

Т. Л. Риполь-Сарагоси

ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ ВЛИЯНИЯ НА ПОВЫШЕНИЕ СРОКА ЭКСПЛУАТАЦИИ РАЗЛИЧНЫХ МАРОК ЦЕОЛИТОВ

Аннотация. Материал данной статьи посвящен поиску решений по определению срока службы различных марок цеолитов и установлению основных факторов влияния на его величину. Для реализации этих целей рассмотрена технологическая схема осушки сжатого воздуха с описанием и определением функционала основных и вспомогательных конструктивных элементов. Анализируются факторы, влияющие на величину срока службы рассматриваемых марок цеолита. По представленному алгоритму выполнен расчет срока службы различных марок цеолита при идентичных параметрах проведения технологического процесса. Полученные данные визуализированы в виде графических зависимостей, анализ которых позволил выявить прямую зависимость срока службы адсорбента от температуры сжатого воздуха, поступающего в адсорбер, и величины его микропор, а также определить марку наиболее ресурсоэнергоэффективного, экологически и экономически целесообразного цеолита при использовании его в процессах осушки сжатого воздуха.

Ключевые слова: сжатый воздух, технологическая схема, адсорбент, цеолит, экономическая эффективность, адсорбер, факторы влияния, ресурсоэнергоэффективный.

Для цитирования: Риполь-Сарагоси, Т. Л. Исследование факторов влияния на повышение срока эксплуатации различных марок цеолитов / Т. Л. Риполь-Сарагоси // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2023. – № 4. – С. 233–241. – DOI 10.46973/0201-727X_2023_4_233.

Введение

Современные технологии адсорбционной осушки сжатого воздуха на подвижном составе железных дорог и промышленного транспорта, а также в системах УЗОТ ПТО вагонных депо представлены широким спектром схемных решений, но независимо от конфигурации технологической схемы неизменным остается основной принцип их работы: влажный воздух сжимается компрессором, проходит через адсорбер, где осушается за счёт поглощения влаги адсорбентом, который впоследствии, при снижении его влагопоглощающей способности, необходимо регенерировать, а с течением времени ввиду воздействия давления сжатого воздуха на структуру гранулы адсорбента, сил трения – менять, утилизируя отработанную партию. Такая замена всегда связана с расходом материалов (адсорбента), энергии на его производство, а также финансовыми затратами на утилизацию с одновременным оказанием негативного воздействия на окружающую среду [1]. В связи с вышесказанным всегда целесообразно выбирать путь снижения потребления материальных и энергетических ресурсов, чем увеличивать их производство. Поскольку все виды адсорбентов, в том числе и различные марки цеолитов, можно отнести к материальным ресурсам, рассмотрение вопросов, связанных с выявлением факторов, влияющих на величину срока их эксплуатации с целью ее увеличения, определяет их актуальность.

Технологические решения

Технологические решения адсорбционной осушки, как правило, представлены либо одноадсорберными, либо двухадсорберными установками.

Одноадсорберная установка осушки сжатого воздуха приведена на рис. 1. Её главным элементом является адсорбционный осушитель 6. Он представляет собой цилиндрическую колонну, заполненную адсорбентом. При нажатии пусковой кнопки 1 включается электродвигатель 2, запускается компрессор 3 и сжатый воздух через обратный клапан 4 поступает в концевой охладитель 5 для охлаждения сжатого воздуха. Именно в результате охлаждения сжатого воздуха перед попаданием его в адсорбер происходит повышение эффективности процесса адсорбционной осушки, поскольку чем выше температура сжатого воздуха, поступающего в адсорбер, тем большее количество влаги находится в нем и тем быстрее будет снижаться влагопоглощающая способность любого адсорбента. Осушенный в адсорбере сжатый воздух поступает через обратный клапан 7 в накопительные резервуары 8 и далее к потребителю [2].

По достижении в накопительных резервуарах максимально заданного давления срабатывает реле давления 9, размыкаяющее контакты 10, и компрессор отключается. С этого момента начинается фаза регенерации адсорбента. Клапан продувки 11 открывается, сообщая адсорбер с атмосферой, а отсечной клапан 12 закрывается, способствуя разобщению адсорбера с охладителем. Часть уже осушенного сжатого воздуха по магистрали 13 через дроссель 14 подаётся в адсорбер для реализации процесса регенерации. После того как адсорбционные свойства адсорбента будут восстановлены, клапан продувки закрывается, открывается отсечной клапан и процесс адсорбции влаги из сжатого воздуха повторяется.

