

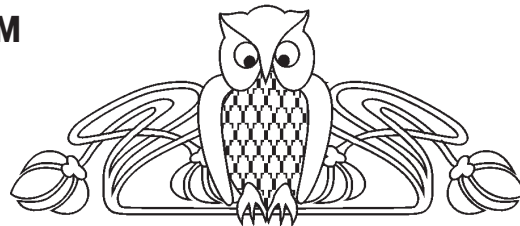


УДК 544.723.212

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОСУШКИ ПРИРОДНОГО ГАЗА ПРИ ДАВЛЕНИЯХ 20–25 МПа АЛЮМОГЕЛЕМ И ЦЕОЛИТОМ NaA 4A

И. А. Никифоров, А. А. Кривонос

Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского
E-mail: Galtek@mail.ru



Пары воды, содержащиеся в природном газе, препятствуют его нормальной транспортировке и применению в качестве топлива внутреннего сгорания. Наиболее перспективной технологией осушки газа является адсорбция при высоком давлении. Важной задачей является оптимизация процесса при помощи построения математической модели. С помощью математической модели процесса адсорбции воды из природного газа подобраны оптимальные условия осушки на цеолите NaA 4A и алюмогеле при давлении 20–25 МПа и температуре 5–40°C. Расчеты разработанной модели хорошо коррелируют с экспериментальными данными. Расчетная модельная точка росы – 80°C достигнута при входной температуре газа 5°C и давлении 20–25 МПа на цеолите NaA 4A.

Ключевые слова: адсорбция, цеолит, алюмогель, математическая модель, природный газ.

Modelling of Drying Process of Natural Gas at a Pressure of 20–25 MPa through Aluminogel and NaA 4A Zeolite

I. A. Nikiforov, A. A. Krivosov

Containment of water vapor in natural gas prevents its transportation and applying as an internal combustion fuel. The most demanded drying technology is adsorption at high pressure. The construction of a mathematical model for predicting the process is a significant task. Through a mathematical model of the process of water adsorption from natural gas at pressures of 20–25 MPa and temperatures of 5–40°C in the presence of NaA 4A zeolite and aluminogel, commonly used dehumidifier, optimal drying conditions were selected. The proposed model with suitable accuracy allows achieve high convergence with experimental data. The dew point –80°C using the proposed model was achieved on a NaA 4A zeolite at temperature of inlet gas 5°C, pressure 20–25 MPa.

Key words: adsorption, zeolite, aluminogel, mathematical models, natural gas.

DOI: 10.18500/1816-9775-2017-17-2-166-169

Вследствие постоянного ужесточения экологических требований к выбросам двигателей внутреннего сгорания (ДВС) в нашей стране активно развивается сеть автомобильных газонаполнительных компрессорных станций (АГНКС). Природный газ является перспективным видом топлива. Он экологичен, недорогой, его применение увеличивает ресурс ДВС по сравнению с жидкими видами топлива.

Сырьем для АГНКС является магистральный природный газ, который компримируется компрессором установки до 20–25 МПа. Поставка только сжатого газа потребителю напрямую невозможна вследствие высокого содержания в нем паров воды. Пары воды, содержащиеся в магистральном природном газе при высоких давлениях 20–25 МПа, способны образовывать гидраты с углеводородами и кристаллизироваться уже при положительных температурах, образуя при этом пробки, которые, в свою очередь, осложняют работу установки АГНКС и газобаллонного оборудования автомобиля. Поэтому актуальной задачей является выбор наиболее эффективного метода осушки, позволяющего производить осушку газа при 20–25 МПа и при этом быть максимально автоматизированным, недорогим в эксплуатации и ремонте. Наиболее удовлетворяющим перечисленным требованиям методом является адсорбция, позволяющая достигать депрессию точки росы до 100 °С. В качестве адсорбентов широко применяются силикагели, различные цеолиты, а также алюмогель. Но, к сожалению, применение в качестве осушителей природного газа перечисленных адсорбентов при давлениях выше 20 МПа недостаточно изучено [1].

Вследствие сложности постановки эксперимента проведен предварительный сравнительный анализ возможности использования в качестве осушителя природного газа алюмогеля и цеолита марки NaA 4A, основанный на математическом моделировании процессов адсорбции и десорбции влаги на поверхности адсорбента при температурах 5, 25, 40 °С в интервале давлений 20–25 МПа.

