

УДК 665.6/.7

**ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ
УСТАНОВКИ ПО РЕГЕНЕРАЦИИ МЕТАНОЛА НА ПОДЗЕМНОМ
ХРАНИЛИЩЕ ГАЗА**

Киньшина В.М.

студент,

*Балтийский Федеральный Университет имени И. Канта (БФУ им. И. Канта)
Россия, Калининград¹*

Кузакова А.В.

студент,

*Балтийский Федеральный Университет имени И. Канта (БФУ им. И. Канта)
Россия, Калининград*

Аннотация

В данной статье рассматривается комплекс вопросов, связанных с повышением качества технического обслуживания установки регенерации метанола на подземном хранилище газа. Охарактеризована важность бесперебойной работы данной установки для обеспечения надежности всего объекта. Проанализированы устройство и принцип действия метанольной установки, основанный на процессе ректификации. Выявлены специфика обслуживания установки и основные потенциальные отказы в ее работе, такие как коррозия, солеотложения и нарушения технологического режима. В работе определены ключевые подходы к повышению качества обслуживания и обеспечению надежности установки, включая внедрение систем ППР и прогнозного

¹ Научный руководитель: Щербань Павел Сергеевич, к.т.н., доцент ОНК Института высоких технологий БФУ им. И. Канта, Калининград, Россия
Shcherban P.S., PhD in Technical Science, Associate Professor, Institute of High Technologies,
I. Kant Baltic Federal University (IKBFU), Kaliningrad, Russia

мониторинга. Изучены аспекты нормативного регулирования данной деятельности для обеспечения промышленной безопасности.

Ключевые слова: нефтегазовая отрасль, подземное хранилище газа (ПХГ), установка регенерации метанола (УРМ), техническое обслуживание и ремонт, ректификационная колонна.

***IMPROVEMENT OF QUALITY OF MAINTENANCE OF METHANOL
RECOVERY UNIT AT UNDERGROUND GAS STORAGE***

Kinshina V.M.

student,

I. Kant Baltic Federal University (IKBFU)

Russia, Kaliningrad

Kuzakova A.V.

student,

I. Kant Baltic Federal University (IKBFU)

Russia, Kaliningrad

Abstract

This article discusses a number of issues related to improving the quality of maintenance of the methanol recovery unit at the underground gas storage facility. The importance of uninterrupted operation of this installation to ensure the reliability of the entire facility is described. Device and operating principle of methanol plant based on rectification process are analyzed. The specifics of the plant maintenance and the main potential failures in its operation, such as corrosion, scaling and disturbances of the process mode, were identified. The paper identifies key approaches to improving the quality of service and ensuring the reliability of the plant, including the introduction of preventive maintenance and predictive monitoring systems. Aspects of regulatory regulation of this activity to ensure industrial safety have been studied.

Keywords: oil and gas industry, underground gas storage (UGS), methanol recovery system, maintenance and repair, fractionating column

Введение.

В современных условиях эксплуатации подземных хранилищ газа (ПХГ) особое внимание уделяется бесперебойности работы, объёмам отбора ресурса и экологической безопасности, а также экономической эффективности технологических процессов. Важным элементом в цепочке подготовки и хранения газа является установка регенерации метанола (УРМ), предназначенная для осушки и очистки ингибитора гидратообразования с целью его повторного использования.

Установка регенерации метанола (УРМ) является ключевым элементом технологических процессов в газовой, нефтехимической и газоперерабатывающей отраслях. Метанол широко применяется как ингибитор гидратообразования при добыче и транспортировке природного газа. В процессе эксплуатации метанол насыщается водой, углеводородами и солями, что снижает его эффективность. Регенерация позволяет восстановить свойства метанола путем удаления примесей, обеспечивая его многократное использование и минимизацию затрат. УРМ помогает минимизировать эксплуатационные расходы на закупку свежего метанола и снизить техногенную нагрузку на окружающую среду. [1,8]

Анализ устройства и принципа работы метанольной установки.

На объектах подготовки и хранения газа (УКПГ, СПХГ) традиционно применяются ректификационные установки блочно-модульного исполнения (рис. 1). Их стандартная комплектация включает: ёмкости для отработанного и регенерированного метанола, насосы, теплообменники подогрева, ректификационную колонну с кипятильником и конденсатором-холодильником, сепаратор кубового остатка и комплекс КИПиА.