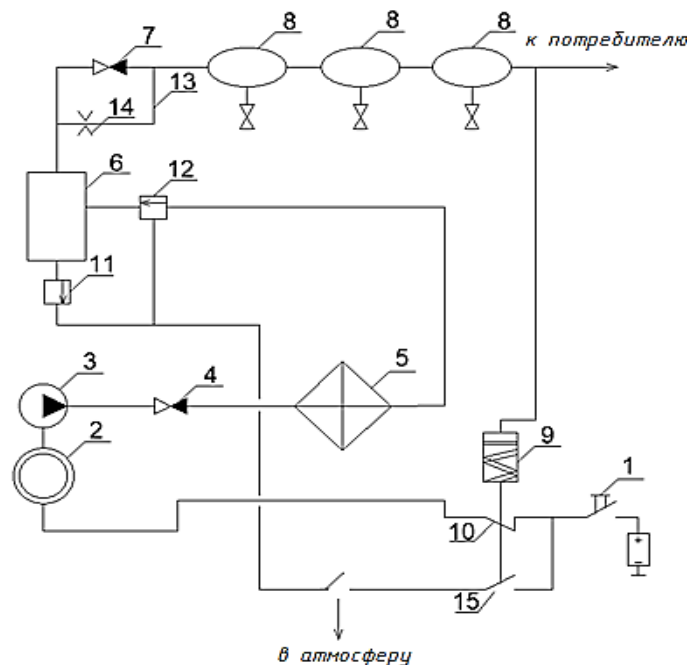


Рис. 1. Принципиальная схема одноадсорберной установки:

- 1 – кнопка пуска; 2 – электродвигатель; 3 – компрессор; 4, 7 – обратный клапан;
5 – охладитель; 6 – адсорбер; 8 – резервуары для накопления сжатого воздуха; 9 – реле давления;
10, 15 – контакты; 11 – клапан продувки; 12 – отсечной клапан; 13 – байпасная линия;
14 – дроссельный клапан

Отличие двухадсорберных установок от одноадсорберных заключается в следующем: в одноадсорберных установках адсорбер поочередно работает то в режиме осушки, то в режиме регенерации адсорбента, а в двухадсорберных установках один адсорбер осушает сжатый воздух, в другом в этот момент происходит регенерация адсорбента за счет использования части уже осушенного воздуха. В упрощённом виде технологическую схему осушки сжатого воздуха можно представить в следующем виде (рис. 2).

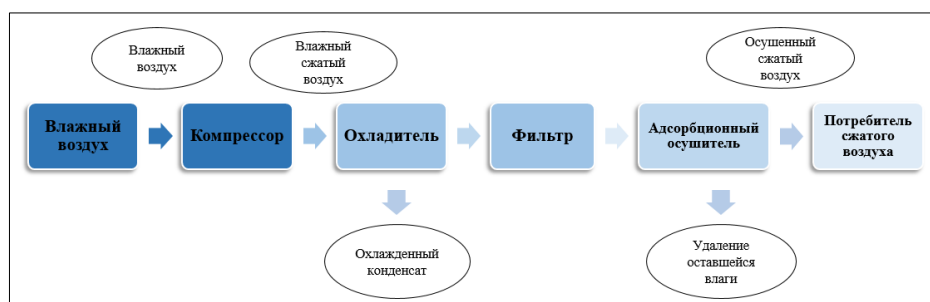


Рис. 2. Основные этапы процесса осушки сжатого воздуха

На первом этапе влажный воздух, содержащий взвешенные частицы и влагу, поступает в компрессор. В процессе сжатия ввиду повышения температуры и давления концентрация влаги в нем увеличивается. На выходе из компрессора мы получаем нагретый влажный сжатый воздух. Прежде чем подавать сжатый воздух потребителю для использования в технологическом процессе промышленных предприятий,

в тормозной и разгрузочной магистралях магистрального и промышленного подвижного состава, а также в системах УЗОТ ПТО ремонтных вагонных депо, его необходимо очистить и осушить.

На втором этапе горячий влажный сжатый воздух поступает в концевой охладитель, который представляет собой теплообменник. Именно в концевом охладителе сжатый воздух будет охлаждаться с последующим выделением из него сконденсированной влаги. Следовательно, основная функция концевой охладитель – произвести первичное удаление влаги из сжатого воздуха за счет его охлаждения [3]. Величина снижения температуры в концевом охладителе будет зависеть от конструктивных особенностей поверхности теплообмена, ее величины, условий теплообмена. На третьем этапе уже охлажденный сжатый воздух проходит через фильтры для удаления взвешенных твердых частиц и капель масла, поскольку попадание вышеперечисленных загрязнителей в адсорбционный осушитель неизбежно снизит его адсорбционные возможности.

