



КОМПЬЮТЕРНЫЙ ТРЕНАЖЕР ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ ОПЕРАТОРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МЛСП «ПРИРАЗЛОМНАЯ»

Р.Р. Гильфанов, А.Б. Васильев, И.В. Мохнаткин (ООО «Газпром нефть шельф»),
В.М. Дозорцев, Д.В. Агафонов (АО «Хоневелл»)

Описан полномасштабный компьютерный тренажер для обучения операторов технологических процессов морской ледостойкой стационарной платформы (МЛСП) «Приразломная». Проанализированы особые требования к исполнению и функциональности тренажера в условиях МЛСП. Представлены технологические инженеринговые задачи, решаемые на базе тренажерной модели. Формулируются задачи развития тренажерного комплекса с учетом повышения производительности платформы.

Ключевые слова: морская ледостойкая стационарная платформа, технологический процесс, компьютерный тренажерный комплекс, пользовательские интерфейсы, полевой оператор, виртуальная реальность, виртуальные туры, панорамный интерфейс полевого оператора.

Введение. Особенности МЛСП «Приразломная» и требования к компьютерному тренингу ее операторов

Морская ледостойкая стационарная платформа (МЛСП) «Приразломная» — уникальный технологический объект, единственная на сегодня функционирующая в условиях Арктики морская платформа, расположена на шельфе Печорского моря в 60 км от побережья (рис. 1) [1]. Основные характеристики платформы (рис. 2): высота — 141 м, из них 24,3 м — кессон, хранилище нефти с емкостью танков

2,6 млн. т (изготовлен ОАО «ПО «Севмаш»), жилой, буровой и технические модули. Нижняя часть кессона (126x126 м) установлена непосредственно на морском дне (глубина 19...20 м); надводная часть кессона имеет размеры 102x102 м. Вес платформы 117 тыс. т, вес балласта — 506 тыс. т.

Бурение началось в 2013 г.; уже в декабре того же года платформа начала штатную работу. Всего предполагается пробурить 32 скважины со средней глубиной более 2,5 км и общей длиной 200 км.

Извлекаемые запасы нефти составляют порядка 70 млн. т с пиком годовой добычи в 5,5 млн. т. Нефть марки ARCO софт (Arctic Oil) поступила на рынки весной 2014 г. Жизненный цикл платформы рассчитан минимум на 25 лет непрерывной эксплуатации.

Транспортная система МЛСП включает два челночных танкера (70 тыс. т каждый), фрахтуемых у ОАО «Совкомфлот», и многофункциональные ледокольные суда для круглогодичного обслуживания и удержания танкеров во время грузовых операций. Все суда усиленного ледового класса снабжены системой динамического позиционирования. Цикл работы танкера — 6 сут.; цикл пополнения материалов — 60 сут. На платформе одновременно работают 200 человек, продолжительность вахты — 30 сут.; доставка персонала вертолетами и морскими судами из Мурманска.

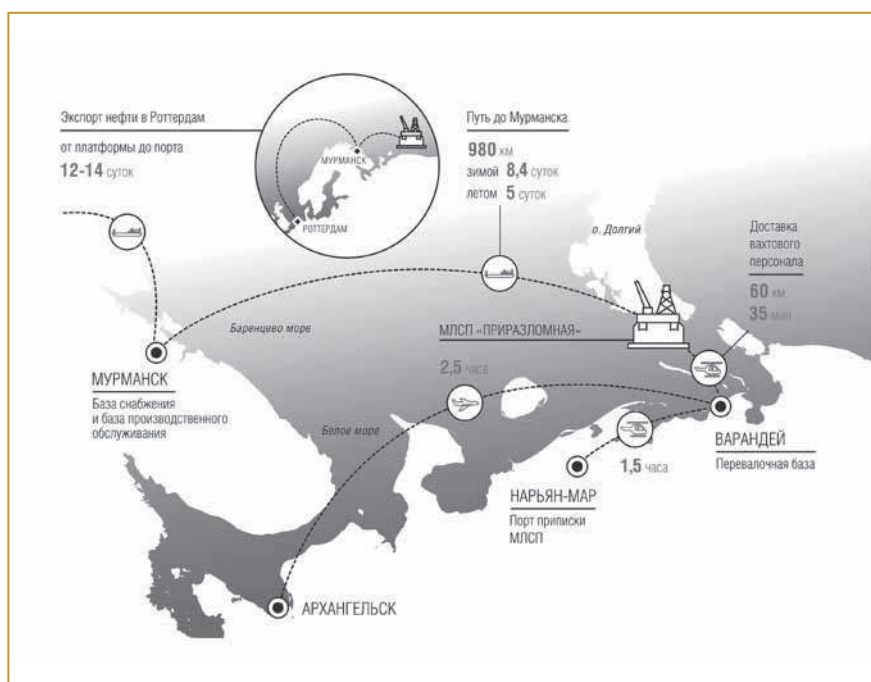


Рис. 1. МЛСП «Приразломная» (логистическая схема)

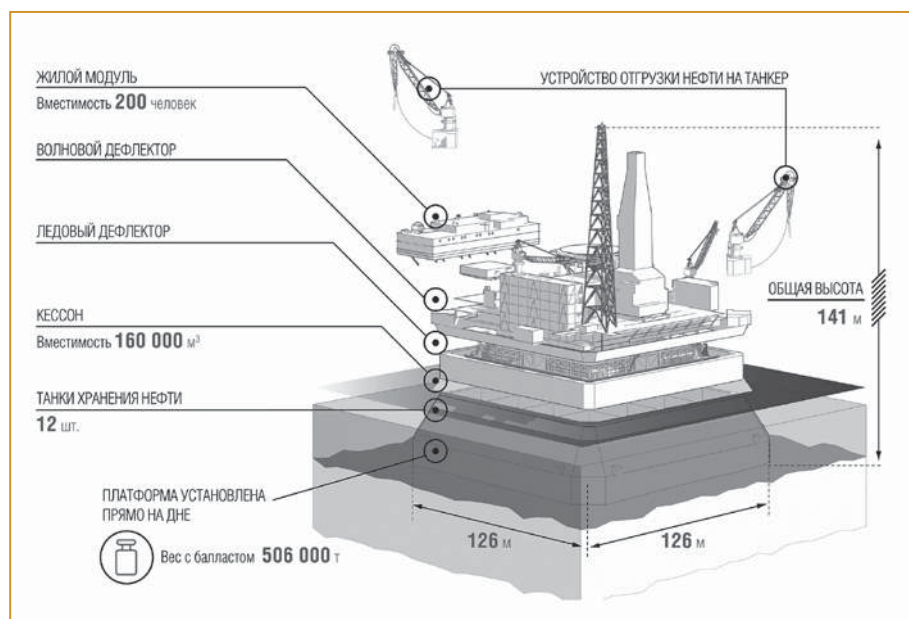


Рис.2. Схема МЛСП «Приразломная»

