность регенерации и рекуперации энергии. Например, повышение энергоэффективности в обратноосмотических опреснителях может быть

достигнуто использованием процессов рекуперации энергии между сбрасываемым из мембранного блока потоком концентрата и потоком исходной жидкости.

В свою очередь, для термических опреснителей регенерация тепла вторичного пара в опреснителях является одним из наиболее эффективных методов повышения их энергетической эффективности.

Опреснительные установки потребляют тепловую и/или электрическую энергию. Большая часть электрической энергии, получаемой в России, приходится на тепловые электрические станции на органическом топливе. При сжигании органического топлива образуются парниковые газы, которые негативно влияют на окружающую среду. В свою очередь опреснительные установки являются достаточно энергоемким оборудованием. В связи с этим актуальным направлением развития опреснительных установок является снижения потребления для их работы первичного топлива. В этом смысле использование вторичных энергетических ресурсов при опреснении позволяет минимизировать выбросы парниковых газов при работе установок.

Кроме этого, в результате работы опреснительной установки образуется рассол, который содержит в себе не только различные соли, но и другие соединения. По своему составу, физико-химическим, биологическим свойствам эти стоки представляют реальную опасность при попадании в открытые водоемы и водоносные горизонты.

Однако для термических опреснителей возможно использование технологии предельного упаривания рассола с доведением до сухого остатка. В таком случае продуктом коммерциализации опреснительной станции будет являться не только пресная вода, но и морская соль.

В результате функционирования установок наносится экологический ущерб, во-первых, за счет выбросов парниковых газов в атмосферу в результате работы опреснителя, а также выбросов стоков. Для оценки экологичности метода опреснения необходимо ввести показатель, который будет это учитывать –  $K_{\text{экол}}$ .

Также стоит отметить, что капитальные затраты и эксплуатационные расходы при работе различных опреснительных установок существенно отличаются [5]. В этой связи в качестве одного из критериев следует рассмотреть экономический критерий ( $K_{\text{эк}}$ ).

Автором предлагается подход к процессу выбора метода опреснения, базирующийся на использовании комплексного показателя, полученного на основе экспертной оценки. Для этого необходимо разработать иерархическую структуру, которая будет содержать цель, основные критерии, альтернативы. Схема метода анализа иерархий (МАИ) приведена на рис. 2.

В МАИ элементы задачи сравниваются попарно по отношению к их воздействию на общую для них характеристику.

Система парных сравнений представлена в виде обратносимметричной матрицы. Элементом матрицы  $a(i,j)$  является интенсивность проявления элемента иерархии  $i$  относительно элемента иерархии  $j$ , оцениваемая по шкале интенсивности от 1 до 5, где:

- равная важность – 1;
- умеренное превосходство – 3;
- значительное превосходство – 5.

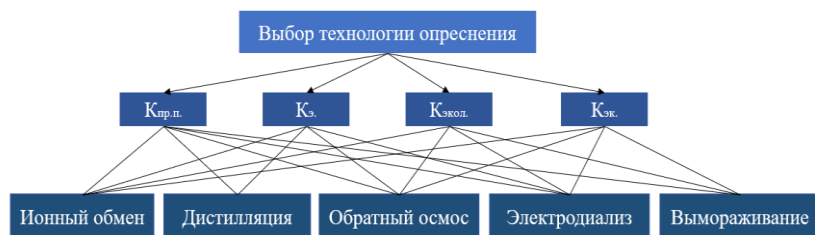


Рис. 2. Модель МАИ

На первом этапе были сформированы матрицы парных сравнений критериев на основе экспертных оценок авторов. В таблице 1 приведены результаты парных сравнений критериев оценки методов опреснения в соответствии с принятой шкалой.

Таблица 2

Матрица парных сравнений критериев

	$K_{пр.п.}$	$K_{э.}$	$K_{экол.}$	$K_{эк.}$	ВВК
$K_{пр.п.}$	1	1/5	1	1/3	0,106
$K_{э.}$	5	1	3	1	0,411
$K_{экол.}$	1	1/3	1	1/3	0,121
$K_{эк.}$	3	1	3	1	0,362

На основе полученной матрицы был вычислен вектор весов критериев (ВВК) в следующей последовательности.

1. Перемножение элементов каждой строки. В результате чего формируется столбец произведений.
2. Извлечение из полученных значений корня, степень которого равна числу строк, результаты вычислений сводятся в отдельный столбец.
3. Определение суммы элементов столбца, полученных в пункте 2.
4. Деление отдельных значений столбца 2 на их сумму. Полученные значения представляют собой ВВК.

Сравнивая оценки вектора приоритета, можно сделать вывод, что наибольшее значение при разработке показателя эффективности метода опреснения придается в первую очередь критерию энергетических затрат, а также критерию, связанному с технико-экономическими показателями.

С учетом полученных весовых коэффициентов выражение для определения комплексного показателя принимает вид:

$$K=0,106 \cdot K_{\text{пр.п.}}+0,411 \cdot K_{\text{э.}}+0,121 \cdot K_{\text{экол.}}+0,362 \cdot K_{\text{эк}}$$

Таким образом на основании экспертной оценки был получен комплексный показатель эффективности методов опреснения, который учитывает экономические, энергетические и экологические аспекты.

При этом стоит отметить, что при выборе метода опреснения необходимо также руководствоваться возможностью работы установки при определенных климатических условиях. Например, область практического применения вымораживания и газогидратной экстракции ограничена вполне определенными климатическими зонами. Кроме этого, износ мембран обратноосмотических установок при высоких температурах идет более интенсивно, что сокращает период их эксплуатации.

#### Список литературы:

1. Соколова, Е. А. Выбор опреснительной части многоцелевых атомных комплексов на примере стран Ближнего Востока и Северной Африки : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Соколова Екатерина Андреевна, 2023. – 173 с.
2. Энергосбережение в процессах опреснения морской воды / А. В. Банников, С. А. Банникова, М. В. Козлова, М. И. Куколев. – Иваново : Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина, 2023. – 124 с.
3. Саати Т. Принятие решений: метод анализа иерархий / пер. с англ. Р.Г. Вачнадзе. – М.: Радио и связь, 1993. – 314 с.
4. Козлова, М. В. Повышение эффективности опреснительных установок гигроскопического типа: специальность 05.14.04 "Промышленная теплоэнергетика" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Козлова Мария Владимировна. – Иваново, 2022. – 146 с.
5. Орлов, Н. С. Технико-экономическое обоснование разработки систем опреснения на основе традиционных и возобновляемых энергоресурсов / Н. С. Орлов, С. И. Анисимов // Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. – 2018. – № 1(53). – С. 95-112.

#### Информация об авторах:

Козлова Мария Владимировна, кандидат технических наук, доцент кафедры промышленной теплоэнергетики ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», 153003, г. Иваново, ул. Рабфаковская д.34, kozlova.mv@ispu.ru