На четвертом этапе происходит непосредственно сама осушка сжатого воздуха в адсорбере до класса чистоты, предусмотренного отраслевыми нормативными документами. В случае со сжатым воздухом пневматических магистралей подвижного состава это ГОСТ Р 53977–2010 и ГОСТ 32202–2013. Таким образом, мы видим, что процессу осушки воздуха в адсорбере предшествует многоступенчатый процесс его подготовки. Это необходимо для того, чтобы:

- увеличить срок службы адсорбента;
- процесс осушки сжатого воздуха стал максимально эффективным;
- повысить ресурсосберегающую, экономическую и экологическую эффективность адсорбционной осушки.

Если ресурсосберегающая составляющая направлена на снижение расходов адсорбента и энергии на его производство, экономическая составляющая повышения срока службы адсорбента связана со снижением затрат на его приобретение и хранение, то экологическая составляющая заключается в снижении затрат на утилизацию и захоронение отработанного адсорбента, а также отрицательного воздействия отходов на окружающую среду. Таким образом, целью данной работы является установление факторов влияния на величину срока службы цеолитов различных марок, а также характера их изменения при заданных условиях эксплуатации [4–6].

Материалы и методы

Срок службы адсорбента является одним из показателей ресурсосберегающей, экономической и экологической эффективности установки. Во многом он зависит от параметров и качества сжатого воздуха на входе в адсорбер. На современном рынке представлено множество компрессоров и осушителей с различными техническими характеристиками и конструктивными особенностями, которые будут влиять на работу адсорбционной колонны и на то, как часто придется производить замену адсорбента. Для того чтобы понять закономерность взаимного влияния параметров работы компрессора и охладителя, а также срока эксплуатации адсорбента, произведем расчеты по определению срока службы адсорбента при заданных параметрах эксплуатации.

Целью расчета срока эксплуатации адсорбента является выявление факторов, влияющих на длительность работы адсорбента с приемлемой эффективностью. Приведенный расчет позволит определить перечень факторов, оказывающих наибольшее влияние на износ адсорбента, а также путь увеличения срока его службы с одновременным снижением затрат на приобретение новых партий адсорбента и утилизацию отработанных.

Примем, что в компрессор с рабочим давлением 7 бар и производительностью 45 м³/ч поступает воздух с температурой +20 °С и относительной влажностью 60 %. На выходе из компрессора сжатый влажный воздух имеет температуру ~110 °С, а после концевой охладитель – 40 °С. На выходе после адсорбционной установки сжатый воздух должен соответствовать 2-му классу чистоты по ГОСТ 32202–2013 (концентрация влаги в воздухе не более 0,01 мг/л).

Технологическая схема процесса адсорбционной осушки сжатого воздуха с принятыми параметрами представлена на рис. 3.

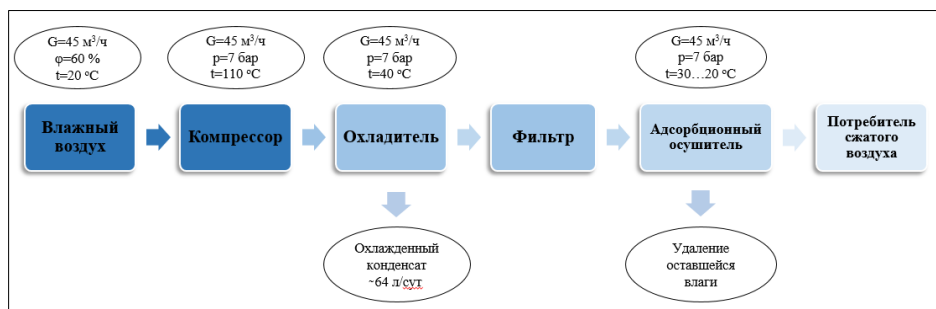


Рис. 3. Технологическая схема адсорбционной осушки сжатого воздуха с принятыми параметрами

Рассчитаем срок эксплуатации адсорбента для обозначенных выше условий.