Уникальность объекта определила экстраординарные решения по обеспечению его промышленной безопасности:

- предусмотрена защита от волны высотой 10 м (ожидаемой с частотой 1 раз в 100 лет);
- кессон покрыт планкированной сталью толщиной 4 см, его основание может противостоять торпедному удару;
- ледовые и волновые дефлекторы (высотой 16,4 м) останавливают переливание волны и перевалку льда;
- хранение нефти в кессонах осуществляется по мокрому способу — нефть вытесняется и замещается балластовой водой, что исключает присутствие кислорода и свободной зоны для накопления взрывоопасных газов;
- платформа оборудована комплексами устройств прямой отгрузки нефти (КУПОН). В зависимости от метеорологических условий (ветер, течение, волнение, дрейф льда) используется один КУПОН, причем отгрузка определяется выполнением 30 специальных условий, а линия отгрузки снабжена системой аварийной остановки и закрытия (с максимальным временем срабатывания 7 с);
- функционирует автоматизированная система управления и безопасности (АСУБ), которая дистанционно управляет добычей, подготовкой, хранением и отгрузкой нефти, производством и распределением электроэнергии, пожарогазовой обстановкой;
- реализован принцип нулевого сброса, в котором буровой раствор, шлам и другие отходы закачиваются в специальную поглощающую скважину;
- действует подробный план предупреждения и ликвидации аварийных разливов: с начала 2014 г. проведено 100 учебно-тренировочных занятий, включая учения по поиску и спасению людей, ликвидации разливов нефти в ледовых условиях [2].

При всем разнообразии реализуемых мероприятий по охране труда и обеспечению промышленной безопасности ключевым и завершающим элементом системы безопасности на столь ответственном и дорогостоящем объекте (строительство и обустройство МЛСП обошлись во многие миллиарды долл. США) являются специализированные системы компьютерного тренинга оперативного персонала платформы.

Помимо общеизвестных причин в случае МЛСП имеются важные факторы, во многом аналогичные присутствующим на таких ответственных объектах, как подводные лодки и космические станции:

- географическая удаленность объекта делает его крайне уязвимым при возникновении нештатных и аварийных ситуаций. Команде практически полностью придется полагаться на собственные силы, при этом риск неприемлемых потерь существенно возрастает;
- изолированность персонала в особом ограниченном пространстве, вахтовый режим работы, особо высокая ответственность за безопасность объекта усложняют восстановление психологических ресурсов работников и повышают стрессовую нагрузку на них;
- суровый арктический климат, долгие полярные ночи, длинный рабочий день существенно повышают физиологическую напряженность работы.

Все это определяет особые требования к подготовке персонала и поддержанию его навыков безопасно и эффективно управления процессом.

Общепризнанным средством решения этой задачи являются полномасштабные компьютерные тренажеры для обучения операторов технологических процессов, снабженные всем необходимым инструментарием для сохранения «боеготовности» операторов на неизменно высоком уровне [3].

Ниже приводятся характеристики используемого на МЛСП компьютерного тренажерного комплекса (КТК) для обучения операторов ТП, разработанного и внедренного АО «Хоневелл», российским подразделением корпорации Honeywell.

Архитектура тренажерного комплекса

КТК для МЛСП «Приразломная» выполнен в виде локальной вычислительной сети, включающей в свой состав следующее оборудование (рис. 3):

- рабочее место инструктора компьютерного тренинга с двумя мониторами;
- пять рабочих места оператора с двумя мониторами каждое;

- рабочее место оператора-обходчика;
- инженерная станция;
- сервер виртуальных машин, содержащий: сервер ЕРКС/симулятор контроллеров С300; станцию инструктора/моделирующую станцию; станцию оператора-обходчика; станции оператора РСУ Honeywell ЕРКС (5 ед.);
- оборудование сети Ethernet (сетевой концентратор и сетевые кабели);
- цветной лазерный принтер.

Высокий уровень виртуализации архитектуры КТК реализован с использованием ПО VMware vSphere 5.5 (подробнее см. далее).

Объем моделирования и характеристики тренажерной модели

Из 98 единиц технологического оборудования МЛСП в КТК замоделировано 85 систем, начиная с устья скважин и заканчивая вспомогательными системами отработанного масла и хладагента. Среди основных высокоточно моделируемых систем — добыча, хранение, рециркуляция и подготовка нефти, отгрузка нефти (КУПОН), системы пресной и балластной воды, компримирование газа, факелы высокого и низкого давления, аминовая очистка, вентиляционные выходы, закачка воды в пласт, водяное, пенное и газовое пожаротушение, дренажные системы, очистка сточных вод, системы топливного газа, сжатого воздуха, инертного газа и дизельного топлива, смазочного масла, масла уплотнения и гидравлического масла, система пожаро-газовой сигнализации и многие др. Упрощенному моделированию подлежат вспомогательные системы: трансформаторы высокого и низкого напряжения, бесперебойного питания и аварийная электростанция.

Высокоточное моделирование технологических аппаратов в КТК основано на детальном описании протекающих в них процессов дифференциальными уравнениями переноса энергии, материального баланса, гидравлики и химической кинетики. Учитываются термодинамические свойства потоков и материалов оборудования, механические характеристики клапанов, насосов и емкостей, линейные размеры аппаратов в соответствии с паспортами соответствующего оборудования.

