

# РАЗРАБОТКА ТРЕНАЖЕРА ОПЕРАТОРА ДОЖИМНОЙ КОМПРЕССОРНОЙ СТАНЦИИ УСТАНОВКИ ПОДГОТОВКИ ГАЗА В ПРОГРАММНОМ ПРОДУКТЕ «РТСИМ»

*Заречнева Е.Д.<sup>1</sup>, Зебзеев А.Г.<sup>2</sup>, Шумейко А.О.<sup>3</sup>*

*<sup>1</sup>Томский политехнический университет, ИШИТР, студент гр. 8Т11, e-mail: edz2@tpu.ru*

*АО «ТомскНИПИнефть», Отдел ТОГО, Техник*

*<sup>2</sup>Томский политехнический университет, ИШИТР, доцент ОАР, e-mail: ZebzeevAG@tomsknpi.ru*

*АО «ТомскНИПИнефть», Экспертная группа, Главный эксперт по цифровизации*

*<sup>3</sup>АО «ТомскНИПИнефть», Отдел ТОГО, Главный специалист, e-mail:*

*ShumeikoAO@tomsknpi.ru*

## **Аннотация**

Разработан тренажер для оператора дожимной компрессорной станции (ДКС) с установкой подготовки газа (УПГ), предназначенный для отработки навыков управления технологическим процессом. Модель охватывает сепараторы-пробкоуловители и первую ступень компрессорной станции. Реализована система противоаварийной защиты (ПАЗ) для моделирования и отработки действий в аварийных ситуациях в реальном времени. В дальнейшем планируется расширить тренажер на весь технологический объект.

**Ключевые слова:** тренажер, дожимная компрессорная станция, установка подготовки газа, РТСИМ, моделирование, технологический процесс, оператор.

## **Введение**

Тренажеры для операторов – это специализированные устройства или программные комплексы, предназначенные для обучения управлению сложным технологическим оборудованием в условиях, максимально приближенных к реальным. Они позволяют операторам отрабатывать алгоритмы работы, реагировать на нестандартные ситуации и повышать эффективность управления системами без риска для оборудования и окружающей среды.

Актуальность разработки тренажера для операторов ДКС с УПГ обусловлена необходимостью повышения уровня безопасности и эффективности работы в нефтегазовой отрасли. Высокий риск на ДКС связан с работой в условиях высокого давления и высоких температур, а также транспортировкой газа. Эти факторы создают повышенную вероятность аварийных ситуаций. Ошибки в управлении оборудованием могут привести к утечкам газа, повреждению оборудования, нарушению технологического процесса и значительным экономическим, экологическим и человеческим потерям. Внедрение тренажера позволит минимизировать эти риски за счёт обучения операторов правильным действиям в критических ситуациях.

Тренажер позволяет провести тренировки с отработкой персоналом способности правильно реагировать на нестандартные ситуации, безошибочно определять пути выхода из любых сложившихся условий, возникающих на производстве [1]. Операторы получают возможность отрабатывать алгоритмы действий при отклонении параметров от нормы, отказах оборудования и утечках газа. Это повышает устойчивость к стрессу, скорость реакции и точность принятия решений в реальных условиях.

Цель данной работы – разработка тренажера для оператора ДКС с УПГ на базе программного комплекса РТСИМ. В рамках работы планируется создание динамической модели технологического процесса, охватывающей ключевые элементы станции, и реализация системы противоаварийной защиты (ПАЗ), позволяющей моделировать аварийные ситуации и отрабатывать действия операторов в реальном времени. Внедрение тренажера позволит повысить профессиональную подготовку операторов, снизить риск аварийных ситуаций и повысить безопасность эксплуатации оборудования.

## **Тренажёры для операторов: назначение, виды и роль в профессиональной подготовке**

Тренажёры для операторов – это специальные устройства или программы для обучения и тренировки операторов различного оборудования и систем управления. Они создают условия, максимально приближённые к реальным, чтобы операторы могли отрабатывать навыки управления, реагировать на внештатные ситуации и повышать эффективность работы. Основная цель таких тренажёров – обеспечить безопасное обучение без риска для здоровья людей и повреждения оборудования. Они позволяют операторам изучать алгоритмы работы, отрабатывать действия в аварийных ситуациях, повышая скорость принятия решений.