Определим концентрацию влаги в паровоздушном потоке C_s , соответствующую условию насыщения, по формуле [7–9]:

$$C_s = \frac{P_s \cdot M}{R \cdot T}, \quad (1)$$

где P_s – давление насыщенного пара воды, мм. рт. ст.; M – молекулярная масса воды; R – газовая постоянная, равная 62,36 мм рт. ст. · л/(К · моль); T – температура воздуха на входе в адсорбер, К.

$$C_s = \frac{55,37 \cdot 18,01}{62,36 \cdot 313} = 51,09 \text{ мг/л.}$$

Относительная концентрация влаги в поступающем воздухе равна

$$C = \frac{C_0}{C_s}, \quad (2)$$

где C_0 – требуемая концентрация влаги на выходе из адсорбера. По вышеобозначенным стандартам для 2-го класса чистоты составляет не более 0,01 мг/л.

Тогда получим

$$C = \frac{0,01}{51,09} = 0,0002.$$

Определим коэффициент аффинности β [7–9]. Данный коэффициент призван учитывать имеющиеся различия в величинах поверхностного натяжения исследуемого адсорбата и адсорбата вещества, принятого за стандартное. В качестве стандартного вещества обычно принимается бензол. Таким образом, коэффициент аффинности представляет собой отношение паравор исследуемого и стандартного вещества.

$$\beta = \frac{\Pi}{\Pi_{ст}}, \quad (3)$$

где Π , $\Pi_{ст}$ – параворы данного и стандартного вещества (бензола).

Паравор – это независимый от температуры параметр, устанавливающий связь между поверхностным натяжением, плотностью жидкости и ее пара. Его значение равно сумме ингредиентов параворов входящих в молекулу атомов, связей и структурных элементов (колец). Эти ингредиенты приведены в справочной литературе. Существует две системы ингредиентов паравора, в теории объемного заполнения микропор (ТОЗМ) используют ингредиенты параворов по Сегдену. Паравор бензола равен $\Pi_{ст} = 207,1$. Паравор воды 192,3 [7–9].

Таким образом, коэффициент аффинности в нашем случае будет равен

$$\beta = \frac{192,3}{207,1} = 0,93.$$

Найдем равновесную величину адсорбции влаги X по уравнению ТОЗМ (уравнение Дубинина – Радускевича):

$$X(C_0) = W \cdot \rho \cdot e \left[-B \cdot \left(\left(\frac{T}{\beta} \right)^2 \cdot \lg \left(\frac{C_s}{C} \right)^2 \right) \right], \quad (4)$$

где W – предельно возможный объем микропор в адсорбенте, см³/г. Значение данной величины для RS-144M колеблется в пределах от 0,7 до 0,9 см³/г; B – константа, которая характеризует структуру адсорбента. Она отражает характер распределения микропор по размерам, также является справочной характеристикой и для вышеобозначенной марки цеолита, равна $1,097 \cdot 10^{-6}$ [7–9]; T, C – условия опытов, для которых ищут значение X ; ρ – плотность адсорбата в адсорбированной фазе, г/см³ при условии, что $T < T_{\text{кип}}$, где $T_{\text{кип}}$ – нормальная температура кипения вещества. Плотность адсорбированной фазы полагают равной плотности обычной жидкости. В нашем случае $\rho = 0,998$ г/см³ [7–9].

$$X(C_0) = 0,9 \cdot 0,998 \cdot e \left[-1,097 \cdot 10^{-6} \cdot \left(\left(\frac{313}{0,93} \right)^2 \cdot \lg \left(\frac{51,09}{0,002} \right)^2 \right) \right] = 0,458 \text{ г/г МС.}$$

Найдем предельную возможность (ПВ) слоя для цеолита марки RS-144M:

$$\text{ПВ}_c = \frac{X(C_0) \cdot \rho_n \cdot 10^3}{C_0}, \quad (5)$$

где ρ_n – насыпная плотность адсорбента, г/л.

$$\text{ПВ}_c = \frac{0,458 \cdot 550 \cdot 10^3}{0,01} = 2,5 \cdot 10^7.$$

Определим, какое количество воздуха может быть осушено слоем молекулярного сита RS-144M:

$$G_{\text{осуш}} = \text{ПВ}_c \cdot V, \quad (6)$$

где V – объем слоя адсорбента, м³.

$$G_{\text{осуш}} = 2,5 \cdot 10^7 \cdot 0,0128 = 321767 \text{ м}^3.$$

Определим срок службы адсорбента А при заданных условиях работы компрессора:

$$A = \frac{G_{\text{осуш}}}{G}; \quad (7)$$

$$A = \frac{321767}{45} = 7150,4 \text{ ч.}$$

Таким образом, срок службы адсорбента составит 7150,4 ч, или 298 дней безостановочной работы.

