

Казанский Федеральный Университет
Кафедра высоковязких нефтей и природных битумов¹
Kazan Federal University,
Department of high-viscosity oils and natural bitumen
Российское газовое общество²
Russian Gas Society

**Анализ эффективности блока адсорбционной осушки в системе
автомобильной газонаполнительной компрессорной станции АГНКС**
**Analysis of the efficiency of the adsorption drying unit in the system of an
automobile gas filling compressor station**

Миргалиева Айгуль Рамилевна, Mirgalieva Aigul Ramilevna ^c

Кемалов Руслан Алимович, Kemalov Ruslan Alimovich ^b

Кемалов Алим Фейзрахманович, Kemalov Alim Feizrahmanovich ^a,

Master's degree of the department of high-viscosity oils and natural bitumen^{1,c}

Doctor of technical sciences, professor of the department of high-viscosity oils and natural bitumen ^{1,a},

Candidate of technical sciences,

Associate professor of the department of high-viscosity oils and natural bitumen ^{1,2,b}

Member of the RGS Expert Council, Acting Head of the Hydrogen and Alternative Energy Group^{2,b}

Kazan, Russia

E-mail: kemalov@mail.ru

Аннотация: В настоящее время в ходе решения стратегической задачи комплексного внедрения газомоторной техники в России активно развивается газозаправочная инфраструктура. Основными направлениями роста газозаправочной сети являются реконструкция действующих и строительство новых автомобильных газонаполнительных компрессорных станций (АГНКС) [1].

Ключевые слова: адсорбционная осушка, автомобильная газонаполнительная компрессорная станция, газомоторная техника, газораспределение.

Abstract: Currently, in the course of solving the strategic task of the integrated introduction of gas engine technology in Russia, the gas refueling infrastructure is actively developing. The main areas of growth of the gas filling network are the reconstruction of existing and construction of new automobile gas filling compressor stations.

Keywords: adsorption drying, automotive gas-filling compressor station, gas engine equipment, gas distribution.

Введение (Introduction)

При планомерном развитии сети АГНКС одной из основных задач организации газораспределения, решаемой с помощью информационно - управляющих систем различных уровней предприятия, является эффективное управление ресурсами. Благодаря внедрениям инновационных систем на АГНКС снижаются затраты энергоресурсов (электроэнергия, газ) [2].

В рамках реализации программы развития газозаправочной сети ПАО «Газпром» темпы ввода в эксплуатацию АГНКС в последние годы существенно возросли. Для эффективного управления разветвленной сетью газозаправочных станций требуется внедрение интегрированных систем управления на всех уровнях автоматизации [3].

Одним из более эффективных способов подготовки газа для эффективной работы АГНКС является процесс адсорбционной осушки, который применяется на АГНКС – 5 г. Казань. Сущность адсорбционной осушки состоит в избирательном поглощении поверхностью пор твердого адсорбента молекул воды с последующим извлечением их из пор внешними воздействиями (повышением температуры адсорбента или снижением давления среды).

Осушка газа твердыми осушителями осуществляется в аппаратах периодического действия с неподвижным слоем осушителя. Полный цикл процесса осушки состоит из стадий адсорбции, регенерации и охлаждения адсорбента. В качестве осушителей применяют силикагели, алюмосиликагели, активированный оксид алюминия, бокситы и молекулярные сита (цеолиты). Их адсорбционная емкость существенно зависит от размера пор и соответственно

удельной поверхности последних. Особенность молекулярных сит заключается в способности поглощать не только влагу, но и сероводород и углекислоту, то есть очищать газ от кислых компонентов. Для уменьшения сопротивления движению газа адсорбенты изготавливают в виде шариков или гранул. Требования к осушителю очень жесткие: он должен быстро поглощать влагу из газа и легко регенерироваться, выдерживать многократную регенерацию без существенной потери активности и прочности, иметь высокую механическую прочность и поглотительную способность, оказывать малое сопротивление потоку газа, иметь невысокую стоимость. Иногда применяют комбинацию двух осушителей в одном аппарате, например, силикагеля и активированного оксида алюминия, что позволяет сочетать высокую поглотительную способность силикагеля с высокой степенью осушки газа оксидом алюминия. Для регенерации осушителя используют нагретый газ.

