

П. К. КАЛАШНИКОВ, Р. Л. БАРАШКИН, Д. Н. ЖЕДЯЕВСКИЙ, Д. Г. ЛЕОНОВ,
А. С. НУРГУАТОВА, Т. М. ПАПИЛИНА, И. Б. ЦЕХМЕСТРУК, В. В. ЮЖАНИН
РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, Москва

РАЗРАБОТКА КОМПЬЮТЕРНОГО ТРЕНАЖЕРНОГО КОМПЛЕКСА ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА МАЛОТОННАЖНОГО СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА

Высокий уровень безопасности и энергоэффективности процессов сжижения природного газа обеспечивается наличием достоверных математических моделей технологического процесса, используемых в системах автоматизации и специализированных компьютерных тренажерных комплексах – симуляторах реальных технологических процессов. В данном направлении в отрасли наблюдается критичная зависимость от импортных продуктов. Разработанный междисциплинарной командой импортнезависимый тренажерный комплекс позволяет обучать специалистов в области сжижения природного газа с применением апробированной методики обучения и практико-ориентированного подхода.

Производство сжижения природного газа (СПГ) является одним из востребованных направлений развития нефтегазовой отрасли. В 1 м^3 СПГ содержится примерно 600 м^3 природного газа после регазификации. Основным преимуществом СПГ является возможность транспортировать его на большие расстояния, а также СПГ характеризуется более высоким качеством очистки по сравнению с трубопроводным газом. На рис. 1 представлена принципиальная схема малотоннажной установки сжижения газа со схемой отгрузки СПГ. Технологические процессы производства СПГ могут включать большое количество непрерывно и дискретно изменяющихся технологических параметров, которые необходимо контролировать для обеспечения эффективного режима эксплуатации [1]. При этом одним из наиболее важных критериев функционирования данной системы является обеспечение безопасности производства и квалифицированная (без нарушений) отработка штатных производственных заданий по изменению технологических режимов эксплуатации [2]. Залог успеха выполнения поставленных целей является наличие в работе высококвалифицированных специалистов, обладающих необходимыми умениями и навыками.

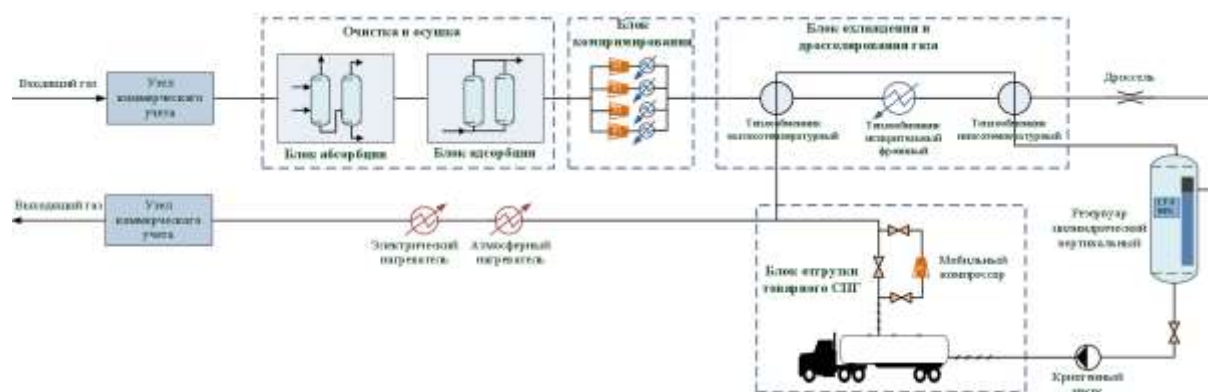


Рис. 1. Принципиальная схема малотоннажной установки сжижения газа

Одним из эффективных инструментов, используемых для подготовки оперативного технологического и обслуживающего персонала установок и производства, являются компьютерные тренажеры. Эффективность применения тренажеров обуславливается возможностью решения практических задач с использованием прикладного инструментария в условиях, близких к реальным. Обучение на данных тренажерах обеспечивает приобретение практических навыков безопасного выполнения работ, предупреждения аварий и ликвидации последствий на реальных объектах управления [3]. Разработка и использование компьютерных тренажеров в образо-

вательном процессе является перспективным направлением при подготовке высококвалифицированных специалистов, повышении квалификации, восстановлении квалификационных навыков инженерно-технических работников промышленных предприятий после длительного перерыва (отпуска, болезни, межвахтовый период и т. п.).

