

УДК 536.4

А. В. Коробейников, студент гр. ТЭМ-161 (КузГТУ)

Научный руководитель А. Р. Богомолов, зав. кафедрой теплоэнергетики
КузГТУ, д.т.н., доцент (КузГТУ)

г. Кемерово

РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ СХЕМЫ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО РАЗДЕЛЕНИЯ ГАЗОВОЙ СМЕСИ

Синтез-газ, получаемый в процессе газификации, в целом, характеризуется постоянным составом рис.1. Однако имеет в своем составе газы, которые негативно влияют на протекание каталитических процессов получения углеводородов разной фракции, а также негативно влияют на стабильность режимных параметров работы различных химических реакторов.

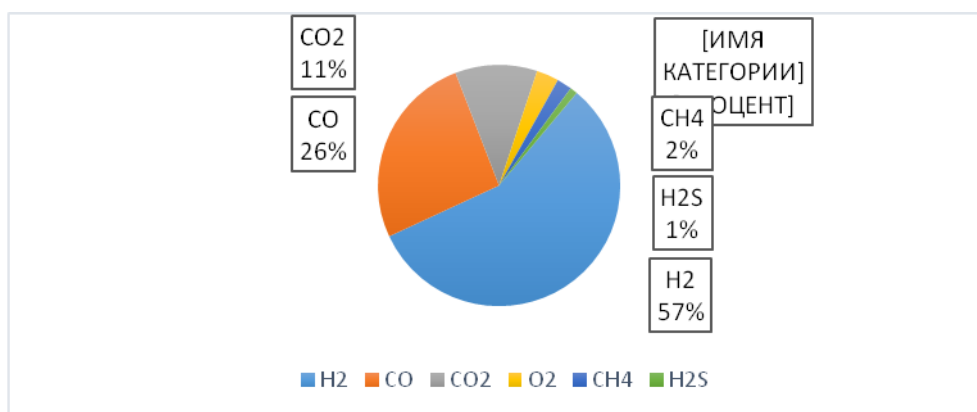


Рис. 1. Характерный состав синтез газа при паровой газификации угля.

Если рассматривать, процесс в реакторе Фишера-Тропша, то большинство катализаторов, в том числе железные, и кобальтовые, крайне чувствительны к отравлению серой. Поэтому синтез-газ должен быть предварительно очищен от серы. Кроме того, достаточно быстрое «отравление» катализатора, которое выражается в сокращении срока его стабильной работы и ухудшению селективности процессов, может быть вызвано содержанием других веществ таких как CO_2 и CH_4 . Стоит также отметить, что катализаторы, как правило, содержат в своем составе различные вещества (например, благородные металлы), которые обладают высокой стоимостью. С другой стороны, при нарушении работы катализатора, вследствие недостаточной очистки газа, направляемого на каталитическую конверсию, нарушаются режимные параметры работы основного технологического оборудования, что в свою очередь приводит к его к преждевремен-

ным остановам и простою. Такие последствия не позволяют достигнуть расчетных технико-экономических показателей работы основного оборудования и обеспечить низкую себестоимость выпускаемой продукции.

В настоящее время на кафедре теплоэнергетики Института энергетики КузГТУ проведены исследования по влиянию режимных параметров и вида сырья на характеристики синтез-газа, получаемого в процессе газификации. Установлены закономерности протекания процесса, влияющие на содержание целевых компонентов синтез-газа – CO и H₂, необходимых для получения синтетических жидких топлив (СЖТ). Так же рассмотрены различные современные подходы по очистке газов, среди которых выявлен наиболее эффективный и целесообразный.