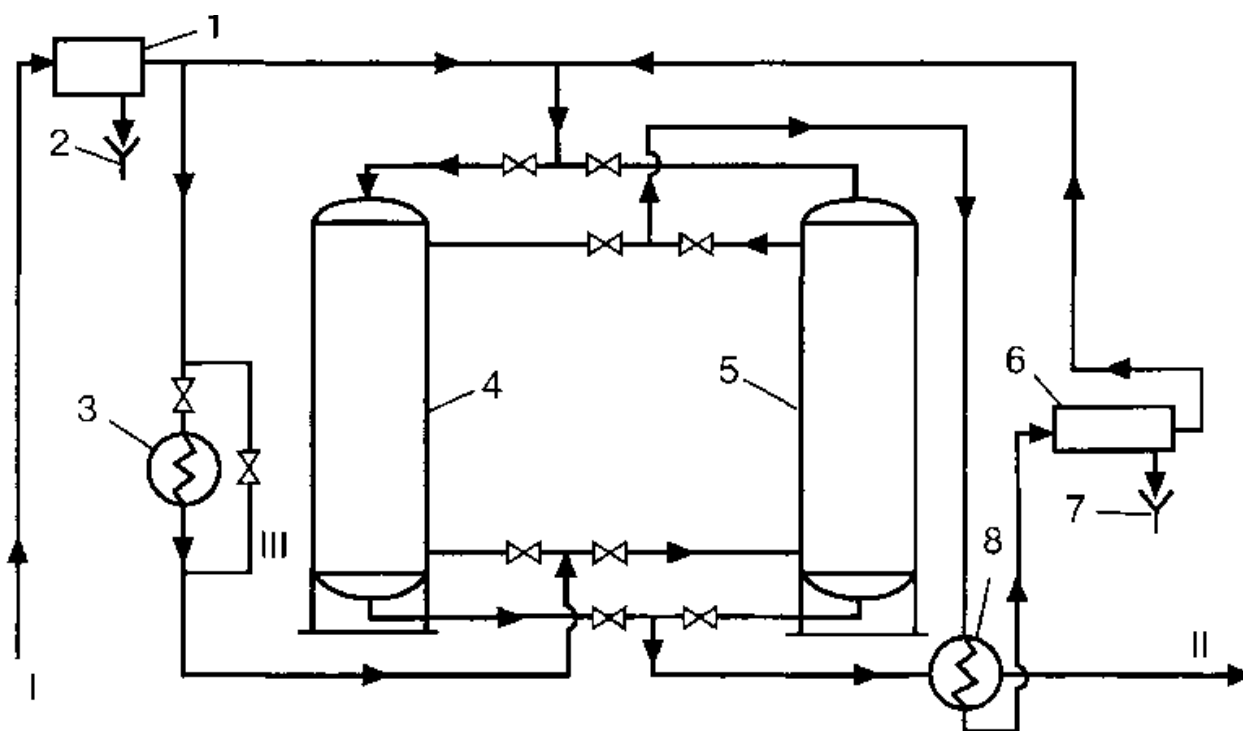


Рисунок 1. Технологическая схема осушки газа твердыми поглотителями:
 1—водоотбойник; 2, 7 — воронка; 3 — трубчатый нагреватель; 4, 5 — адсорберы; 6 — сепаратор; 8 теплообменник
 Потоки: I — влажный газ; II—осушенный газ; III — обводная линия.

Температура десорбции обычно равна 160-180°C (для молекулярных сит — 280 - 290°C). Установка осушки адсорбцией состоит, как минимум, из двух адсорбционных аппаратов. Принципиальная схема установки приведена на рис.

1. Влажный газ, пройдя через каплеотбойник, поступает сверху в один из адсорберов и проходит его насквозь. Другой адсорбер в это время находится на стадии регенерации или охлаждения. Осушенный газ поступает на дальнейшую переработку. Часть исходного газа, пройдя через трубчатый подогреватель, направляется в низ другого адсорбера для регенерации осушителя. Газ с регенерации проходит теплообменник для охлаждения, сепаратор для отделения воды и смешивается с основным потоком влажного газа.