Тренажёры для операторов используются в самых разных сферах. В промышленности это симуляторы для операторов станков с числовым программным управлением (ЧПУ), сварочных аппаратов и других видов оборудования. Они помогают повысить профессиональный уровень оперативного и технологического персонала отрасли, дать необходимый практический опыт – отрабатывать базовые навыки работы с системой управления и навыки действий в аварийных ситуациях без риска повлиять на ход реального технологического процесса и не прибегая к экспериментам на реальных объектах [2]. В транспортной сфере широко применяются симуляторы для водителей автомобилей, машинистов поездов и пилотов. Авиасимуляторы, например, позволяют пилотам отрабатывать взлёт, посадку, полёт в сложных погодных условиях и действия в случае отказа систем. Железнодорожные симуляторы помогают машинистам тренировать управление составом, реагировать на сигналы и работать в условиях ограниченной видимости.

В энергетике тренажёры используются для подготовки операторов атомных, тепловых и гидроэлектростанций. Они моделируют работу сложных энергосистем, помогая операторам осваивать управление мощностью, реагировать на перебои в подаче энергии и устранять неисправности и т. д. Военные тренажёры предназначены для обучения управлению танками, бронетранспортёрами, артиллерией и ракетными системами, моделируя реальные боевые условия. В морской сфере тренажёры используются для подготовки капитанов и навигаторов судов, позволяя им тренировать управление в сложных погодных условиях, в узких проходах и при отказе систем управления. Также существуют тренажёры для операторов беспилотных аппаратов, которые позволяют тренировать управление при сбоях навигации или потери связи.

Преимущества тренажёров для операторов очевидны. Мировая практика внедрения тренажерных комплексов свидетельствует о том, что при постоянном проведении обучения персонала на компьютерных тренажерных комплексах (КТК), значительно уменьшается вероятность допущения ошибок операторами, что способствует комплексному увеличению безопасности объекта, увеличивает эффективность производства и, как следствие, повышает рентабельность предприятия в целом [3]. Операторы получают возможность многократно отрабатывать действия в разных сценариях, повышая уверенность и скорость реакции.

### **Основные этапы работы тренажера**

Работа тренажера включает несколько ключевых этапов, направленных на формирование у оператора навыков управления технологическим процессом и принятия решений в штатных и аварийных ситуациях.

Перед началом работы оператор проходит этап подготовки, в ходе которого он знакомится с технологической схемой и регламентными параметрами работы оборудования. На этом этапе тренажер предоставляет доступ к виртуальной схеме установки, на которой отображаются все основные элементы системы: трубопроводы, насосы, компрессоры, клапаны, контрольно-измерительные приборы и системы сигнализации. Оператор изучает характеристики системы, допустимые значения параметров и схемы работы оборудования в различных режимах. Тренажер использует все проектные параметры процесса, обеспечивая точное моделирование работы оборудования с учетом внешних факторов. Благодаря этому, оператор может управлять процессом с помощью клапанов и другого оборудования, реагируя на изменения в технологическом процессе в реальном времени.

После запуска модели оператор начинает управлять технологическим процессом с помощью удобного интерфейса. Интерфейс тренажера включает в себя панель управления, позволяющую регулировать параметры работы оборудования (давление, температура, расход), и графическую схему, которая в реальном времени отображает состояние системы, положение клапанов, скорость потока, уровень жидкости и другие рабочие параметры. Система сигнализации предупреждает оператора о выходе параметров за допустимые значения или о возможных неисправностях оборудования. Оператор может выбирать между автоматическим контролем работы системы или ручной настройкой параметров. Во время управления процессом оператор отслеживает поведение динамической модели системы, где могут изменяться различные входные параметры, соответствующие реальным изменениям, возможным на производстве. Оператор корректирует параметры в зависимости от изменения этих данных и предотвращает отклонения от нормального режима работы. Например, при повышении давления в системе оператор может вручную открыть перепускной клапан, чтобы избежать аварийной ситуации.

