

УДК 681.136.54: 004.94

## Тренажерный комплекс ТРЕК

TREK Set of Training Simulators

**А.В. Толмач,  
Д.М. Храпачев,  
А.Е. Евсюков,  
А.А. Андрийчук**  
/ООО “Югра-АСУ”,  
г. Нижневартовск/

A.V. Tolmach, D.M. Khrapachev,  
A.E. Evsiukov, A.A. Andriyчук  
/ООО “Yugra-ASU”, Nizhnevartovsk/

**Ключевые слова:** тренажер, тренажерный комплекс, тренажерная станция, компьютерный тренажер, обучение обслуживающего персонала, АСУТП, моделирование, модель технологического процесса.

**Key words:** simulator, set of simulators, simulator station, computerized simulator, training of service personnel, PACS - process automated control system, modeling, process modeling.

*В статье идет речь о тренажерном комплексе ТРЕК (ТК ТРЕК) для обучения и тестирования оперативного персонала технологических объектов, созданном специалистами компании “Югра-АСУ”. В настоящий момент ТК ТРЕК успешно внедрен на ряде крупных газоперерабатывающих комплексов в Ханты-Мансийском округе. Накопленный специалистами опыт и уникальные наработки позволяют использовать ТК ТРЕК для любых типов технологических объектов и любых автоматизированных систем управления в различных отраслях.*

*The present paper provides the materials on a set of TREK (TS TREK) training simulators to train and to test the operative personnel of process facilities as arranged by the experts of “Yugra-ASU” Company. At present this TS TREK has been successfully implemented at several gas-processing facilities of Khanty-Mansiysky region. The practical experience, accumulated by the experts and the unique skill enable to use this training set with various types of process facilities and with any available automated control systems in different branches of industry.*

Предприятия нефтегазовой отрасли являются сложными структурными комплексами, состоящими из отдельных технологических звеньев, связанных единым технологическим процессом. Особенностью производственных процессов таких предприятий становятся условия, характеризующиеся повышенной взрывоопасностью и пожароопасностью. Высокая автоматизация подобных объектов не исключает активной деятельности обслуживающего персонала, а при необходимости - вмешательства в управление технологическим процессом.

По некоторым оценкам, доля аварий по вине операторов в общем числе наиболее крупных аварий в мировой нефтехимии и нефтепереработке за период 60-90-х гг. составляет 26%, а средние потери в результате одной

крупной аварии превышают 35 млн долл. США. В этом контексте все более острой становится проблема подготовки операторов технологических установок, поскольку собственники производственных мощностей не могут не задаваться вопросом, кто будет управлять их дорогостоящим оборудованием, учитывая как ограниченные возможности человека-оператора, так и требования обеспечения промышленной безопасности и охраны окружающей среды. Наряду с этим немаловажной является задача минимизации времени простоя установок по причине неудачных запусков.

Таким образом, формируется необходимость в начальном и периодическом обучении оперативного персонала технологических установок.

В условиях постоянного изменения кадрового состава предприятия, не-

высокой средней квалификации персонала одним из основных средств обучения становятся тренажеры, в первую очередь компьютерные тренажеры. Наличие такого тренажера позволяет оперативному и технологическому персоналу в учебных помещениях, без влияния на ход реального технологического процесса, отрабатывать навыки работы с системой управления технологической установкой, включая действия в аварийных ситуациях.

Специалистами компании “Югра-АСУ” создан тренажерный комплекс ТРЕК для обучения и тестирования оперативного персонала технологических объектов (ТК ТРЕК), который в соответствии со специфическими осо-



бенностями производства обеспечивает:

- изучение принципов работы технологического объекта с существующей системой управления технологическими процессами;

- изучение назначения и характеристик используемого технологического оборудования;

- получение практических навыков управления технологической установкой в различных режимах:

- пуск;
- останов;
- работа в нормальном режиме;
- работа в аварийных и нештатных ситуациях;

- проверку знаний и проведение аттестации технологического персонала;

- анализ ситуации по методу "что, если?".