Обсуждение

В приведенном алгоритме расчета присутствуют как постоянные величины, на которые мы не можем оказать влияние (объем микропор адсорбента, постоянные коэффициенты, паракоры и т.д.), так и величины, связанные с условиями предварительной подготовки воздуха, на которые мы можем повлиять. Наиболее часто в формулах фигурирует значение температуры сжатого воздуха на входе в адсорбер. Запустив в Excel команду «Поиск решения», увидим, что срок службы адсорбента будет увеличиваться с уменьшением температуры сжатого воздуха на входе в адсорбер (рис. 4).

При понижении температуры сжатого воздуха на входе в адсорбер до +20 °С срок службы адсорбента достигает 8610,3 ч работы, или 358,7 дней безостановочной работы. Это объясняется тем, что при понижении температуры сжатого воздуха в охладителе выделяется большее количество влаги, благодаря чему сжатый воздух заходит в адсорбционную колонну с меньшим ее содержанием, что, в свою очередь, снижает нагрузку на адсорбент, повышая тем самым срок его эксплуатации [10–11].

От температуры воздуха также зависит давление насыщенного пара, значение которого уменьшается с понижением температуры. Следовательно, понижается концентрация влаги в сжатом воздухе.

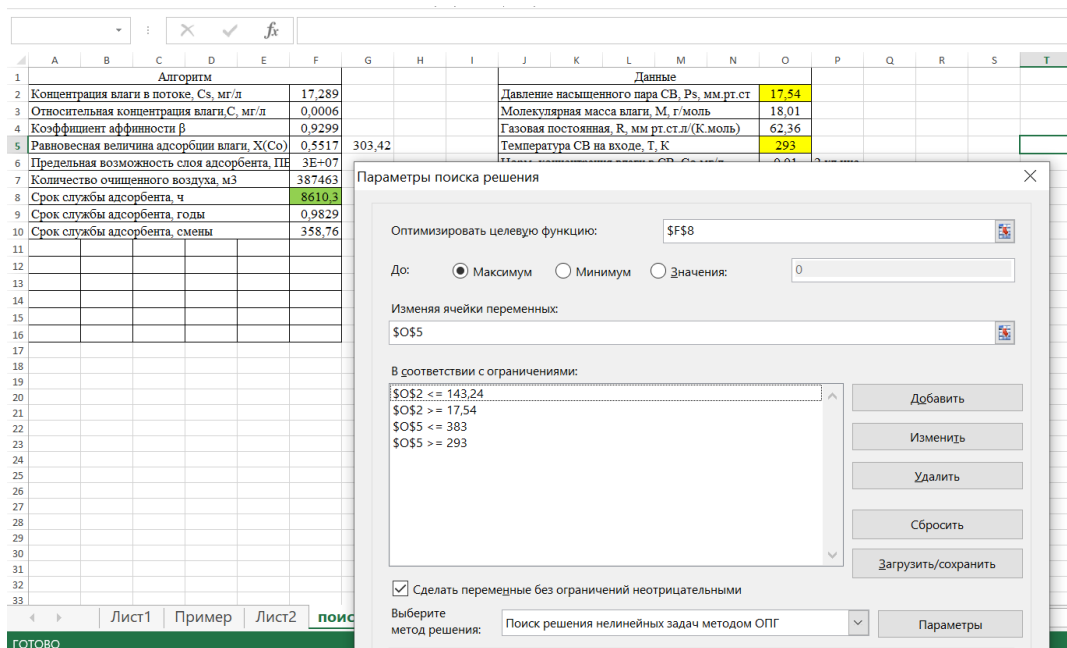


Рис. 4. Рабочее поле инструмента «Поиск решения»

Проведя аналогичные расчеты для других, часто используемых марок адсорбентов-цеолитов, можно увидеть подтверждение тенденции увеличения срока службы адсорбента при снижении температуры сжатого воздуха на входе в адсорбер, выявленной при использовании функции «Поиск решения». Численные результаты расчетов приведены в таблице, а графическая их визуализация представлена на рис. 5.