Тренажер включает в себя различные сценарии работы, которые помогают оператору отрабатывать действия как в нормальных, так и в аварийных ситуациях. Сценарии могут включать штатную работу, в которой оператор управляет системой в стандартных условиях, отклонения от нормы, при которых моделируются ситуации с выходом параметров за допустимые значения (например, повышение давления, падение температуры, отказ насоса), и аварийные ситуации, в ходе которых оператор отрабатывает действия при возникновении утечек газа, разрушении трубопровода или отказе клапана. Также могут моделироваться переходные режимы, связанные с пусками и остановками оборудования. Например, при моделировании утечки газа оператору необходимо быстро обнаружить проблему по сигналам тревоги, принять меры для остановки утечки (например, закрыть аварийный клапан) и стабилизировать параметры системы. В ходе выполнения сценариев система фиксирует действия оператора, оценивая скорость реакции, правильность принятых решений и соответствие действий установленным нормам.

После завершения тренировочного сеанса тренажер автоматически анализирует действия оператора и формирует подробный отчет о результатах работы. В отчете отображаются время реакции оператора на отклонение от нормы, точность выполнения задач в соответствии с установленными технологическими нормами, ошибки и отклонения, приведшие к неправильной работе оборудования или возникновению потенциальной аварийной ситуации, а также рекомендации по улучшению навыков и устранению ошибок.

### **Описание программного продукта «РТСИМ»**

Для реализации тренажера был выбран программный комплекс РТСИМ, который обладает широкими возможностями по моделированию технологических процессов в реальном времени. РТСИМ позволяет точно воспроизводить поведение реальных систем, что делает его незаменимым инструментом для разработки тренажеров операторов, таких как тренажеры для дожимных компрессорных станций (ДКС). Рассмотрим подробнее основные возможности и преимущества данного программного продукта.

РТСИМ – это современный российский программный комплекс, широко применяемый в различных отраслях промышленности, включая нефтегазовую [4]. Его главное преимущество заключается в возможности точного воспроизведения поведения реальных систем и в адаптации под конкретные объекты. Программа позволяет моделировать технологические процессы, учитывая характеристики каждого оборудования, что делает её незаменимым инструментом для создания тренажеров, максимально приближенных к реальным условиям эксплуатации.

Программа поддерживает моделирование сложных процессов, включая газодинамику, тепловые процессы, механическую работу оборудования и электрические системы. Одним из ключевых преимуществ РТСИМ является возможность адаптации под реальные объекты:

технологические схемы, параметры оборудования и взаимодействие компонентов настраиваются в соответствии с характеристиками конкретной станции. Это позволяет создавать модели, максимально соответствующие реальным условиям эксплуатации.

Одной из уникальных возможностей программы является создание сценариев нештатных ситуаций. Это включает в себя моделирование аварий, таких как утечки газа, отказ оборудования или отключение систем управления. Такие сценарии позволяют операторам вырабатывать устойчивость к стрессу и обучаться правильным действиям в критических условиях.

### **Описание технологического процесса**

Для успешной работы тренажёра и достоверного моделирования поведения оборудования в разных режимах необходимо детально учитывать специфику технологического процесса. Рассмотрим схему работы дожимной компрессорной станции (ДКС) с установкой подготовки газа (УПГ) и ключевые этапы обработки и транспортировки газа.

Описание технологической схемы работы дожимной компрессорной станции (ДКС) с установкой подготовки газа (УПГ) [5]. Процесс начинается с того, что природный газ поступает на узел подключения. Газ направляется на первую технологическую площадку, где он проходит через сепараторы-пробкоуловители. Сепараторы-пробкоуловители – это оборудования, предназначенные для предотвращения попадания крупных механических загрязнений, таких как песок, ржавчина и другие твердые частицы, которые могут вызвать повреждения оборудования, включая компрессоры и клапаны. Они также обеспечивают удаление жидких примесей, таких как конденсат и вода, что способствует защите дальнейшего оборудования и поддержанию его эффективной работы. Сепараторы-пробкоуловители обеспечивают более высокое качество газа, исключая попадание вредных загрязняющих веществ, которые могут нарушить процесс сжатия и транспортировки газа.

Далее предварительно отсепарированный газ поступает на компрессорную станцию, оснащенную газокomppressorными агрегатами (ГКА). Эти агрегаты включают центробежные компрессоры с газотурбинным приводом, которые обеспечивают сжатие газа до требуемого давления для дальнейшей подготовки газа. В процессе сжатия газа происходит повышение его температуры. Это связано с тем, что при сжатии газа молекулы газа сталкиваются друг с другом, что приводит к увеличению внутренней энергии и, соответственно, к повышению температуры газа.