Полный цикл работы одного аппарата включает четыре следующих периода:

- *адсорбция* при температуре 35 - 50°C, давлении 8-12 МПа, длительности контакта газа с адсорбентом не менее 10 с (скорость газа в аппарате 0,15 - 0,30 м/с). Длительность адсорбции выбирают исходя из адсорбционной емкости поглотителя, начальной и конечной влажности газа, загрузки адсорбента в аппарате;
- *нагрев адсорбента*, который производится после переключения аппарата с режима адсорбции на десорбцию. Нагрев ведется горячим газом из трубчатого нагревателя со скоростью не более 60°C в час. Время, затрачиваемое на нагрев, составляет 0,6 - 0,65 от периода адсорбции;
- *десорбции* - вытеснение из пор адсорбента поглощенной воды и восстановление его адсорбционной активности. Она начинается, когда температура адсорбента достигнет 200 - 250 °C (для силикагелей) или 300 - 350 °C (для цеолитов). Горячий газ в периоды нагрева и десорбции проходит слой адсорбента в направлении, противоположном направлению осушаемого газа в периоде адсорбции (т. е. снизу вверх);
- *охлаждение адсорбента*, его начинают после завершения десорбции и переключения аппарата на режим адсорбции (осушки). Охлаждение ведут исходным холодным газом. Период охлаждения занимает 0,35 - 0,40 от времени, затрачиваемого на адсорбцию [4].

Методы (Methods)

Расчет процесса адсорбционной осушки газа сводится к определению требуемого для получения осушенного газа объема адсорбента, длительности защитного действия работающего слоя адсорбента (время проскока), потери давления при движении газа через адсорбент [5].

Для проектного расчета процесса осушки адсорбционным способом в качестве исходных данных принимают: давление и температуру осушаемого газа, объем осушаемого газа, продолжительность цикла адсорбции, тип адсорбента (цеолиты).

Для принятой продолжительности цикла адсорбер рассчитывают в следующей последовательности.

1. Конкретизация значений исходных данных.
2. Принимается допустимая линейная скорость газа в адсорбере v_p , м/мин (обычно 2,0-4,0 м/с при атмосферном давлении). Линейную скорость газа при рабочих условиях можно определить из массовой скорости, рассчитываемой по уравнению Леду:

$u_r = (78c p_r p_{ад} D_{ад} g)^{0.5}$, где u_r – массовая скорость газа, кг/см², p_r – плотность газа при рабочих условиях, кг/см³, $D_{ад}$ – средний диаметр гранул адсорбента, м, c – константа ($c = 0,025-0,033$).

$$u_r = (78 \cdot 0,025 \cdot 0,7168 \cdot 600 \cdot 0,03 \cdot 9,8)^{0.5} = 15,69 \text{ [кг/см}^2\text{]}$$

3. Определяют массу воды, извлекаемой из газа на протяжении цикла адсорбции.

$$G_{H_2O} = \frac{V(w_1 - w_2)}{n} = \frac{1,25(9 - 3)}{4} = 1,8 \text{ [кг]}, \text{ где } n \text{ число циклов в сутки.}$$

4. По исходным данным определяют внутренний диаметр адсорбера

$$D = \sqrt{\frac{V}{0.785 v_p}} = \sqrt{\frac{1200}{0.785 \cdot 0,35}}, \text{ где } V \text{ – объем осушаемого газа, } \left[\frac{\text{м}^3}{\text{мин}}\right],$$

D – диаметр адсорбера, [м].

Диаметр аппарата принимается ближайший больший выбор по нормали.

5. Рассчитывают линейную скорость газа в свободном сечении адсорбера при рабочих условиях v_1 .

6. Если полученная скорость не соответствует рекомендуемым пределам, то диаметр аппарата подбирают таким образом, чтобы линейная скорость газа находилась в рекомендуемых пределах.

7. Определяют удельную нагрузку слоя по воде, кг/(чм²).

$$q = \frac{G_{H_2O}}{\tau \cdot 0,785 v_p} = \frac{1,8}{8 \cdot 0,785 \cdot 1,2} = [0,23 \text{ кг/(чм}^2)]$$

8. Рассчитывают длину адсорбционной зоны

$$l_{\text{ад.з.}} = 31,3 \frac{q^{0,7895}}{v^{0,5506} (P/P_s)^{0,2646}} = 31,3 \frac{0,23^{0,7895}}{0,35^{0,5506} (2)^{0,2646}} = 1,8 \text{ [м]}, \text{ где } \left(\frac{P}{P_s}\right) -$$

относительная плотность осушаемого газа, $l_{\text{ад.з.}}$ – длина адсорбционной зоны, м.