Результаты расчёта срока службы адсорбента при различных температурах сжатого воздуха на входе в адсорбер для различных марок цеолитов

Температура, °С, давление, мм рт. ст.	Расчётные величины	Марки цеолитов			
		RS-144M	NaA	Ca-CO	RS-CMS
1	2	3	4	5	6
50 °С, 92,59 мм рт. ст.	C_s , мг/л	82,78			
	$X(C_0)$	0,41	0,36	0,32	0,27
	ПВ, л/л	$2,3 \cdot 10^7$	$2 \cdot 10^7$	$1,8 \cdot 10^7$	$1,5 \cdot 10^7$
	Срок, дни	270	238	209	179
40 °С, 55,37 мм рт. ст.	C_s , мг/л	51,09			
	$X(C_0)$	0,45	0,41	0,35	0,3
	ПВ, л/л	$2,5 \cdot 10^7$	$2,2 \cdot 10^7$	$2 \cdot 10^7$	$1,7 \cdot 10^7$
	Срок, дни	298	263	230	197
30 °С, 31,84 мм рт. ст.	C_s , мг/л	30,3			
	$X(C_0)$	0,5	0,44	0,39	0,33
	ПВ, л/л	$2,8 \cdot 10^7$	$2,5 \cdot 10^7$	$2,2 \cdot 10^7$	$1,8 \cdot 10^7$
	Срок, дни	327	289	253	217
20 °С, 17,54 мм рт. ст.	C_s , мг/л	17,29			
	$X(C_0)$	0,55	0,49	0,43	0,36
	ПВ, л/л	$3 \cdot 10^7$	$2,7 \cdot 10^7$	$2,4 \cdot 10^7$	$2 \cdot 10^7$
	Срок, дни	359	317	277	237

По представленным в таблице данным построим графические зависимости срока службы различных марок цеолитов от температуры сжатого воздуха, поступающего на адсорбцию (см. рис. 5).

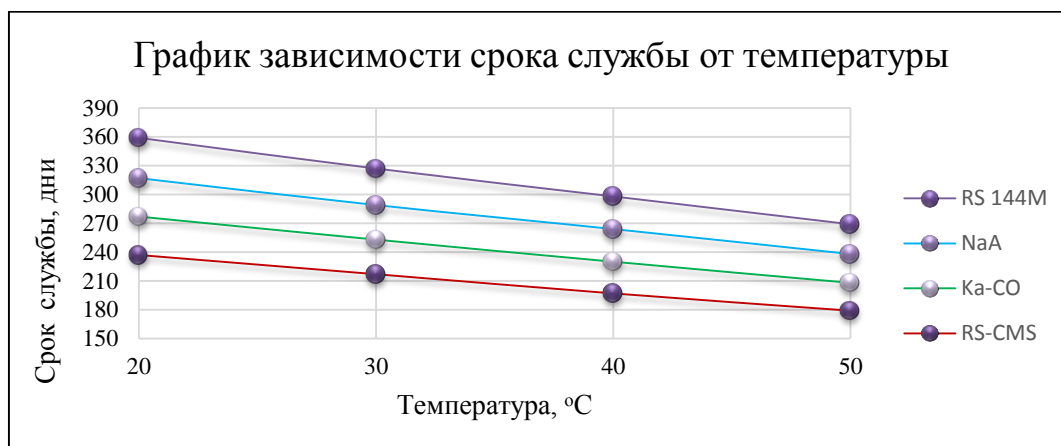


Рис. 5. График зависимости срока службы адсорбента от температуры сжатого воздуха на входе в адсорбер

Таким образом, определение факторов влияния на величину срока службы различных марок цеолита, а также фактора, оказывающего наибольшее на нее влияние, и получение графических зависимостей срока службы адсорбента от температуры сжатого воздуха на входе в адсорбер определяют научную новизну представленных исследований.

Выводы

Анализируя данные таблицы и построенные на их основании графические зависимости (см. рис. 5), можно сделать следующие выводы:

- при повышении температуры сжатого воздуха на входе в адсорбер на 10 °C срок службы адсорбента любой марки в среднем уменьшается на 25–30 дней;
- чем больше предельный объем микропор в адсорбенте W , тем эффективнее проходит процесс осушки сжатого воздуха и увеличивается срок службы адсорбента, поскольку влагоемкость адсорбента линейно зависит от объема его пор;
- наибольший срок службы при эксплуатации адсорбционной установки в заданных условиях имеет цеолит марки RS 144M;
- наихудшие показатели по величине срока эксплуатации имеет цеолит марки RS-CMS.

Таким образом, температура сжатого воздуха на входе в адсорбер и размер микропор цеолитов оказывают основополагающее влияние на эффективность процесса адсорбционной осушки и срок службы адсорбента. Данные показатели напрямую зависят от конструктивных особенностей, используемых в технологической схеме процесса теплообменных аппаратов и условий теплообмена, а также технологии производства адсорбентов. Снижение отрицательного влияния на окружающую среду при увеличении срока службы адсорбента здесь будет выражаться в уменьшении объемов поступающего на захоронение отработанного адсорбента. При проведении дальнейших исследований предполагается определить факторы влияния на величину срока службы таких адсорбентов, как силикагель, алюмогель и активированный уголь, с выявлением наиболее ресурсоэффективной марки в каждом из обозначенных видов.