Для предотвращения перегрева и обеспечения стабильности работы компрессоров, используется система охлаждения, представлена аппаратами воздушного охлаждения (АВО). Охлаждение газа необходимо для того, чтобы поддерживать оптимальные температурные параметры и не допустить повреждения оборудования, а также чтобы уменьшить износ рабочих компонентов компрессора [4]. В многоступенчатых компрессорных машинах охлаждение особенно важно, так как каждый этап сжатия может приводить к дальнейшему увеличению температуры, и без эффективного охлаждения это может привести к перегреву и снижению эффективности работы.

Давление в приемном коллекторе компрессоров регулируется с помощью пневмоприводных клапанов, что позволяет избежать избыточного давления и поддерживать стабильность работы оборудования. Излишки газа в случае превышения проектных параметров направляются на факел высокого давления, где они безопасно утилизируются.

Для обеспечения работы газокomppressorных агрегатов используется как топливный, так и уплотнительный газ, который проходит через установки подготовки газа (УПТУГ). Установки гарантируют подачу газа, соответствующего требованиям по чистоте и температуре, которая не превышает +40 °С. Это необходимо для эффективной работы как систем газодинамических уплотнений, предотвращающих утечку газа из компрессоров, так и для стабильного функционирования топливных систем, обеспечивающих работу газотурбинных приводов компрессоров.

## Разработка динамической модели в программном продукте «РТСИМ»

На данном этапе работы была создана динамическая модель, охватывающая два ключевых элемента технологического процесса: сепараторы-пробкоуловители и первую ступень компримирования. Эти модели позволяют воспроизводить процессы, происходящие в реальных условиях эксплуатации оборудования, с высокой степенью детализации. Разработанная модель дает возможность анализировать различные режимы работы системы, выявлять потенциальные риски и обрабатывать правильные решения в критических ситуациях. Это способствует улучшению подготовки операторов к экстренным условиям и снижению рисков возникновения аварийных ситуаций, что в свою очередь повышает безопасность эксплуатации и эффективность работы оборудования.

Динамическая модель сепараторов-пробкоуловителей разработана с учетом физических процессов, которые происходят в оборудовании. Модель включает в себя ключевые параметры, такие как скорость потока газа, удаление механических примесей, капельной жидкости, а также поведение фаз в различных режимах работы станции. Это обеспечивает возможность изучения динамики разделения компонентов газа и отработки возможных отклонений, возникающих в процессе эксплуатации.

Модель первой ступени компрессорной станции охватывает процесс сжатия газа, включая регулировку давления, температуру газа на выходе, а также параметры работы аппаратов воздушного охлаждения (АВО). В динамической модели реализованы алгоритмы управления газокompрессорными агрегатами, что позволяет анализировать эффективность их работы в разных режимах и условиях.

На рисунках 1 и 2 представлены результаты разработки данных динамических моделей. Эти графические материалы демонстрируют схематическое отображение процессов, происходящих в сепараторах-пробкоуловителях и на первой ступени компрессорной станции, что позволяет наглядно проанализировать и оценить их работу.