ТК ТРЕК является комплексом программ, воспроизводящих функционирование интерфейса оператора существующей АСУТП и моделирующих динамичное поведение технологических процессов объекта и его подсистем в реальном масштабе времени.

В ТК ТРЕК используются SCADA-системы (Rockwell Software, Wonderware, WinCC, MetsoDNA, Yokogawa, Emerson и т.д.) и эмуляторы ПЛК (Allen-Bradley, Siemens и т.д.), идентичные установленным в суще-

ствующей АСУТП, которую учится эксплуатировать оператор. Это позволяет максимально приблизить учебную ситуацию к реальной с точки зрения отображения информации в интерфейсе оператора и реакции системы на действия оператора.

В некоторых случаях SCADA-систему, установленную на объекте, использовать в ТК ТРЕК не представляется возможным. В таком случае функциональность АСУТП реализуется при помощи альтернативных программных средств и использования собственных наработок компании, а интерфейс оператора приводится к виду, максимально приближенному к существующему интерфейсу на объекте.

### Режимы использования

Комбинации возможностей ТК ТРЕК обеспечивают формирование различных обучающих режимов:

- Информационный - позволяет приобрести навыки пользования интерфейсом оператора, изучить технологическую схему установки, технологическое оборудование и его характеристики.

- Свободная тренировка - позволяет произвольным образом управлять оборудованием, наблюдая получаемые эффекты, в том числе за рамками технологических регламентов.

- Обучение - позволяет изучить правила пользования технологической установкой (регламент), произвести регламентные пуски/остановы оборудования; при этом тренажерный комплекс выводит подсказки оператору о необходимых операциях и контролируемых параметрах.

- Экзамен - позволяет провести аттестацию или проверить знания технологического персонала.

В состав ТК ТРЕК опционально может входить система обучения ПЛАС (план ликвидации аварийных ситуаций), представляющая собой программу тестирования, реализованную в виде экзаменационных билетов для оператора с оценкой результата.

ТК ТРЕК по функциональной структуре (рис. 1) разделен на две основные части: рабочее место оператора (РМО) и рабочее место инструктора (РМИ).

В рамках программной структуры можно выделить уровни моделирования, автоматизации и интерфейса пользователя.

### Модель технологического процесса

**Технологический процесс** моделируется при помощи имитатора программируемого логического контроллера. В его основе лежат математические модели, представляющие собой