В КТК разработки Honeywell используется модульная сборка моделей технологических процессов, когда отдельные модули, описывающие функционирование различного оборудования и исполнительных механизмов, соединяются материальными потоками в соответствии с технологическими схемами и логическими диаграмма-

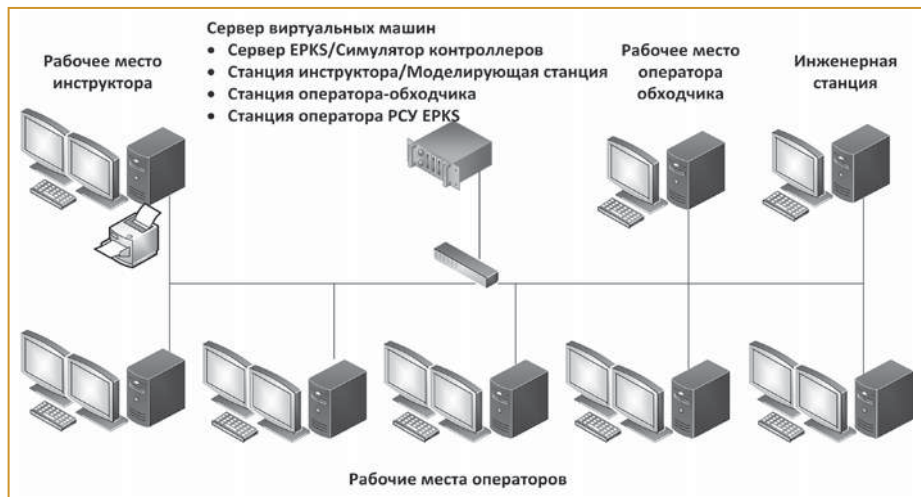


Рис. 3. Структура КТК МЛСП «Приразломная»

ми процесса. Потоки определяются путем построения и расчета соответствующих гидравлических сетей.

Тренажерная модель МЛСП охватывает все необходимые элементы оборудования ТП, все позиции системы управления и АСУБ, а также оборудование «по месту». Отсечные клапаны, байпасы оборудования и регулирующих клапанов, резервные насосы, подрывные клапаны моделируются в объеме, необходимом для достижения целей компьютерного тренинга.

Тренажерная модель обеспечивает:

- правильное течение ТП вблизи нормальных технологических условий;
- правильное отражение реакции ТП на изменения качества сырья, нагрузки, внешних условий (температура окружающего воздуха, работа общезаводских систем и др.), на отказы оборудования и приборов КИПиА;
- пуск ТП из холодного состояния;
- ведение ТП из промежуточных состояний;
- плановый и аварийный остановки;
- работу в нестандартных, предаварийных и аварийных условиях.

В КТК обеспечивается заданная точность и адекватность поведения модели в различных режимах функционирования моделируемого ТП.

В статическом режиме для критических параметров (колонны) предполагается следующие точностные характеристики:

- абсолютное отклонение температуры в сравнении с материальным и тепловым балансом (МТБ) не превышает $\pm 2^\circ\text{C}$,
- относительное отклонение расходов (отклонение моделируемых значений от значений по МТБ/значение по МТБ) не превышает $\pm 2\%$,
- относительное отклонение давления (отклонение моделируемых значений от значений по МТБ/значение по МТБ) не превышает $\pm 2\%$.

Аналогичные точностные характеристики для менее критических параметров составляют: 5°C для температуры и $\pm 5\%$ для расходов и давлений соответственно.

Для лабораторных анализов (состав, молекулярный вес, плотность) относительное отклонение (отклонение моделируемых значений от значений по МТБ/значение по МТБ) не превышает $\pm 5\%$.

В динамическом режиме отклики ТП на воздействия гарантируются в правильном направлении и в ожидаемых количественных диапазонах, включая время и направление отклика, последовательность событий в рамках отклика. Решение о соответствии точности динамических откликов модели реальному объекту принимается экспертами МЛСП, исходя из опыта ведения реального объекта (если это не противоречит общим принципам поведения объекта).

При работе с КТК можно выбрать одно из начальных состояний тренажерной модели. В комплект поставки тренажера входит два состояния:

«Холодное состояние»:

- температура внутри аппаратов — 20°C;
- все оборудование продуто азотом;
- давление внутри аппаратов — 0 кгс/см² (изб.);
- все аппараты и емкости опустошены;
- все клапаны находятся в своих нормальных состояниях;
- полевая арматура закрыта;
- насосы, компрессора выключены;
- регуляторы переведены в ручной режим;
- сигналы управления регуляторов выставлены в нуль.

Это состояние может быть использовано для выполнения процедур пуска установки и вывода ее на нормальный режим.

«Нормальное состояние»:

- на него настраивается модель по данным нормального и устойчивого режима ТП;
- в качестве ориентировочных данных для нормального режима берутся предоставленные скриншоты операторского режима.

Это состояние используется для ознакомления с нормальным режимом работы ТП, для отработки действий оператора в штатных (например, нормальный останов) и в нештатных ситуациях (например, аварийный останов).

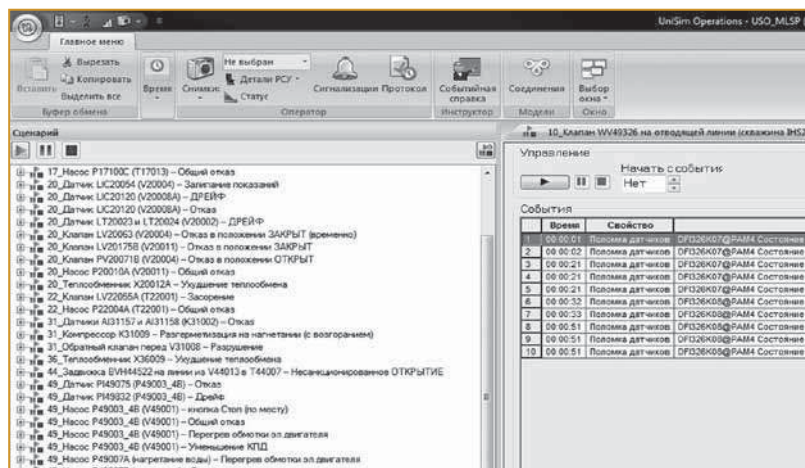


Рис. 4. Пример технологического экрана станции Инструктора

Инвестиции в знания всегда приносят наибольший доход.