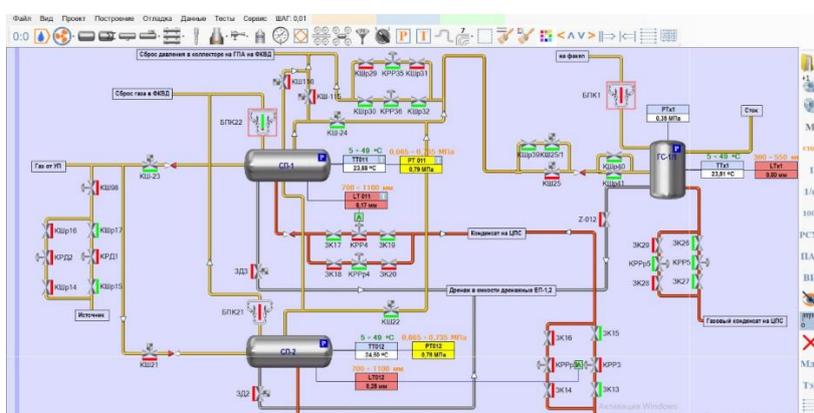


Рис. 1. Динамическая модель сепараторов-пробкоуловителей

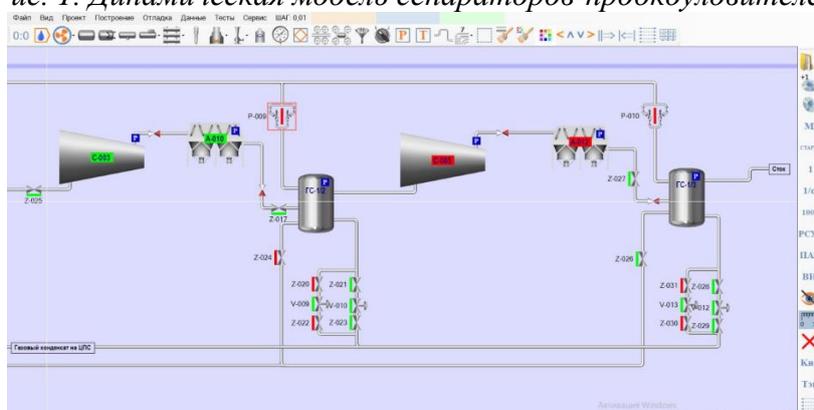


Рис. 2. Динамическая модель первой ступени компрессорной станции

## **Заключение**

Разработка тренажёра для операторов дожимных компрессорных станций ДКС с УПГ на базе программного комплекса РТСИМ представляет собой важный шаг в повышении безопасности и эффективности работы в нефтегазовой отрасли. Создание динамических моделей технологических процессов, таких как сепараторы-пробкоуловители и первая ступень компрессорной станции, позволяет имитировать реальные условия эксплуатации и обучать операторов правильным действиям в различных ситуациях, включая аварийные.

Использование тренажёров позволяет не только повысить профессиональную подготовку операторов, но и существенно снизить риски, связанные с работой на ДКС, такие как утечка газа, повреждение оборудования или нарушение технологического процесса. Моделирование различных сценариев работы и нештатных ситуаций помогает операторам быстрее реагировать на отклонения, повышая их уверенность и готовность к критическим ситуациям.

Применение современных технологий моделирования, таких как РТСИМ, предоставляет возможность адаптации тренажёра под конкретные условия эксплуатации, что делает его эффективным инструментом для обучения и повышения квалификации операторов. Это способствует значительному улучшению безопасности, снижению экономических потерь и оптимизации работы оборудования на компрессорных станциях.

Внедрение тренажёра позволит повысить уровень подготовки операторов, что, в свою очередь, будет способствовать минимизации рисков и повышению безопасности на производственных объектах нефтегазовой отрасли. В дальнейшем планируется расширение тренажёра на весь технологический комплекс ДКС с УПГ, что позволит охватить все ключевые узлы оборудования, включая системы управления, теплообменные установки и другие критически важные компоненты. Это позволит создавать ещё более комплексные сценарии для обучения операторов и обеспечит высокий уровень готовности к экстренным ситуациям, улучшая общую безопасность и эффективность работы на объектах.

### **Список использованных источников**

1. Борис Хозе АСУ ТП и моделирование: тренажёры для операторов / Борис Хозе // Fine Start school of future professionals [Электронный ресурс]. – URL: [finestart.school/media/training\\_operators](https://finestart.school/media/training_operators) (дата обращения: 01.07.2025).
2. Тема 4.3. Компьютерные тренажеры в обучении персонала нефтегазовой отрасли / [Электронный ресурс]. – URL: [sfsamgtu.ru/epa/docs/ITiOvNGO/4.3.pdf](https://sfsamgtu.ru/epa/docs/ITiOvNGO/4.3.pdf) (дата обращения: 01.07.2025).
3. ООО «Т-Софт». Описание программы для ЭВМ компьютерный тренажерный комплекс «Т-СОФТ». – СПб.: 32 с.
4. RTsim – компьютерные тренажеры для нефтегазового сектора // RTsim компьютерные тренажеры для нефтегазового сектора [Электронный ресурс]. – URL: [rtsim.ru](https://rtsim.ru) (дата обращения: 01.07.2025).
5. ДКС технические требования [Электронный ресурс]. – URL: [sspowerplant.ru](https://sspowerplant.ru) (дата обращения: 01.07.2025).
6. Дягилев В. Д. Разработка предложений по повышению эффективности эксплуатации аппаратов воздушного охлаждения на линейной компрессорной станции магистрального газопровода: специальность 21.03.01 «Нефтегазовое дело»; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск, 2023. – 96 с.