Целью выполнения работы является разработка энергоэффективной схемы для очистки синтез-газа, получаемого в процессе газификации твердого органического топлива. Очистка синтез-газа будет осуществляться методами физического воздействия, выборочной десублимацией компонентов после ступеней охлаждения. Среди извлекаемых компонентов синтез-газа стоит отметить такие как соединения серы SO_x и H₂S, а также диоксид углерода (CO₂), содержание которого достигает 12%. Несмотря на низкую концентрацию соединений серы в составе синтез-газа (до 2%), они представляют наибольшую угрозу, в связи с чем их снижение должно быть обеспечено, по крайней мере, до уровня 2 мг/м³ [1]. Содержание метана (CH₄) до 2% не представляет серьезной опасности, кроме того температура кипения метана ниже –182°C, что потребует больших энергетических затрат. Разработка такой схемы позволит заменить химические способы очистки, более безопасным и менее дорогим физическим способом и будет способствовать развитию научно-исследовательских работ в данной отрасли.

Очищаемый влажный газ – имеет температуру до 50°C и без механических загрязнений. В первую очередь для преодоления последующих перепадов давления – синтез-газ сжимается в компрессоре 1 до 128 кПа [2]. Также, во избежание обледенения аппаратуры, необходимо провести его осушение. Охлаждения в теплообменнике 2 до 280К достаточно, чтобы сконденсировать всю воду [3]. Для отделения влаги планируется использоваться сепаратор 3. Сухой сжатый газ рекуперативно отдаёт теплоту 4, охлаждаясь до 213К, при этой температуре серосодержащие компоненты десублимируются [4]. Очищенный от серы в сепараторе 5 газ поступает в турбодетандер 6, где расширяется и охлаждается до 148К. После этого в циклонном сепараторе 7 твердые частицы CO₂ отделяются от газа [5]. Для отвода теплоты и создания необходимых температур в теплообменных аппаратах, используется цикл хладагента. В качестве хладагента предполагается использовать аммиак (NH₃). С одной стороны, он доступен на рынке, с другой имеет достаточно низкую температуру кипения. Для снижения

энергетических затрат на создание холода будет использоваться охлажденный CO_2 , который будет рекуперативно забирать тепло от хладагента в теплообменном аппарате 8. В процессе дросселирования 9 аммиак адиабатно расширяется и охлаждается, поступает в теплообменник 4, где испаряется, охлаждая сухой газ до температуры десублимации серных соединений. Далее пары хладагента перегреваются в теплообменнике 2, забирая тепло от влажного газа. После чего перегретый аммиак сжимается в компрессоре 10, и конденсируется 11, отдавая теплоту полностью очищенному синтез-газу ($\text{H}_2 + \text{CO}$).