При анализе изотерм адсорбции паров воды на цеолитах и γ -оксиде алюминия можно сделать вывод, что данные изотермы относятся к лэнгмюровскому типу, и процессы адсорбции и десорбции возможно описать мономолекулярной теорией адсорбции.

Общее уравнение мономолекулярной адсорбции можно выразить следующим образом:

$$a \cdot r_a = r_d,$$



где α – коэффициент, характеризующий степень заполнения адсорбента; r_a – скорость адсорбции; r_d – скорость десорбции.

При этом скорость адсорбции принималась равной $r_a = \frac{A_a \cdot P \cdot x_w}{\sqrt{T}}$, где A_a – константа, численно равная $\frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot m \cdot k}}$; P – давление, кПа; x_w – объемная доля воды в природном газе; T – температура, К.

Скорость десорбции r_d , полученная в ходе кинетического анализа изотерм десорбции воды из цеолита NaA 4A и алюмогеля при различных температурах и давлениях [1–3], принималась равной $r_d = A_d \cdot \exp\left(\frac{-E_d \cdot P^x}{R \cdot T}\right) \cdot P^y$, где P – давление, кПа; R – универсальная газовая постоянная, T – температура, К; $x = 0.1291$; $y = 0.1117$; для цеолита NaA 4A; $A_d = 48$; $E_d = 5,9$ КДж/моль; для алюмогеля $A_d = 40$; $E_d = 5,4$ КДж/моль.

Режим адсорбции принят следующий: время контакта газа со слоем адсорбента – 48 мин, давление – 20 и 25 МПа, температура входного газа – 5, 25, 40 °С.

При моделировании учитывались только процессы сорбции и десорбции паров воды, по остальным компонентам расчет не проводился. Для цеолита NaA 4A динамическая активность принята 9% мас., для алюмогеля – 6% мас.

Рассчитан состав входного сырого газа (таблица), соответствующий точке росы, равной минус 3.7 °С при 25 МПа.

Состав сырого газа

| Компонент | Объемная доля в газе, % |
|----------------|-------------------------|
| Вода | 0,12132 |
| Метан | 96,95569 |
| Этан | 1,28730 |
| Пропан | 0,19827 |
| Бутан | 0,09913 |
| Азот | 1,28873 |
| Углекислый газ | 0,04956 |

Согласно проведенным расчетам, увеличение давления с 20 до 25 МПа незначительно способствует повышению степени осушки газа. Так, при температуре входного газа 5 °С для цеолита NaA 4A точка росы составила –80.60 и –80.86 °С при давлениях 20 и 25 МПа соответственно, а для алюмогеля –74.86 и 76.00 °С (рис. 1).