9. Равновесную динамическую влагоемкость слоя a_d при работе слоя до проскока рассчитывают по уравнению:

$$a_d = \frac{a_p(H - 0,45 l_{\text{ад.з.}})}{H} = \frac{10(2,7 - 0,45 \cdot 1,8)}{2} = 0,7$$

10. Определяют высоту слоя адсорбента H из условия, что значение соотношения H/D обычно принимается от 2 до 5. При большем соотношении могут возникнуть большие потери давления.

11. Принимают минимально необходимую высоту слоя адсорбента

$$l_{\text{сл}} = \frac{127,4 G_{H_2O}}{p_{\text{ад}} D^2 a_d} = \frac{127,4 \cdot 1,8}{600 \cdot 1,22 \cdot 0,7} = 0,45 \text{ [м}^3], \text{ где } p_{\text{ад}} -$$

средняя плотность адсорбента, кг/м³.

12. Если H меньше $l_{\text{сл}}$, то необходимо перезадаваться значением H и повторить расчет по пп. 9-12.

13. Рассчитывают продолжительность работы слоя до проскока влаги, г

$$\tau_1 = \frac{0,01 a_d p_{\text{ад}} l_{\text{сл}}}{q} = \frac{0,01 \cdot 0,7 \cdot 600 \cdot 0,45}{0,23} = 8,21 \text{ [ч]}$$

14. Если τ_1 значительно отличается от принятой продолжительности цикла адсорбции τ , то повторяют расчет по пп. 2-13, приняв величину цикла несколько меньше полученной в п. 13 величины τ_1 .

15. Потери давления при движении газа через гранулированный адсорбент определяют из выражения

$$\Delta P = \frac{f p_{\Gamma} H v^2}{d_p g \varepsilon^2} = \frac{210 \cdot 0,7168 \cdot 2,7 \cdot 0,35^2}{3,9 \cdot 9,8 \cdot 0,3} = 1,6 \text{ [Па]},$$
 где f – коэффициент трения, p_{Γ} – плотность газа, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ - v – скорость газа, $\frac{\text{м}}{\text{с}}$, d_p – эквивалентный диаметр частиц, м, g – ускорение силы тяжести, $\frac{\text{м}}{\text{с}^2}$, ε – пористость $\text{м}^3/\text{м}^3$ адсорбента.

16. По полученным данным в результате технико-технологических расчетов по пп.1-15, провели сравнение полученной точки росы комплекса АГНКС-5.

Выводы (Conclusions)

В результате проведенных расчетов блока адсорбционной осушки были выбраны оптимальные данные (п.5) и режимы работы адсорбера. Проведен расчет: массовой скорости газа u_{Γ} , массы воды, извлекаемой из газа на протяжении цикла адсорбции G_{H_2O} , внутренний диаметр адсорбера D , линейной скорости газа в свободном сечении адсорбера при рабочих условиях v_1 , удельной нагрузки слоя по воде q , длины адсорбционной зоны $l_{\text{ад.з.}}$, равновесной динамической влагоемкости слоя a_d , высоты слоя адсорбента $l_{\text{сл}}$, продолжительность работы слоя до проскока влаги τ_1 , потери давления при движении газа через гранулированный адсорбент ΔP .

Заключение (Conclusion)

Рассчитанные данные полностью соответствуют оптимальному режиму работы адсорбера. В совокупности позволяют обеспечить непрерывность процесса регенерации и осушки, тем самым снизить энергозатраты.

Список литературы

1. Свеженцев В.С. Повышение эффективности работы автомобильной газовой наполнительной компрессорной станции (АГНКС)/В.С. Свеженцев, С.В. Павлов//Поколение будущего: Взгляд молодых ученых – 2017 – Т. 4 – С.266.

2. Гайнуллин Ф.Г. Природный газ как моторное топливо на транспорте/ Ф.Г. Гайнуллин, А.И. Гриценко, Ю.Н. Васильев, Л.С. Золотаревский//Недра – 1986. – С.256
3. Гриценко А.И. Энергосберегающие технологии и оборудование при транспорте газа и использовании его в качестве моторного топлива/А.И. Гриценко//Аналитический альбом ВНИИГАЗ – 1998 – С. 634
4. <https://studfiles.net/preview/4588192/>
5. Берлин М.А. Переработка нефтяных и природных газов/ М.А. Берлин, В.Г. Гореченков, И.П. Волков//Химия – 1981 – С.274