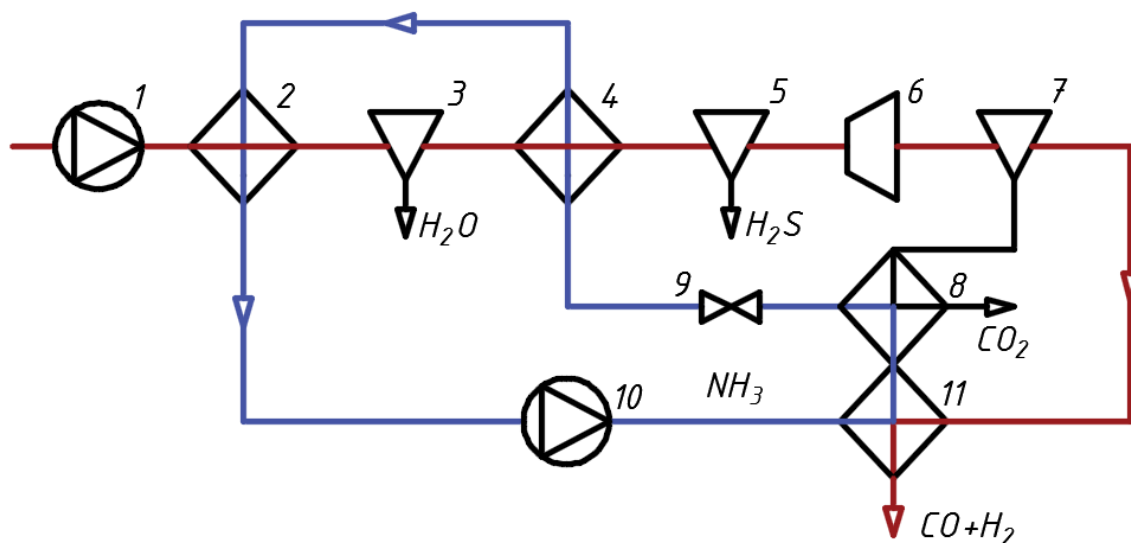


Рис. 2. Принципиальная схема низкотемпературной очистки синтез-газа.

Для работы с температурами до 120 – 130K предполагается использовать сталь X18H10T как для теплообменников, так соединительных элементов. Для теплоизоляции может быть использован синтетический каучук, который не содержит хлориды и бромиды – коэффициент теплопроводности $\sim 0,036 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$, диапазон рабочих температур 73...376K [6].

Предложенная схема очистки синтез-газа отличается низкими эксплуатационными и энергетическими затратами по сравнению с остальными современными подходами и имеет следующие преимущества:

1. Этот процесс не требует энергии кроме той, что требуется на изменение фазового состояния и процесса разделения;
2. Отсутствие дорогостоящих растворителей (поглотителей), которые подвергаются воздействиям нагрева и охлаждения (или в некоторых случаях, повышения, понижения давления) для регенерации;
3. При давлении 1 атм. и температуре -135°C процесс низкотемпературного охлаждения позволяет отделить до 99% CO_2 . Большинство альтернативных процессов не могут достичь такой чистоты при разумных условиях;

4. В зависимости от требований к чистоте, есть возможность улавливания остальных компонентов газа;
5. Оборудование для данной схемы является вполне доступным и относительно недорогим если сравнивать с другими технологиями очистки.

Данный подход по очистке газов на примере разработанной схемы найдет применение в химическом производстве в широком спектре процессов. Возможно его применение на угольных электростанциях в качестве эффективной и низкзатратной очистки дымовых газов. Очищенный газ, является сырьем для процесса Фишера-Тропша (преимущественно), в результате которого получают углеводороды разных фракций, используемые в качестве синтетического масла или синтетического жидкого топлива. Жидкие углеводороды используются как горючее для двигателей внутреннего сгорания. Так же может использоваться в качестве топлива для получения тепла. Выделенные серные соединения могут использоваться в медицине, в органическом синтезе. Диоксид углерода применяется в пищевой промышленности, в пожаротушении, в топливодобывающей промышленности. Твёрдая углекислота — «сухой лёд» — используется в качестве хладагента в лабораторных исследованиях, в розничной торговле, при ремонте оборудования.

Список литературы:

1. Сторч Г., Голамбик Н., Голамбик Р. Синтез углеводородов из окиси углерода и водорода. - М.: И.Л., 1954. - С. 257.
2. Mark J., Christopher S., Bergeson D. Prediction and validation of external cooling loop cryogenic carbon capture (CCC-ECL) for full-scale coal-fired power plant retrofit/ J. Mark// International Journal of Greenhouse Gas Control. – 2015. – №42. – p. 200–212.
3. Baxter L., Baxter A., Burt S. Cryogenic CO₂ Capture as a Cost-Effective CO₂ Capture Process/ L. Baxter// Sustainable Energy Solutions, Orem, UT 84058.
4. Leung D., Caramanna G. An overview of current status of carbon dioxide capture and storage technologies/ D. Leung // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2014. – №39. – p. 426–443.
5. Burt S., Baxter A., Bence C., Baxter L. Cryogenic CO₂ capture for improved efficiency at reduced cost/ S. Burt// Proceedings of the AIChE annual meeting. – 2010. – November 7–12.
6. Теплоизоляция для объектов с повышенными требованиями по экологической безопасности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://rusholding.ru/catalog/tehnicheskaya-izolya/teplovaya-izolyac>.