Б. Франклин

Инструктор КТК может создавать другие состояния, из которых в дальнейшем запускается тренажер (например, различные этапы пуска). Таким образом создается и хранится библиотека дополнительных начальных состояний для обучения.

Функциональность тренажерного комплекса

Рабочая станция Инструктора обучения

Станция Инструктора — центральный компонент КТК, обеспечивающий взаимосвязь и координацию всех остальных его частей. Со станции Инструктора осуществляется управление процессом тренинга, вводятся возмущения в ход ТП, меняются внешние условия его работы, имитируются поломки технологического оборудования и КИП и А, выполняются другие инструкторские функции, включая анализ результатов тренинга и накопление методического материала. Инструктор контролирует возмущения, вносимые в работу моделируемого ТП, удаленные действия консольного и полевого оператора. Он загружает тренажерную модель в одном из начальных состояний, инициирует процесс обучения, управляет и наблюдает за сессиями тренинга.

Инструкторская станция снабжена интерактивным графическим интерфейсом, позволяющим наблюдать за ходом ТП и управлять им. Инструкторские экраны основаны на экранах консольного оператора и сконфигурированы с использованием графического пакета UniSim HMIWeb. Интерфейс Инструктора позволяет просматривать все измеряемые переменные, граничные точки, положение клапанов и статус динамического оборудования. Пример технологического экрана станции Инструктора приведен на рис. 4.

Набор инструкторских функций включает:

- выбор тренажерной модели (при наличии нескольких);
- возможность одновременного проведения занятий с несколькими обучаемыми (в том числе работа с одной моделью в смене операторов);

- выбор начальных условий моделирования;
- имитацию штатных, нештатных и аварийных ситуаций, отказов оборудования;
- активизацию функций удаленного управления;
- имитацию изменения внешних условий;
- автоматическое и ручное запоминание состояний процесса (моментальных снимков);
- выбор и активизацию моментальных снимков;
- редактирование, запись и активизацию тренировочных упражнений;

- редактирование, запись и активизацию сценариев (в форме набора отказов) нарушений хода процесса;
- активизацию режима автоматизированного контроля и оценки действий обучаемых;
- просмотр значений, трендов и сигнализаций переменных процесса;
- ведение, запоминание и печать протокола сеанса обучения, включая все вмешательства инструктора и обучаемого в ход процесса, а также сообщения системы сигнализации;
- поддержание режимов "Приостановка"/"Запуск моделирования" и изменение скорости моделирования процесса;
- печать результатов тренинга;
- поддержка режима обучения без инструктора;
- справочную систему для инструктора.

Ниже кратко характеризуются наиболее важные инструкторские функции.

Вмешательства Инструктора

Инструктор может осуществлять вмешательства несколькими способами.

Управление временем. Пауза в моделировании, продолжение моделирования, возврат к заданной точке в прошлом — эти команды могут быть применены в любой момент обучения.

Скорость моделирования зависит от вычислительных возможностей моделирующей станции и сложности ТП. Система обычно синхронизирована для работы в режиме реального времени. Во время некоторых стадий, особенно пусковых, таких как заполнение емкостей и нагрев аппаратов, Инструктор может ускорить работу КТК по сравнению с реальным временем для сокращения продолжительности этой стадии обучения.

Инструкторские переменные — это параметры ТП, которые Инструктор может изменять в процессе обучения на КТК. Типичный случай таких переменных — граничные условия модели, когда Инструктор может, например, изменять давление и температуру в граничных точках процесса. Инструкторские переменные выводятся на станцию инструктора.

Приборы управления по месту. Удаленное управление объектами, расположенными в операторной на щите или за пределами операторной (например, пуск/останов насосов, если они реализуются удаленно), открытие/закрытие отсечных клапанов, розжиг горелок печи и др. осуществляется с экранов инструкторской станции или с экранов станции полевого оператора.

Поломки. В КТК имеется возможность имитировать стандартные (реализованные в составе базового программного обеспечения станции инструктора UniSim Operations) нарушения работы оборудования:

- отказы измерительных приборов (неверные показания, дрейф, шумы);
- отказы насосов (общий отказ, перегрев по низкому расходу, потеря мощности);
- останов вентиляторов воздушного охлаждения;
- отказы регулирующих, предохранительных клапанов (отказ в различных положениях, ошибка пози-

Способность учиться быстрее, чем ваши конкуренты, может быть, единственным, заслуживающее поддержки, конкурентное преимущество..

А. де Геуз

ционирования, пропуск, засор, изменение динамики хода штока);

- отказы теплообменников (засорение трубного/межтрубного пространства, ухудшение теплопередачи, протечка и др.).

Описанные выше стандартные отказы реализованы в КТК для всего набора измерительных приборов, электрооборудования и теплообменников.

На станции Инструктора также предусмотрена возможность имитировать нестандартные (пользовательские) нарушения режима ТП, например:

- комплексные нарушения работы оборудования (прекращение подачи электроэнергии, нарушение подачи топлива в печи, нарушение подачи воды, пара и воздуха на установку);
- отказы технологического оборудования (разгерметизация оборудования и трубопроводов; прогар змеевиков печи и др.);
- изменение внешних условий (выбор варианта состава сырья, изменение температуры окружающего воздуха и т. п.).

Нестандартные (пользовательские) нарушения вводятся с помощью специальных ключей Инструктора, которые отображаются на графических экранах станции Инструктора. Среди них:

- изменение температуры окружающей среды;
- разгерметизация оборудования, трубопроводов, фланцевых соединений;
- прекращение подачи топливного газа на установку;
- разгерметизация змеевика печи;
- изменение концентрации или отсутствие подачи ингибитора коррозии, солеотложений и парафинообразования;
- изменение концентрации или отсутствие подачи ингибитора противовспенивателя, полиэлектrolита, деэмульгатора;
- изменение концентрации регенерированного диэталонамина в системе амина и регенерированного триэтиленгликоля в системе теплоносителя;
- увеличение концентрации сероводорода в системе топливного газа;
- изменение расхода газа в системе амина;
- изменение температуры окружающего воздуха и др.