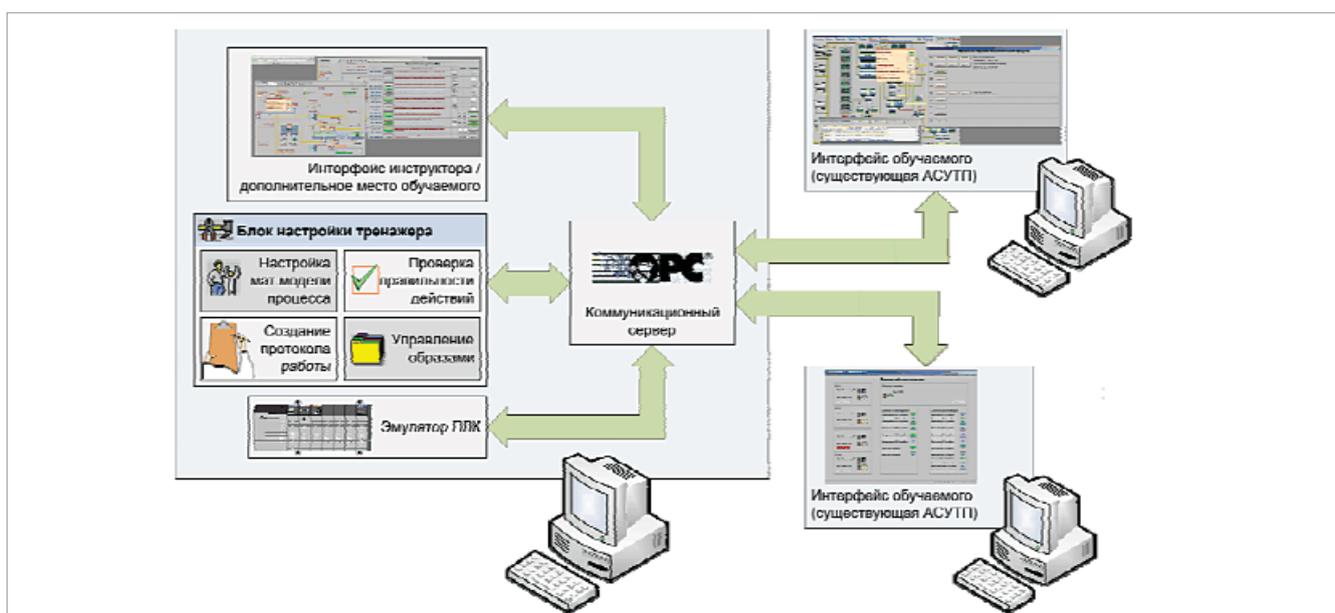


Рис. 1. Структура ТК ТРЕК

системы дифференциальных уравнений, описывающих гидродинамические, массообменные, кинетические, термодинамические и другие аспекты технологического процесса. Данные модели адекватно воспроизводят процессы, протекающие в оборудовании, в широком диапазоне изменения всех параметров технологического процесса (ТП). Это позволяет моделировать различные технологические и аварийные ситуации.

На сегодняшний день модель ТК TPEK реализована на базе эмулятора RSLogix Emulate 5000 (Rockwell Software), однако в связи с увеличением требований к сложности технологических моделей ведется разработка альтернативной среды моделирования.

Алгоритмы моделирования делятся на несколько уровней:

- **Сигнальный уровень** - слой взаимодействия с системой автоматизации. Вне этого набора массивов никаких взаимодействий между АСУТП и технологическим процессом происходить не может.
- **Уровень функций** - большинству моделируемых сигналов в системе соответствуют собственные функции, вычисляющие их значения в данный момент времени исходя из состояния

других сигналов и общей модели технологического процесса.

- **Уровень общих алгоритмов** - позволяют комплексно рассчитывать сложные многосвязные системы с обратными связями, состоящие из набора простых элементов - труб, задвижек, насосов и т.д.

Уровень функций в качестве исходных значений использует данные из технологической модели, рассчитываемой уровнем общих алгоритмов, и значения других сигналов. Учитывая то, что другие сигналы также могут рассчитываться другими функциями, которые, в свою очередь, тоже используют значения сигналов, мы получаем некую последовательность, или цепь (chain) функций.

Каждая функция может иметь до двух собственных произвольных параметров, например, какие-либо коэффициенты или уставки, и два таймера для организации временных задержек или других временных зависимостей.

Постоянно повторяющаяся операция масштабирования аналоговых значений из диапазона значений, принятых в модели, к диапазону измерения конкретного датчика вынесена в отдельную прослойку.

Общие алгоритмы симуляции позволяют представить существующую технологическую схему в виде графа - совокупности узлов и ребер. Узлы графа являются абстрактными представлениями емкостей или трубных сочленений, ребра имитируют работу проводящих элементов, таких как трубы, задвижки, клапаны, теплообменники, компрессоры, насосы и другие элементы (рис. 2).

Узлы (Node) имеют постоянные геометрические параметры, по возможности соответствующие своим реальным прототипам: площадь (S, м<sup>2</sup>), высоту (H, м), подъем над нулевым уровнем (H0, м). Переменными параметрами узлов являются давление (P, кгс), температура газа (Tg, K), уровень (L, м) и температура жидкости (Tf, K). В случае необходимости для узлов можно производить расчет сложных процессов - кипения и конденсации.