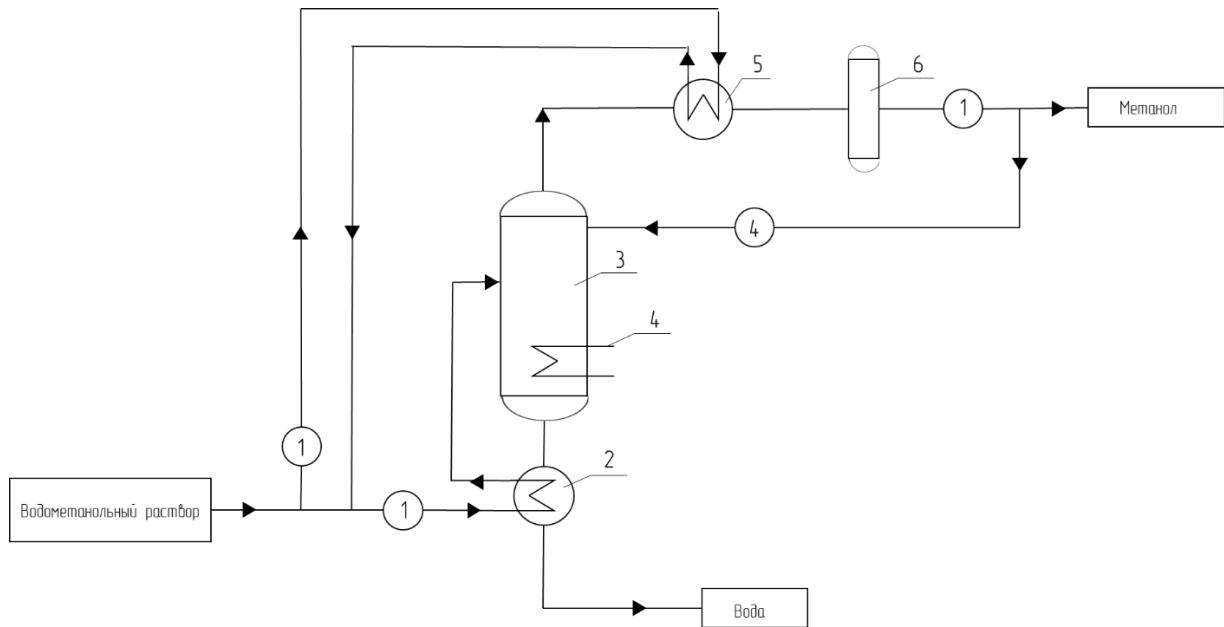


Рисунок 1. Типовая схема установки регенерации метанола²

1 – насосы; 2 – теплообменник; 3 – ректификационная колонна; 4 – паровой подогреватель; 5 – конденсатор-холодильник; 6 – промежуточная емкость.

Разделение водо-метанольного раствора (ВМР) основано на гравитационном принципе в колонных аппаратах. В процессе ректификации на контактных устройствах (тарелках или насадке) происходит многократный тепло- и массообмен между поднимающимся паром и стекающей жидкостью, что позволяет получить сверху пары концентрированного метанола, а внизу отделить воду и тяжёлые примеси.

Недостатками классических колонн являются их большие габариты, высокая металлоёмкость, значительные капитальные и эксплуатационные затраты, а также склонность к загрязнению, требующему частые остановки на чистку и ремонт.

Альтернативой служат современные центробежные ректификационные установки. В них сила гравитации заменена центробежной силой, создаваемой вращающимся ротором с насадкой. Водо-метанольный раствор подаётся в центр ротора и под действием центробежной силы отбрасывается к периферии,

² Авторская разработка [5]

взаимодействуя с противотоком пара. Это обеспечивает интенсивный массообмен на динамически обновляемой поверхности.

Ключевые преимущества центробежной технологии:

1. Значительно меньшие габариты и металлоёмкость ведут к снижению стоимости.
2. Высокая эффективность.
3. Надёжность и низкие эксплуатационные затраты: (Конструкция является самоочищающейся, не имеет узлов, требующих регулярного обслуживания в процессе работы, а замена уплотнений не требует полной разборки).

Основным недостатком центробежных установок является потребление электроэнергии приводным двигателем и необходимость обеспечения виброустойчивости конструкции. [2,4]

Специфика обслуживания установки и потенциальные отказы в ее работе.