Архитектура разработанного тренажного комплекса состоит из нескольких модулей:

- модуль управления тренажером;
- расчетный модуль;
- модуль оценки;
- модуль отображения результатов.

Модуль управления тренажером позволяет выбрать режим работы в тренажере: редактор или обучающийся. Режим «обучающийся» дает доступ к заданному набору курсов учебно-тренировочных задач (УТЗ). Режим «редактор» предоставляет возможность создания, редактирования, удаления УТЗ и курсов.

Расчетный модуль обеспечивает:

- пуск, изменения и сохранения состояния модели;
- получение значений технологических параметров на каждом шаге моделирования;
- передачу управляющих воздействий на исполнительные устройства.

Оценка действий пользователя проводится в автоматическом режиме во время выполнения УТЗ с помощью модуля оценки. Каждое управляющее действие проверяется на соответствие регламентной последовательности. Изменения технологических параметров сопоставляются с заданными рабочими диапазонами на каждом шаге моделирования. При нарушении верной траектории управления и попадания технологических параметров в аварийные диапазоны предусмотрены штрафы [4].

Для обучающихся сразу по завершению прохождения выводится отчет с указанием количества ошибочных управляющих воздействий и нарушений критериев технологического режима, итоговая оценка за выполнение УТЗ.

На рис. 2 представлен пример фрагмента графического интерфейса компьютерного тренажера, который обеспечивает визуализацию расчетной схемы, позволяет выполнять базовые операции в рамках УТЗ, в том числе:

- запуск, приостановку и завершение УТЗ;
- задание значений оперативных параметров и состояний объектов;
- визуализацию текущих расчётных параметров, сводных отчётов и результатов выполнения УТЗ;
- визуализация текущих расчётных параметров в виде графиков.

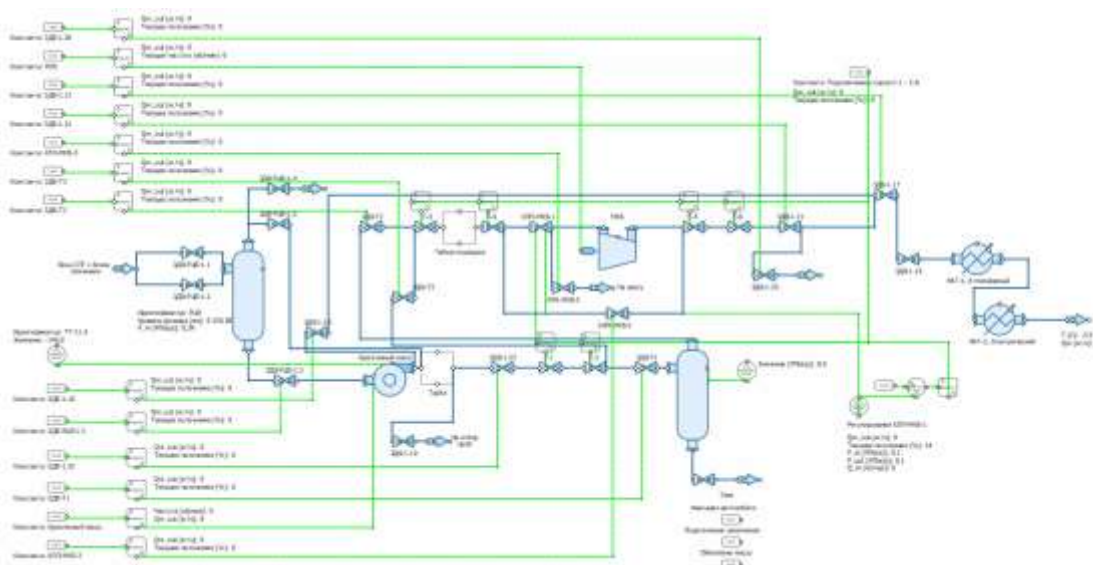


Рис. 2. Пример фрагмента графического интерфейса компьютерного тренажера малотоннажного завода СПГ

Расчетная схема и содержащаяся в расчетном модуле динамическая математическая модель является высокоточным цифровым двойником реального технологического процесса сжижения природного газа. Цифровой двойник с высокой точностью (отклонение не более 5%) повторяет текущее и прогнозное состояние технологического объекта (технологические параметры состояния внутренних потоков и временные интервалы их изменения) при любых операциях на технологическом объекте в любой последовательности не только в стационарных, но и в переходных режимах эксплуатации.