Оценка действий оператора

Инструктору доступны три метода оценивания работы обучаемых: метод оценивания по отклонению, метод оценивания по достижению цели и метод оценивания по траектории. Каждый из перечисленных методов, исходя из определенного набора критериев, позволяет оценить эффективность работы

обучаемого и выразить эту оценку посредством соответствующего числа баллов. Для оценки работы обучаемого используется специальное средство — таблицы результатов обучения, позволяющее инструктору определить ряд контролируемых переменных, исходя из условий процесса и используемого оборудования, выбрать наиболее подходящий метод оценки и на основании этих данных определить рейтинг результатов обучения. Конфигурирование вышеуказанных таблиц осуществляется пользователем на основе актуальных задач обучения.

Моделирующая станция

Моделирование ТП в КТК реализуется на моделирующей станции (виртуальная машина, работающая на сервере). Помимо моделирования с этой станции осуществляется сопровождение и тестирование тренажерной модели, а также инжиниринговые исследования ТП (см. далее).

На моделирующей станции установлено ПО UniSim Design Suite® — система интерактивного моделирования ТП. Точность и детальность модели обеспечивают настолько высокий уровень подобия модели ТП, что операторы не ощущают существенной разницы между тренажером и реальным процессом.

Станция консольного оператора

Станция консольного оператора (виртуальная машина, работающая на сервере) — основное рабочее место обучаемого.

Графические интерфейсы операторских станций в тренажере полностью соответствуют используемому на реальном объекте PCY Exregion PKS (EPKS), включая мнемосхемы, блоки управления, тренды и другие элементы мониторинга и управления процессом.

В КТК используется «родное» программное обеспечение операторского интерфейса EPKS, что упрощает модификацию тренажера при изменениях в системе управления реальным объектом.

В рамках принятого объема моделирования все функции PCY и АСУБ полностью воссозданы на соответствующих операторских станциях.

Функциональность станций оператора соответствует функциональности реальных операторских станций PCY; станции снабжены функциональными клавиатурами PCY EPKS.

Пример технологического экрана операторской станции приведен на рис. 5.

Станция полевого оператора

Удаленное управление объектами, представленными в операторной на щите или расположенными за пределами операторной, например, пуск/останов насосов, открытие/закрытие отсечных клапанов, розжиг горелок печи и др., реализовано на станции полевого оператора.

Базовый графический интерфейс станции полевого оператора представляет собой интерактивную технологическую схему процесса и строится с учетом используемых в PCY экранов соответствующих блоков ТП. Пример экрана станции полевого оператора в стандартном исполнении показан на рис. 6.

Задача полевого оператора по получении производственного задания — быстро и точно достичь необходимой технологической точки, оценить обстановку и провести необходимые действия по месту. Решение этой задачи обусловлено умением оператора ориентироваться на местности и выполнять

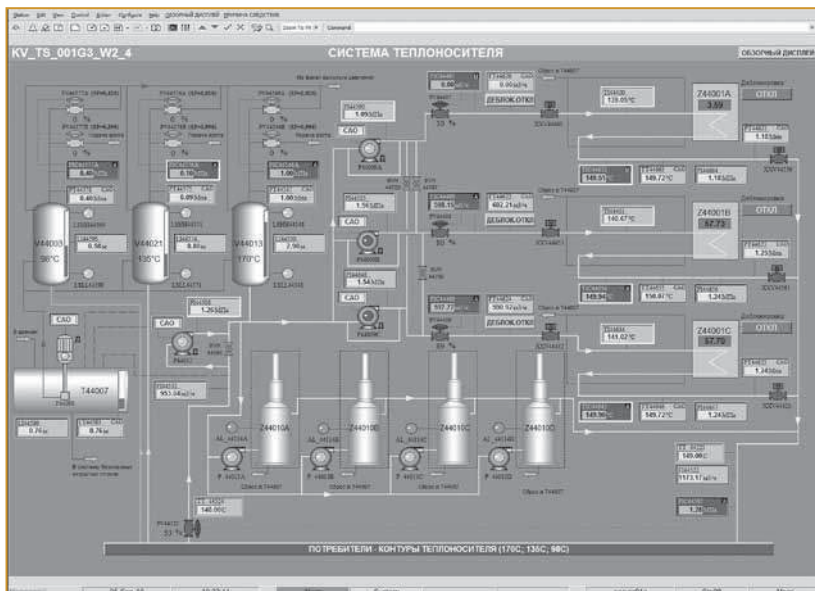


Рис. 5. Пример технологического экрана операторской станции PCY EPKS

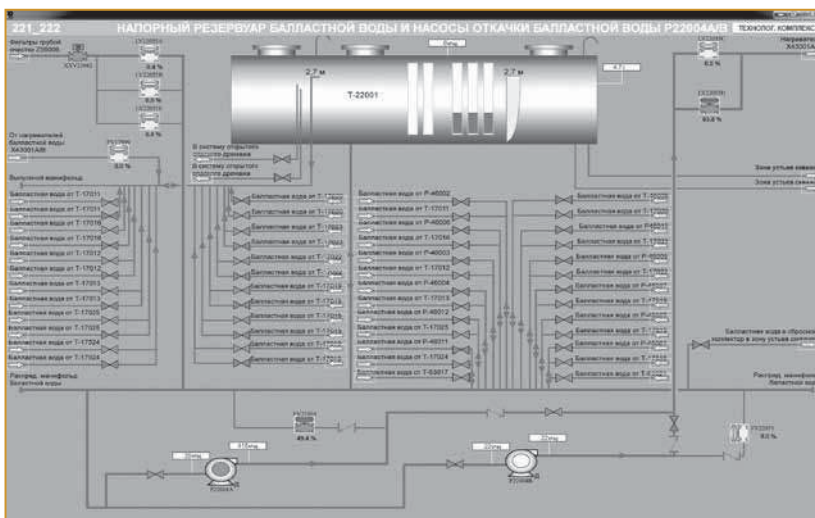


Рис. 6. Пример экрана клапанных сборок на станции полевого оператора

технологические процедуры «в поле», которое нельзя полноценно развить только традиционными средствами (рис. 6).