Особенность технического обслуживания УРМ обусловлена агрессивностью метанола, образованием отложений, высокими температурами и давлениями. [3]

В установке регенерации метанола существует ряд слабых мест, которые в процессе работы оборудования быстрее загрязняются или изнашиваются, что зачастую приводит к нежелательным выбросам или утечкам (табл. 1).

Таблица 1. Типовые отказы в установке регенерации метанола

№	Слабое место	Причина	Последствия
1	Коррозия теплообменников и колонны	Наличие солей, СО ₂ , Н ₂ S в отработанном метаноле	Утечки, снижение КПД
2	Засорение тарелок/насадки	Отложения солей, полимеризация примесей	Падение эффективности разделения, рост давления
3	Износ уплотнений насосов	Абразивные частицы, кавитация	Утечки метанола, пожароопасность
4	Отказ КИПиА (датчики уровня, температуры)	Агрессивная среда, вибрация	Ложные срабатывания, аварийные остановы

5	Перегрев кипятильника	Недостаточный расход флегмы	Разложение метанола, образование смол
6	Накопление легких УВ в кубе	Недостаточная сепарация	Взрывоопасность
7	Нестабильная работа флегмового насоса	Кавитация из-за перепада температур или неверного уровня в колонне, износ.	Колебания флегмового числа, нарушение теплового баланса колонны, ухудшение разделения.
8	Забивание линий отбора кубового остатка	Полимеризация тяжелых примесей, кристаллизация солей при охлаждении.	Снижение или прекращение отбора остатка, рост давления в кубе колонны, риск аварийной остановки.
9	Неэффективная работа конденсатора-холодильника	Образование отложений на трубках (соли, продукты разложения), зарастание.	Неполная конденсация паров, потеря метанола с неконденсируемыми газами, перегрев верха колонны.

Коррозия теплообменников и колонны является одной из основных проблем. Присутствие в сырье коррозионно-активных агентов (CO_2 , H_2S) приводит к механическому износу и химическому разрушению основного металла аппаратов. Это создает долгосрочную и нарастающую угрозу целостности установки, ведущую к постоянным потерям эффективности и риску внезапных аварийных утечек.

Засорение тарелок и насадок происходит из-за отложений солей и полимеров, которые физически сужают проходные сечения, что нарушает гидродинамику потока. В результате страдает главная функция колонны – разделение фаз, что проявляется в падении качества продукта и росте энергозатрат на преодоление возросшего гидравлического сопротивления.

Износ уплотнений насосов часто вызван вторичными факторами: абразивными частицами (теми же солями или продуктами коррозии) и кавитацией, которая сама может быть следствием неправильной гидравлики. Утечки в этом случае приводят к прямой потере дорогостоящего и опасного

продукта и созданию постоянной пожароопасной обстановки вокруг оборудования.

Отказ КИПиА из-за агрессивной среды делает управление процессом слепым. Ложные показания или отказы датчиков уровня и температуры способны спровоцировать цепочку неверных решений, ведущих к аварийным остановкам, либо скрыть развитие реальной аварийной ситуации.

Перегрев кипятильника происходит из-за нарушения теплового баланса, в частности, из-за недостаточного количества флегмы (орошения), возвращаемой в колонну. Флегма, стекая вниз по колонне, охлаждает её. При её недостатке температура в нижней части колонны (в кубе) неконтролируемо растет, что может привести к термическому разложению (кrekингу) метанола и тяжелых углеводородов. Продуктами этого разложения являются труднополимеризующиеся смолы, которые интенсивно загрязняют кипятильник и нижние тарелки колонны, усугубляя проблему засорения. Это приводит к необратимой потере продукта, ухудшению его качества и необходимости сложной и дорогостоящей химической очистке.

Накопление легких углеводородов (УВ) в кубе колонны указывает на фундаментальный сбой в работе колонны как аппарата для разделения смесей. Легкие углеводороды, которые должны быть отогнаны с верха колонны, по каким-то причинам скапливаются в ее нижней части (кубе).

Обычно это связано с недостаточной сепарацией на входе в колонну (например, неэффективной работой дегазатора) или с недостатком флегмы, когда порция орошения недостаточна для того, чтобы "задержать" легкие фракции в верхней части колонны.

Накопление легких УВ (таких как пропан, бутан) в кубе, где постоянно присутствует источник тепла (кипятильник), создает прямую угрозу взрыва. Эти углеводороды имеют низкую температуру вспышки, и их пары могут образовать взрывоопасную концентрацию в свободном объеме аппарата. При наличии

источника зажигания (например, искры от статического электричества) возможна катастрофа.