Список литературы

- 1 Ягодковский, В. Д. Адсорбция : учебник для высшей школы / В. Д. Ягодковский. – Москва : Лаборатория знаний, 2020. – 219 с. – ISBN 978-5-9963-2909-0.
- 2 Перспективы использования адсорбционных технологий для подготовки газа к транспорту / С. Ю. Кондауров, И. И. Артемова, М. М. Кручинин [и др.] // Газовая промышленность. – 2010. – № 10. – С. 52. – ISSN 0016-5581.
- 3 Великих, О. В. Компоненты систем охлаждения / О. В. Великих. – Белгород : Принт-мастер, 2012. – 48 с.

References

- 1 Yagodovsky, V. D. Adsorption : Textbook for higher school / V. D. Yagodovsky. – Moscow : Laboratory of knowledge, 2020. – 219 p. – ISBN 978-5-9963-2909-0.
- 2 Prospects of using adsorption technologies for gas preparation for transport / S. Yu. Kondaurov, I. I. Artemova, M. M. Kruchinin [et al.] // Gas industry. – 2010. – No. 10. – P. 52. – ISSN 0016-5581.
- 3 Velikikh, O. V. Components of cooling systems / O. V. Velikikh. – Belgorod : Print-master, 2012. – 48 p.

4 **Риполь-Сарагоси, Т. Л.** Исследование энергоэффективности процессов осушки сжатого воздуха с использованием цеолитов различных марок / Т. Л. Риполь-Сарагоси, Л. Ф. Риполь-Сарагоси // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2023. – № 2(90). – С. 132–138. – DOI 10.46973/0201-727X_2023_2_132.

5 **Риполь-Сарагоси, Т. Л.** Анализ энергоэффективности различных схем адсорбционной осушки сжатого воздуха на подвижном составе / Т. Л. Риполь-Сарагоси, М. А. Гладких // Энергетика транспорта. Актуальные проблемы и задачи : сборник научных трудов IV Международной научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, 06–07 октября 2020 года. – Ростов-на-Дону : Ростовский государственный университет путей сообщения, 2020. – С. 81–83. – EDN UWQIII.

6 **Риполь-Сарагоси, Т. Л.** Исследование возможности ресурсосбережения при применении графитовых теплообменников в схемах адсорбционной осушки / Т. Л. Риполь-Сарагоси, Л. Ф. Риполь-Сарагоси // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2021. – № 3(83). – С. 177–184. – DOI 10.46973/0201-727X_2021_3_177.

7 **Серпионова, Е. Н.** Промышленная адсорбция газов и паров / Е. Н. Серпионова. – Москва, 1969. – 414 с.

8 **Риполь-Сарагоси, Л. Ф.** Исследование энергоэффективности адсорбентов / Л. Ф. Риполь-Сарагоси, А. А. Клименко // Транспорт : наука, образование, производство : сборник научных трудов, Ростов-на-Дону, 20–22 апреля 2020 года. Том 2. – Ростов-на-Дону : Ростовский государственный университет путей сообщения, 2020. – С. 176–180. – EDN BZUMGZ.

9 **Пузырев, И. С.** Темплатный синтез и сорбция паров воды пористыми силикагелями с высокой удельной площадью поверхности / И. С. Пузырев, Е. П. Собина, С. В. Медведевских // Бутлеровские сообщения. – 2013. – Т. 36. – № 10. – С. 141–145. – EDN RURAJL.

10 **Риполь-Сарагоси, Л. Ф.** Пути снижения энергоемкости процессов подготовки сжатого воздуха / Л. Ф. Риполь-Сарагоси, А. В. Борисенко // Транспорт : наука, образование, производство : сборник научных трудов, Ростов-на-Дону, 23–26 апреля 2019 года. Том 1. – Ростов-на-Дону : Ростовский государственный университет путей сообщения, 2019. – С. 360–363. – EDN IKJIQC.

11 Краткий справочник физико-химических величин / Н. М. Барон, Э. И. Квят, Е. А. Подгорная [и др.] ; под редакцией К. П. Мищенко и

4 **Ripol-Saragosi, T. L.** Investigation of the energy efficiency of compressed air drying processes using zeolites of various brands / T. L. Ripol-Saragosi, L. F. Ripol-Saragosi // Vestnik Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putey Soobshcheniya. – 2023. – No. 2(90). – P. 132–138. – DOI 10.46973/0201-727X_2023_2_132.