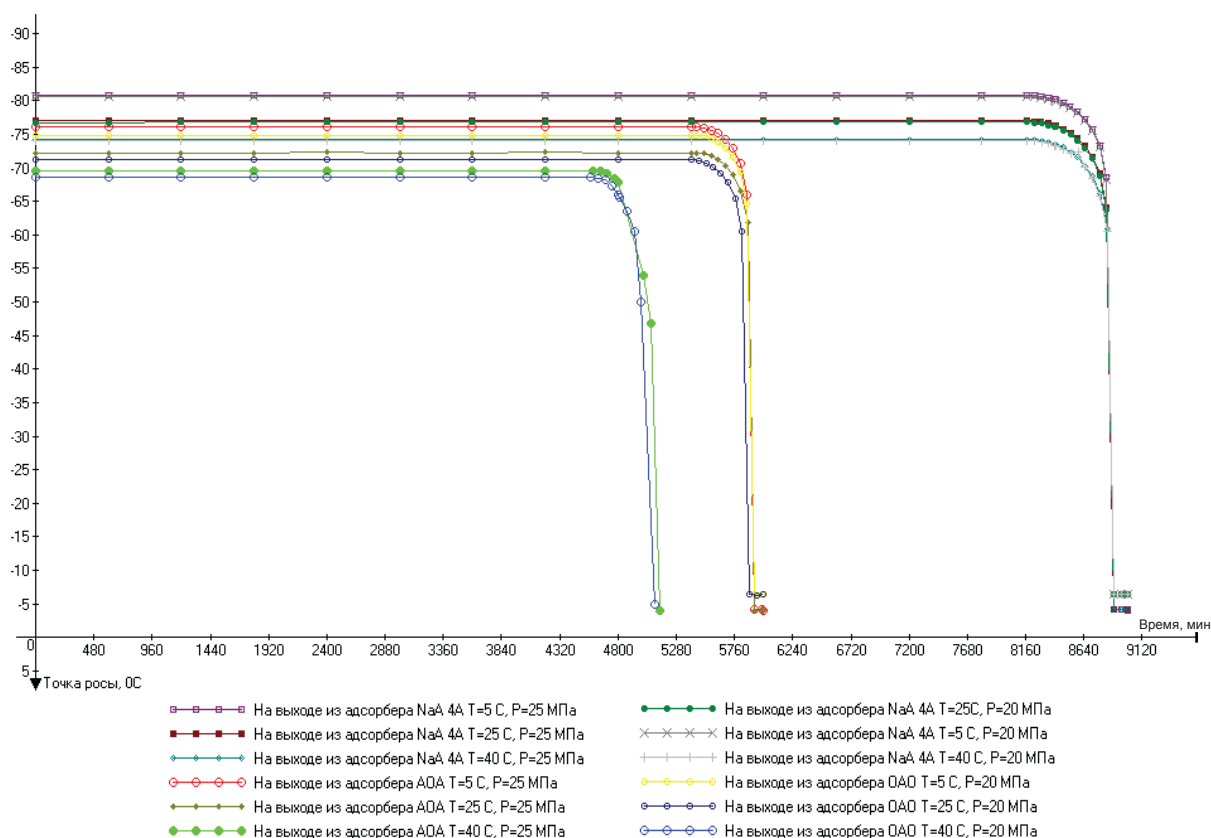


Рис. 1. Зависимость точки росы на выходе из адсорбера от времени на цеолите NaA 4A и алюмогеле при 20 и 25 МПа, при температуре входного газа 5, 25, 40 °С



Гораздо более существенное влияние на конечное качество осушенного газа оказывает температура процесса. Так, при давлении 25 МПа и температуре процесса 5 °С точка росы –80.86 °С, а при 40 °С точка росы уже –74.26 °С. Данная зависимость сохраняется и для алюмогеля. Так, при давлении 25 МПа и температуре 5 °С точка росы –76 °С, при 40 °С равна –69.61 °С. При этом

стоит отметить, что в случае алюмогеля увеличение температуры процесса до 40 °С сокращает цикл осушки на 780 мин.

Десорбция воды моделировалась при постепенном нагреве слоя адсорбента до температуры 190 °С и при постоянном удалении паров воды до предельного остаточного давления 5,5 кПа (рис. 2).