Нестабильная работа флегмового насоса напрямую дестабилизирует весь процесс, так как флегмовое число – главный регулируемый параметр разделения. Его колебания делают колонну неспособной выйти на стабильный режим, вызывая волнообразные нарушения по всей высоте аппарата.

Забивание линий отбора кубового остатка блокирует естественный вывод тяжелых примесей из системы. Это приводит к их накоплению и концентрации в кубе, что повышает давление, ускоряет процессы полимеризации и в пределе может привести к механическому разрушению нижней части колонны.

Неэффективная работа конденсатора-холодильника нарушает материальный баланс. Несконденсированные пары метанола – это прямые производственные потери. Кроме того, возврат в колонну недостаточно охлажденного флегматического потока вносит дисбаланс в теплообмен и ухудшает условия конденсации на верхних тарелках.

Вышеупомянутые проблемы взаимосвязаны и образуют сеть взаимосвязанных причинно-следственных связей: коррозия и разложение порождают отложения, которые вызывают износ и забивание, что, в свою очередь, ведет к нарушению режимов, создающему условия для новой коррозии и разложения. Управление таким процессом требует комплексного подхода, направленного не только на борьбу со следствиями, но и на глубокую очистку исходного сырья и строгий контроль технологических параметров. [6,7]

Деятельность по обслуживанию УРМ регламентируется комплексом федеральных законов, постановлений Правительства РФ, ведомственных инструкций и технических норм. Эти документы охватывают вопросы безопасности, обращения с опасными веществами, технологических процессов, охраны труда и экологического контроля

Регламентируется комплексом федеральных законов, постановлений Правительства РФ, ведомственных инструкций и технических норм. Эти

документы охватывают вопросы безопасности, обращения с опасными веществами, технологических процессов, охраны труда и экологического контроля. Приведем некоторые из них:

- Федеральный закон «О государственном регулировании оборота метанола и метанолсодержащих жидкостей» от 23.05.2025 № 108-ФЗ (регулирует производство, хранение, транспортировку, использование и регенерацию метанола; устанавливает требования к включению в реестр Минпромторга).
- Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21.07.1997 № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» (определяет требования к эксплуатации УМР как объекта повышенной опасности, включая аттестацию персонала, экспертизу промышленной безопасности и контроль за оборудованием).
- Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды»
- Регламентирует выбросы и сбросы при регенерации, включая нормирование потерь метанола (например, от испарения).
- ВРД 39-1.13-051-2001 «Инструкция по нормированию расхода и расчету выбросов метанола для объектов ОАО "Газпром"».
- ВРД 39-1.4-037-90 «Инструкция по проектированию систем регенерации метанола на газопромысловых объектах» (ПАО "Газпром").
- ГОСТ 31371-2008 «Метанол технический. Технические условия». (устанавливает требования к качеству метанола для регенерации, включая примеси и безопасность хранения).
- РД 153-39.4-113-01 «Общие положения по охране труда при эксплуатации оборудования химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств».

Подходы по повышению качества обслуживания и обеспечению надежности установки.

Повышение качества технического обслуживания УРМ требует системного подхода, сочетающего современные технологии, организационные меры и строгое соблюдение нормативной базы.

На основе проведенного анализа слабых мест установки, можно предложить следующие подходы к повышению качества обслуживания и надежности:

1. Внедрение стратегии прогнозного (предиктивного) обслуживания.

В этом случае необходим регулярный химический анализ сырья и кубового остатка для отслеживания концентрации солей, кислотных компонентов (CO_2 , H_2S) и признаков термического разложения; установка онлайн-датчиков коррозии (коррозионные кольца или микродатчики) в наиболее уязвимых узлах (кипятильник, линии подачи сырья) позволит оценивать скорость деградации металла в реальном времени; а также мониторинг вибрации насосов и анализ спектра их работы поможет выявить кавитацию и износ подшипников на ранней стадии, предотвращая катастрофический отказ уплотнений.

График обслуживания должен определяться не только временными интервалами, но и фактическим состоянием оборудования. Например, промывка теплообменников и колонны планироваться по данным роста гидравлического сопротивления (признак засорения) и анализа отложений. Ревизия тарелок и насадки проводится при фиксации устойчивого падения эффективности разделения. Техобслуживание КИПиА включает не только поверку, но и проверку стойкости материалов датчиков к среде, а также надежность их крепления для защиты от вибрации.