Имитация среды управления полевого оператора методами виртуальной реальности (VR) предоставляет ряд существенных преимуществ. Во-первых, в VR-интерфейсах достигается несоизмеримо более высокий уровень подобия технологической обстановки. Во-вторых, появляется возможность воссоздать верную стимульную среду обучения (видеообразы, звуки, ощущения перемещения, пр.), что провоцирует естественное поведение обучаемого, важное для выработки и положительного переноса в практическую деятельность правильного навыка управления. Наконец, VR вводит в обучение принципиально необходимый субъективный фактор времени («временную стрелу»), ощущаемый оператором при выполнении последовательности производственных действий.

В условиях МЛСП вышеприведенные факторы еще более выражены из-за того, что большую часть рабочего времени полевые операторы проводят в закрытых помещениях, плотно занятых оборудованием и трубопроводами, что сильно затрудняет ориентацию на местности.

Основная технология VR, рассматриваемая для использования в КТК — 3D анимация [4, 5]. Однако при всем богатстве 3D-анимации необходимо принимать в расчет сложности, связанные с включением таких виртуальных сред в контур обучения персонала потенциально опасных объектов. Во-первых, 3D воспроизведение всегда отличается от воспроизводимой реальности, что чревато выработкой «ложного» навыка, то есть автоматизацией неверного действия, потенциально приводящей к отрицательному результату. Во-вторых, 3D привносит элемент игры и, следовательно, снижает ответственность оператора за работу. Это недопустимо при обучении персонала такого потенциально опасного технологического объекта, как МЛСП. Наконец, создание и поддержание 3D анимации — чрезвычайно затратная деятельность, иногда сравнимая по стоимости с ценой остальных элементов КТК вместе взятых.

Резонной альтернативой 3D анимации, сохраняющей основные преимущества VR, но лишенной недостатков анимации, являются виртуальные туры (VT)

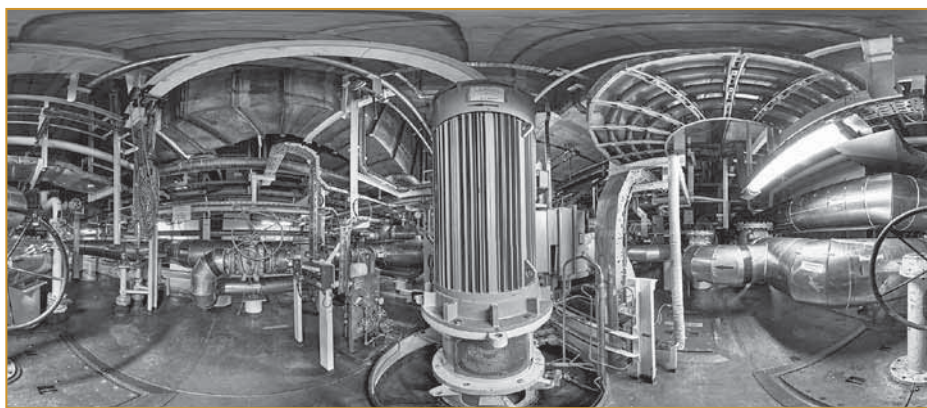


Рис. 7. Пример экрана панорамного интерфейса полевого оператора – насос перекачки нефти (отгрузка нефти)

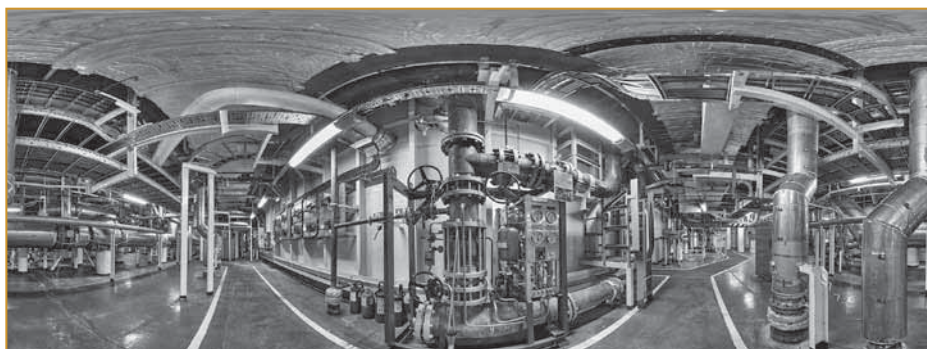


Рис. 8. Пример экрана панорамного интерфейса полевого оператора – насос системы пожаротушения

[6]. VT, построенные на объединении фотографий объекта в панорамы, в которых возможно свободное передвижение пользователя, отлично зарекомендовали себя в таких приложениях, как электронные музейные гиды, дорожные навигаторы, маркетинговые ролики и пр. В интерфейсе полевого оператора в КТК оператор добирается до нужного оборудования «по месту» путем перемещения во всех доступных в данный момент направлениях трехмерного пространства с помощью нажатий на стрелки-указатели мыши. Управление нужным оборудованием «по месту» осуществляется путем выбора воздействий, доступных для данного прибора.

Панорамный интерфейс связан с моделью ТП, которая в реальном времени реагирует на действия оператора, а все изменения ее состояния отражаются в интерфейсе. Примеры экранов панорамного интерфейса полевого оператора показаны на рис. 7–8.

Созданный для МЛСП панорамный интерфейс полевого оператора содержит более 850 точек доступа и почти 1300 активных элементов оборудования. Используется версия сферической панорамы, отражающей взгляд оператора наверх. Интерфейс в дальнейшем будет дополнен визуализацией протечек, выброса газа и вибрацией.