Предложенный тренажерный комплекс предназначен для разработки и выполнения штатных, нештатных учебно-тренировочных задач, проведения обучения студентов образовательных учреждений высшего образования и специалистов компаний технологиям малотоннажного сжижения природного газа. Номенклатура УТЗ составлена с учетом регламентного набора штатных и внештатных операций, а также с учетом накопленного многолетнего опыта эксплуатации реального технологического объекта. Тренажер позволяет решать УТЗ по управлению технологическими процессами установки сжижения природного газа. В тренажере реализованы функции: формирования и визуализации расчетной схемы непрерывных технологических процессов малотоннажного сжижения природного газа; имитационного моделирования технологических объектов; реализации системы управления; управления пользователями; создания, выбора, запуска и управления УТЗ; оценки действий обучающегося. На сегодняшний день существует возможность подключения к тренажеру через удаленный доступ, и проходить обучение в удобное время. Возможно отображение статистики прохождения УТЗ, доступ к истории выполнений УТЗ с возможностью отслеживания прогресса обучения в табличной форме или графической форме.

Реализация тренажера на импортонезависимых кроссплатформенных решениях с использованием верифицированного цифрового двойника и комплексных инструментов по организации учебного процесса, базирующихся на уникальных наработках Губкинского университета, позволяет стабильно формировать у оперативного персонала требуемый набор знаний и навыков, что в свою очередь повышает уровень безопасности, эффективность эксплуатации, и снижает риск возникновения нештатных и аварийных ситуаций.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Барашкин Р.Л., Маркарян Р.А., Попадью В.Е.** Тезисы доклада «Построение системы управления малотоннажных установок производства СПГ. Региональная научно-техническая конференция «Губкинский университет в решении вопросов нефтегазовой отрасли России». 25-26 сентября, 2017 г., с. 184.
2. **Барашкин Р.Л., Калашников П.К., Попадью В.Е., Южанин В.В.** Опыт внедрения «Компьютерного тренажерного комплекса процессов подготовки нефти и газа к транспорту» в образовательный процесс. *Территория Нефтегаз*, №10, М., 2017, 12-19.
3. **Барашкин Р.Л., Жедяевский Д.Н., Калашников П.К., Южанин В.В., Попадью В.Е.** Модернизация компьютерного тренажерного комплекса по процессам подготовки газа к транспорту для применения в учебном процессе вуза. *Современная наука: Актуальные проблемы теории и практики. Научные технологии*, №3/2, 2019. С. 5-10.
4. **Папилина Т.М., Барашкин Р.Л., Василюк Н.С.** Система автоматической оценки действий обучаемых в компьютерных тренажерных комплексах. *Труды Российской государственного университета нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина*. 2019. №. 3. С. 150-164. DOI 10.33285/2073-9028-2019-3(296)-150-164.

P.K.Kalashnikov, R.L.Barashkin, D.N.Zhedyayevskij, D.G.Leonov, A.S.Nurguatova, T.M.Papilina, I.B.Cekhmestruk, V.V.Yuzhanin (National University of Oil and Gas “Gubkin University”, Moscow)
Development of a computer simulator of production processes of liquefied natural gas

A high level of safety and energy efficiency of natural gas liquefaction processes is ensured by the availability of reliable mathematical models of the technological process used in automation systems and specialized computer training complexes - simulators of real technological processes. In this direction, the industry is critically dependent on imported products. The import-independent training complex developed by an interdisciplinary team makes it possible to train specialists in the field of natural gas liquefaction using a proven training methodology and a practice-oriented approach.

Авторы готовы представить текст на английском языке для сборника материалов мультиконференции, который будет подан для индексирования в Scopus.