2. Модернизация материалов и конструкций.

Для борьбы с коррозией и износом необходимо применение стойких материалов в критических точках: уплотнителей насосов из спецполимеров, тарелок или насадки из нержавеющих сталей, а в зонах максимальной

агрессивности использование защитных покрытий или биметаллических конструкций. Для линий отбора кубового остатка и конденсаторов можно внедрить системы терmostатирования или конструкции, минимизирующих зоны застоя и резкого охлаждения.

3. Разработка и отработка регламентных процедур.

Надежность обеспечивается четкими инструкциями, которые учитывают выявленные риски. Это регламенты на периодическую продувку колонны для удаления легких УВ, процедуры безопасной очистки линий от солей и полимеров, а также алгоритмы действий оператора при первых признаках нестабильности (падение КПД рост давления). Обязательным элементом является ведение электронного журнала отказов, который позволяет выявлять повторяющиеся проблемы и корректировать как регламенты обслуживания, так и саму технологическую схему.

Внедрения подобных подходов позволит управлять жизненным циклом оборудования, где каждый риск контролируется, а большая часть отказов предотвращается до их возникновения. [2,8]

Заключение.

Установка регенерации метанола – это жизненно важный элемент технологической цепи подземного хранилища газа, от надежности которого зависит устойчивость всего объекта. Ее работа сопряжена с рисками коррозии, загрязнения и технологических сбоев.

Повышение качества технического обслуживания УРМ невозможно без комплексного подхода. Реализация предложенных в работе мер позволит значительно повысить надежность, безопасность и экономическую эффективность эксплуатации установки регенерации метанола, что в конечном итоге будет способствовать бесперебойной работе всего подземного хранилища газа.

Библиографический список

1. J. E. Paez; R. Blok; H. Vaziri; M. R. Islam Problems in Hydrates: Mechanisms and Elimination Methods // SPE Production and Operations Symposium. - Oklahoma City, Oklahoma: 2001
2. P. Elumalai; H. Kumar; C. Salunkhe; J. E. Ong; S. Nandeeswaran Novel Process for the Separation and Regeneration of Methanol from Hydrocarbon Condensate on an FPSO // International Petroleum Technology Conference. - Dhahran, Saudi Arabia: 2024
3. Terry Fitzpatrick Methanol Production Technology // 18th World Petroleum Congress. - Johannesburg, South Africa: 2005
4. Костюк С. В. О возможности использования центробежного ректификационного аппарата для регенерации метанола / С. В. Костюк, А. В. Рязанов, А. К. Апарин. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2016. — № 10 (114). — С. 246-249. — URL: <https://moluch.ru/archive/114/29661>. (дата обращения: 15.11.2025).
5. Колчин А.В., Коробков Г.Е., Янчушка А.П., Ямалетдинова К.Ш. Повышение эффективности использования метанола в магистральной системе транспорта газа на этапе подготовки // Успехи современного естествознания. 2018. № 1. С. 102-108; URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=36658> (дата обращения: 17.11.2025).
6. Регенерация водометанольного раствора в массообменном аппарате конструкции ФАСТ ИНЖИНИРИНГ® // ООО "ФАСТ ИНЖИНИРИНГ" URL: <https://fe1.ru/ustanovka-podgotovki-nefti> (дата обращения: 17.11.2025).
7. Хуснутдинов, И. Ш. Основные технические решения по организации технологического процесса Установки регенерации метанола УКПГ-1В Ямбургского месторождения / И. Ш. Хуснутдинов, Р. А. Махмутов. — Текст : непосредственный // Современные тенденции технических наук : материалы VI Междунар. науч. конф. (г. Казань, май 2018 г.). — Казань : Молодой ученый,

2018. — С. 25-27. — URL: <https://moluch.ru/conf/tech/archive/300/14209>. (дата обращения: 17.11.2025).

8. Щербань, П. С. Проблема обеспечения энергобезопасности Калининградской области и развитие ее газотранспортной системы / П. С. Щербань, Е. А. Латышева, А. В. Хованский // Научно-технические проблемы совершенствования и развития систем газоэнерgosнабжения. – 2019. – № 1. – С. 8-17. – EDN ZSICXZ.