Сервер EPKS и симулятор контроллеров CX00, FSC

На сервере EPKS установлено программное обеспечение Experion PKS Server. В сервер загружена

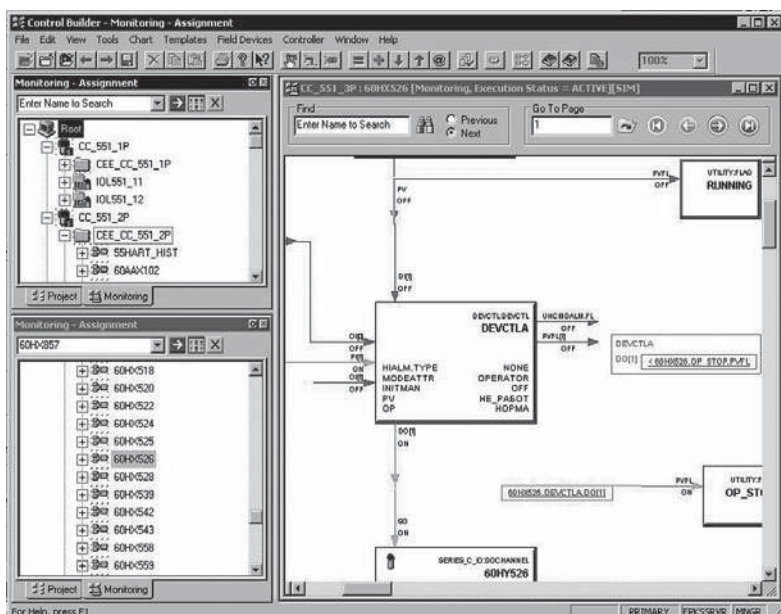


Рис. 9. Пример экрана сервера ЕРКС

конфигурация РСУ, используемая в данный момент в реальной распределенной системе управления. В дальнейшем конфигурация РСУ и алгоритмы управляющих модулей могут быть изменены, проверены и отлажены в КТК с помощью программы Control Builder.

Изменение и отладка алгоритмов достигается за счет использования в КТК симулятора контроллеров СХ00 — программного обеспечения, полностью повторяющего функциональность реальных контроллеров С200, С300 и противоаварийного контроллера FSC. В дальнейшем, при необходимости измененные алгоритмы могут быть перенесены в реальную РСУ МЛСП.

Пример экрана сервера ЕРКС приведен на рис. 9.

Инженерная станция

С инженерной станции выполняется администрирование сервера виртуальных машин. Она является также сервером лицензий системы моделирования UniSim.

Сервер виртуальных машин

На сервере виртуальных машин установлено программное обеспечение VMware vSphere 5.5, обе-

спечивающее функциональность виртуальных машин. VMware vSphere — это аппаратный гипервизор (по сути, специализированная операционная система), позволяющий оптимальным образом распределять вычислительные ресурсы между виртуальными машинами. При этом vSphere почти не тратит на себя эти ресурсы, так как практически не использует графический интерфейс и по сравнению с другими операционными системами выполняет очень узкий перечень задач.

Методическое обеспечение КТК

Тренажер снабжен полным набором методических и дидактических материалов, обеспечивающих эффективное обучение операторов и перенос приобретенных ими навыков на реальное производство. Методика обучения построена на современных компьютерных приемах усвоения, закрепления и поддержания базовых навыков и комплексных умений, необходимых оператору при выполнении стандартных и нестандартных действий по управлению ТП.

Результаты внедрения КТК и смежные решения на базе тренажера

КТК для обучения операторов МЛСП сдан в эксплуатацию в 2016 г. В рамках контракта было проведено обучение будущих инструкторов тренинга (из числа опытных старших операторов, технологов и начальников смен) в составе 9 человек. За прошедшее с момента внедрения системы время налажено регулярное обучение инженеров-технологов и операторов: первично обучено 8 человек; повторный курс прошли 4 специалиста платформы. С учетом вахтовой специфики работы обучение на КТК организовано без отрыва от производства на основе разработанных сценариев и с вовлечением 3D модели станции оператора обходчика. На рис. 10 запечатлена работа специалистов на КТК.



Рис. 10. Специалисты МЛСП за работой на КТК

Разработчикам КТК и моделей ТП МЛСП «Приразломная» присуждена Первая премия Международного конкурса научных, научно-технических и инновационных разработок, направленных на развитие и освоение Арктики и континентального шельфа (рис. 11).

С использованием КТК специалистами МЛСП при поддержке разработчиков системы удалось решить несколько важных практических инженеринговых задач:

- исследование процедуры останова компрессора — симулированы и проанализированы на модели различные аварийные ситуации, и таким образом выявлены и подтверждены причины, которые могли бы привести к ним на практике;
- проверена максимальная производительность системы подготовки нефти;
- расшиты узкие места в системе закачки воды в пласт.

В будущих (и — отчасти — уже осуществляемых) планах — дальнейшее развитие возможностей КТК для решения инженеринговых задач.

Использование статических моделей важных технологических узлов (подготовка и отгрузка нефти, подготовка газа и воды) в целях:

- максимизации производительности оборудования добычи и подготовки нефти;
- повышения надежности и стабильности производства за счет снижения рисков срыва процесса добычи, подготовки, хранения и отгрузки нефти, подготовки закачки воды в пласт, компримирования попутного нефтяного газа;
- подбора предельно возможных параметров работы оборудования за счет оценки влияния на ТП проектно-технологических решений до стадии проектных разработок;
- анализа причин и последствий возникновения неисправностей, нарушений хода ТП, останова оборудования/платформы;
- оценки влияния физико-химических изменений сырья на ТП.

Для получения статических моделей впервые была апробирована методика трансформации динамических тренажерных моделей с расширением описания гидравлической системы объекта. Была достигнута высокая точность восстановления статических моделей ($\pm 2\%$ по МТБ).

В частности, была разработана статическая модель подготовки пластовой продукции МЛСП. В качестве исходных данных использовались результаты лабораторных исследований поступающего на платформу сырья, действующий технологический регламент, нормы технологического режима, паспорта техно-



Рис. 11. Диплом конкурса ТЭК, присужденный разработчикам и пользователям КТК

логического оборудования и данные исторического модуля РСУ. Затем режим модели был актуализирован на основании текущих значений технологических параметров, полученных из РСУ.