5 **Ripol-Saragosi, T. L.** Analysis of energy efficiency of various schemes of adsorption drying of compressed air on rolling stock / T. L. Ripol-Saragosi, M. A. Gladkikh // Energy of transport. Actual problems and tasks : collection of scientific papers of the IV International Scientific and Practical Conference, Rostov-on-Don, October 06-07, 2020. – Rostov-on-Don : Rostov State University of Railway Transport, 2020. – P. 81–83. – EDN UWQIII.

6 **Ripol-Saragosi, T. L.** Investigation of the possibility of resource saving when using graphite heat exchangers in adsorption drying schemes / T. L. Ripol-Saragosi, L. F. Ripol-Saragosi // Vestnik Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putey Soobshcheniya. – 2021. – No. 3(83). – P. 177–184. – DOI 10.46973/0201-727X_2021_3_177.

7 **Serpionova, E. N.** Industrial adsorption of gases and vapors / E. N. Serpionova. – Moscow, 1969. – 414 p.

8 **Ripol-Saragosi, L. F.** Research of adsorbent energy efficiency / L. F. Ripol-Saragosi, A. A. Klimenko // Transport : science, education, production : collection of scientific papers, Rostov-on-Don, April 20-22, 2020. Volume 2. – Rostov-on-Don : Rostov State Transport University, 2020. – P. 176–180. – EDN BZUMGZ.

9 **Puzyrev, I. S.** Template synthesis and sorption of water vapor by porous silica gels with a high specific surface area / I. S. Puzyrev, E. V. Sobina, S. V. Medvedevskikh // Butlerov communications. – 2013. – Vol. 36. – No. 10. – P. 141–145. – EDN RURAJL.

10 **Ripol-Saragosi, L. F.** Ways to reduce the energy intensity of compressed air preparation processes / L. F. Ripol-Saragosi, A. V. Borisenko // Transport : science, education, production : collection of scientific papers, Rostov-on-Don, April 23-26, 2019. Volume 1. – Rostov-on-Don : Rostov State Transport University, 2019. – P. 360–363. – EDN IKJIQC.

11 **Baron, N. M.** Brief reference of physico-chemical quantities / N. M. Baron, E. I. Kvyat, E. A. Podgornaya [et al.] ; ed. K.P. Mishchenko and A. A. Ravdelya, – Goskhimizdat, 2nd ed.,

А. А. Равделя. – 2-е изд., доп. – Ленинград : Госхимиздат [Ленинградское отделение], 1957. – 112 с.

supplement – Leningrad : Goskhimizdat [Leningrad branch], 1957. – 112 p.

T. L. Ripol-Saragosi

INVESTIGATION OF THE FACTORS INFLUENCING THE INCREASE IN THE SERVICE LIFE OF VARIOUS GRADES OF ZEOLITES

Abstract. The material of this paper is devoted to finding solutions to determine the service life of various grades of zeolites and establishing the main influence factors. For these purposes, a technological scheme for drying compressed air with a description and definition of the functionality of the main and auxiliary structural elements is considered. The factors influencing the value of the service life of the zeolite grades under consideration are analyzed. According to the presented algorithm, the service life of various grades of zeolite was calculated with identical parameters of the technological process. The obtained data are visualized in the form of graphical dependencies, the analysis of which revealed a direct dependence of the service life of the adsorbent on the temperature of the compressed air entering the adsorber and the size of micropores, as well as to determine the brand of the most cost-effective zeolite when using it in the processes of drying compressed air.

Keywords: compressed air, technological scheme, adsorbent, zeolite, economic efficiency, adsorber, influence factors.

For citation: Ripol-Saragosi, T. L. Investigation of the factors influencing the increase in the service life of various grades of zeolites / T. L. Ripol-Saragosi // Vestnik Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putey Soobshcheniya. – 2023. – No. 4. – P. 233–241. – DOI 10.46973/0201–727X_2023_4_233.

Сведения об авторах

Риполь-Сарагоси Татьяна Леонидовна
Ростовский государственный университет путей
сообщения (РГУПС),
кафедра «Теплоэнергетика на железнодорожном
транспорте»,
доктор технических наук, профессор,
e-mail: Ripol-saragosi@mail.ru

Information about the authors

Ripol-Saragosi Tatiana Leonidovna
Rostov State Transport University (RSTU),
Chair «Heat Power Engineering on Railway
Transport»,
Doctor of Engineering Sciences, Professor,
e-mail: Ripol-saragosi@mail.ru