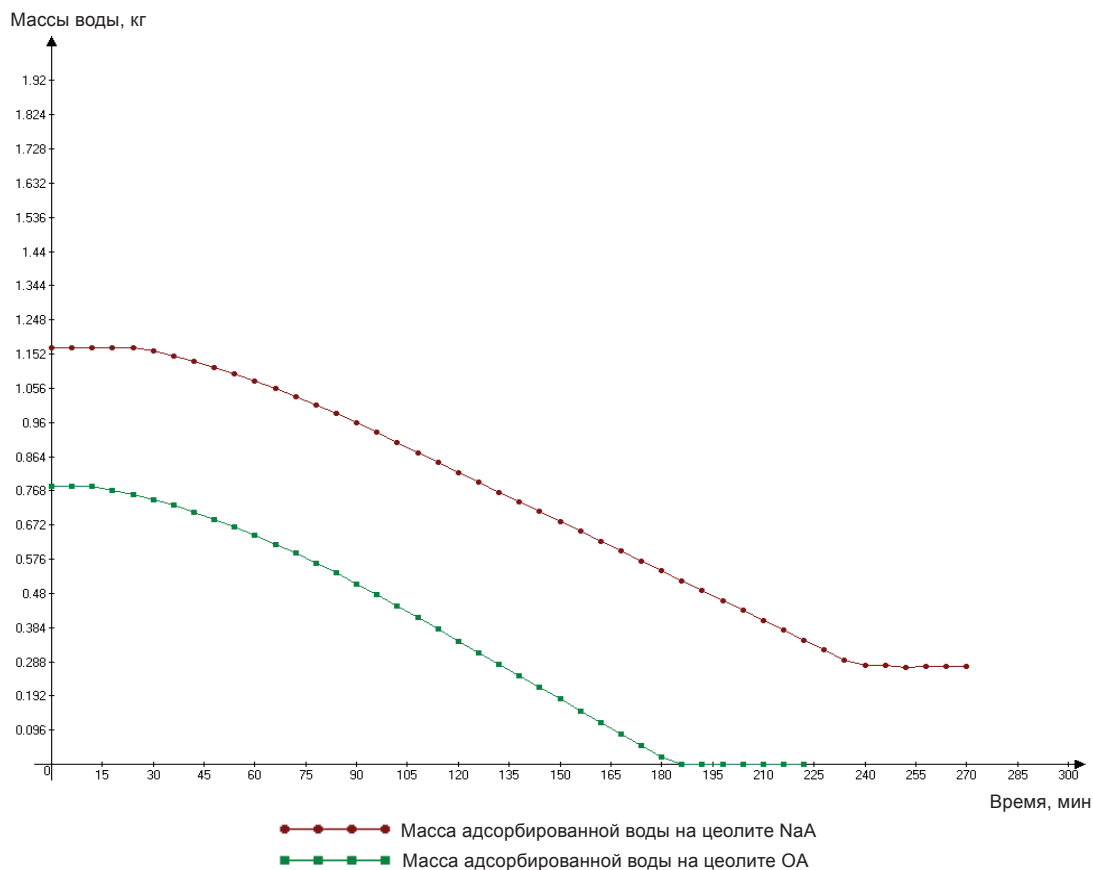


Рис. 2. Зависимость массы адсорбированной воды на адсорбенте во времени в режиме десорбции на цеолите NaA и алюмогеле

В условиях регенерации, при максимальной температуре 190 °С и остаточном давлении 5,5 кПа, цеолит NaA не десорбирует 23% поглощенной в процессе осушки влаги, в связи с чем реальная влагоемкость цеолита при дальнейших циклах осушки будет соизмерима с алюмогелем. Время регенерации цеолита NaA до полного прекращения отдачи влаги составило 4 часа, в то время как для алюмогеля – 3 часа.

Из перечисленного выше следует, что наиболее перспективным является использование в качестве осушителя для АНГКС цеолита NaA 4A при возможности полной его регенерации. При условиях максимальной температуры регенерации 190 °С и остаточного давления

5,5 кПа целесообразней использовать алюмогель вследствие меньших энергетических затрат. Время регенерация цеолита NaA 4A составляет 4 часа, полная регенерация алюмогеля – 3 часа.

Полученные результаты расчета модели хорошо согласуются с экспериментальными данными [1], согласно которым точка росы при давлении 20 МПа и температуре 30 °С на алюмогеле составляет –70 °С (расчетные –72 °С). Это дает основание полагать, что выбранный метод расчета является достаточно точным, и позволяет оценить преимущества и недостатки использования адсорбентов цеолита NaA 4A и алюмогеля в качестве осушителей природного газа для АНГКС при давлениях 20–25 МПа.



Список литературы

1. Сайкин В. В. Технология адсорбционной осушки природного газа для АГНКС : дис. ... канд. техн. наук. М., 1998. 130 с.
2. Сергунин А. С., Симаненков С. И., Гапанова Н. Ц. Исследование динамики адсорбции и десорбции паров воды активным оксидом алюминия и цеолитом NaX // Вестн. ТГТУ. 2012. Т. 18, № 3. С. 664–671.
3. Maciver O. S., Tobin H. H., Barth R. T. Catalytic Aluminas I. Surface of Eta and Gamma Alumina // J. of Catalysis. 1963. Vol. 2. P. 485–497.
4. Колобродов В. Г., Кулько В. Б., Карнацевич Л. В., Винокуров Э. И., Хажмурадов М. А., Жуковин В. И., Тимохина Н. В. Адсорбция и десорбция паров воды различными цеолитами // Вопросы атомной науки и техники. Харьков, 2002. № 1. С. 50–55.
5. Колобродов В. Г., Карнацевич Л. В., Хажмурадов М. А. Адсорбция паров воды цеолитами в динамическом режиме // Вопросы атомной науки и техники. Харьков, 2002. № 1. С. 56–61.

Образец для цитирования:

Никифоров И. А., Кривоносов А. А. Моделирование осушки природного газа при давлениях 20–25 МПа алюмогелем и цеолитом NaA 4A // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2017. Т. 17, вып. 2. С. 166–169. DOI: 10.18500/1816-9775-2017-17-2-166-169.

Cite this article as:

Nikiforov I. A., Krivonosov A. A. Modelling of Drying Process of Natural Gas at a Pressure of 20–25 MPa through Aluminogel and NaA 4A Zeolite. *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Chemistry. Biology. Ecology*, 2017, vol. 17, iss. 2, pp. 166–169 (in Russian). DOI: 10.18500/1816-9775-2017-17-2-166-169.