Модель позволяет определять узкие места, ограничивающие максимальный расход добываемой нефти. Для эффективного анализа узких мест в модель добавлены специально созданные сводные электронные таблицы, в которых помечаются аппараты и участки трубопроводной сети, не обеспечивающие требуемую пропускную способность при заданном технологическом режиме. Таблицы представляют собой список технологического оборудования (емкости, насосы, клапаны), соответствующие им паспортные расходы и мощности, и эти же характеристики,

рассчитанные по модели при различных граничных условиях. Именно на основе автоматического сравнения паспортных и расчетных характеристик делается вывод о наличии узких мест. Результаты такого анализа позволяют своевременно проводить техническое перевооружение и модернизацию технологического комплекса, добавлять и расширять трубопроводы, увеличивать объем емкостей и мощность насосов. Это позволит вывести платформу на запланированную производительность при безопасной работе оборудования.

Другим приложением созданной статической модели является оптимизация ТП с целью уменьшения энергетических затрат и увеличения выхода товарной продукции с единицы сырья. Например, при анализе актуального режима установки было установлено, что давление насыщенных паров товарной нефти значительно ниже предельно допустимого значения. Эксперименты на модели показали, что увеличение давления в сепараторах нефти с одновременным снижением температуры в сепараторе 2-й степени позволяет получить прирост выхода товарной нефти до 1% за счет снижения уноса легких фракций нефти вместе с газом на факел.

Разработанная модель позволяет также исследовать причины и последствия неисправностей оборудования, нарушений ТП, своевременно планировать и осуществлять мероприятия для обеспечения эффективной и безопасной эксплуатации технологического комплекса МЛСП.

Использование динамических моделей ТП для решения задач:

- подбора максимально возможной производительности оборудования, повышения качества продукции и оптимизации процессов подготовки, хранения и отгрузки нефти, подготовки газа и воды;
- анализа причин и последствий неисправностей оборудования, нарушений хода ТП, останова оборудования/платформы;

- оценки операционных рисков при переходе на новую конфигурацию оборудования и систем и при внесении изменений в процессе технического перевооружения/модернизации МЛСП;
- оценки влияния физико-химических изменений сырья на ТП;
- определения оптимальных эксплуатационных режимов;
- проверки безопасности производства в динамике;
- расчета динамики работы как отдельных аппаратов, так и технологической системы в целом.

Заключение и задачи на будущее

Залог успеха тренажерных систем — эффективное поддержание в актуальном состоянии всех ключевых элементов системы (имитационные модели процесса, системы управления, пользовательские интерфейсы и методики обучения). Только такой подход позволяет достичь заданных целей тренинга, исключить опасность выработки ложного навыка вследствие устаревания тренажера относительно реального объекта. Программа постгарантийного обслуживания тренажера уже задействована.

Ограниченность технологических процессов МЛСП снимает проблему поэтапного расширения объема моделирования в тренажере; это объем изначально полон. Более того, само устройство МЛСП (компактность, сосредоточенность, изолированность) как будто побуждает создать полную модель технологического объекта и воспользоваться преимуществами современных технологий Industry 4.0, включая так называемые «цифровые двойники» объекта [7]. Собственно тренажерная модель ТП является первым приближением такого цифрового двойника. Ее дальнейшее развитие в сторону как статики, так и динамики позволит решить разнообразные важные задачи инжиниринга ТП и системы управления (проверка и настройка алгоритмов), имитации и анализа аварийных ситуаций, поиска причин от-

клонения хода процесса от нормального, оптимизации режимов работы производства. Последнее направление особенно актуально с учетом меняющихся условий работы платформы — на стадии повышения производительности в ближайшие годы.

Исполнение тренажерной системы МЛСП на современном мировом уровне призвано обеспечить безопасность и эффективность работы платформы как с технологической точки зрения, так и с позиций влияния человеческого фактора на всем прогнозируемом жизненном цикле рассматриваемого без преувеличения знакового проекта российской нефтедобычи.

Список литературы

1. *Гильфанов Р.* Нефть с «Приразломной» работает на космическую отрасль // URL: <https://www.kommersant.ru/doc/3176926>.
2. *Мандель А.Я. и др.* Экологическая безопасность при эксплуатации МЛСП «Приразломная» // Газовая промышленность. 2013. № 688. С. 31-34.
3. *Дозорцев В.М.* Компьютерные тренажеры для обучения операторов технологических процессов. М.: Синтег. 2009. 372 с.
4. *Rovaglio, M., Scheele, T.* Immersive Virtual Reality Plant: A Comprehensive Plant-Crew Training Solution Improves Process Reliability and Safety. 2010. Invensys Systems, Inc., PN SE-0139.
5. *Colombo S., Golzio, L.* The Plant Simulator as Viable Means to Prevent and Manage Risk through Competencies Management: Experiment Results // Safety Science, April 2016. № 84. Pp. 46-56.
6. *Дозорцев В.М. и др.* Интерфейс полевого оператора в компьютерном тренажере: 3D погружение или 2D панорама? // Вторая международная научно-практическая конференция «Человеческий фактор в сложных технических системах и средах» (Эрго-2016), СПб., 2016. С. 268-276.
7. *Владов Р.А., Дозорцев В.М. и др.* Практические аспекты Четвертой промышленной революции // Автоматизация в промышленности. 2017. №7. С. 7-13.

Гильфанов Ралиф Рашитович — генеральный директор,

Васильев Александр Борисович — заместитель генерального директора по операционной деятельности

Мохнаткин Иван Викторович — начальник технологического комплекса

МЛСП "Приразломная" ООО «Газпром нефть шельф»,

Дозорцев Виктор Михайлович — д-р техн. наук, проф., директор департамента высокотехнологичных решений и консалтинга,

Агафонов Дмитрий Витальевич — руководитель отдела моделирования и компьютерного тренинга операторов технологических процессов АО «Хоневелл».

Контактный телефон (495) 796-98-00.

[Http://shelf.gazprom-neft.ru](http://shelf.gazprom-neft.ru)

Оформить подписку на журнал "Автоматизация в промышленности" вы можете:

через каталоги "Роспечать" 81874 и "Пресса России" 39206 • сайт журнала <http://www.avtprom.ru> • Редакцию

Адрес редакции: 117997, Москва, ул. Профсоюзная, д. 65, офис 360 Тел.: (495) 334-91-30, (926)212-60-97 E-mail: info@avtprom.ru