Узел может быть бесконечным (Infinity) - это свойство блокирует изменение его переменных параметров алгоритмами моделирования и позволяет задать некие опорные точки для модели, такие как атмосфера, входная и выходная магистрали установки, заглушки для сегментов техно-

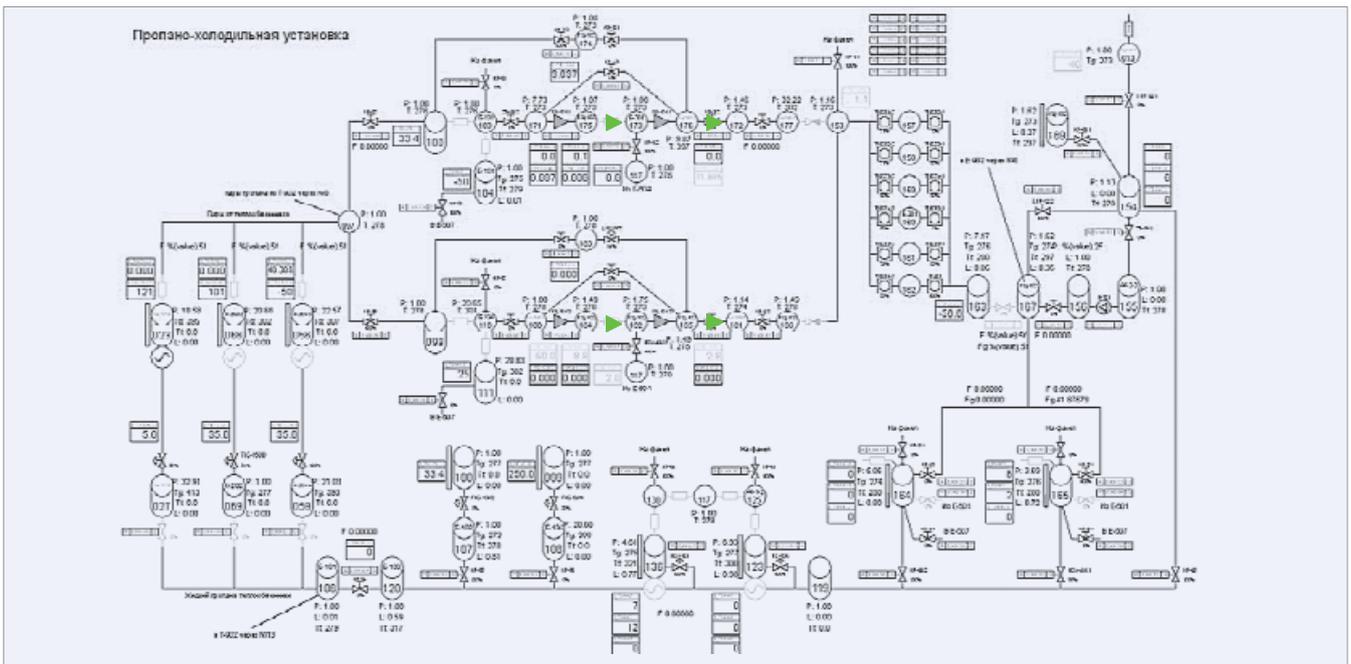


Рис. 2. Пример технологической схемы (рабочее место инструктора)

логической схемы, отсутствующих в модели.

Алгоритмы ребер в каждом прогоне программы симуляции последовательно рассчитывают изменения давления/температуры/уровня в своих узлах за заданный промежуток времени. В текущем проекте частота расчета составляет 40 Гц, соответственно интервал расчета - 0,025 с.

В основе большинства алгоритмов ребер лежит базовый алгоритм трубы (Tube), основной характеристикой которой является пропускная способность (Q, %/с). Пропускная способность - степень снижения разницы давлений между изолированной парой узлов, соединенных данной трубой, за единицу времени; например, Q = 100 %/с обеспечит выравнивание давлений в соседних узлах за 1 с, а при Q = 0 %/с давление в узлах меняться не будет. Собственный объем трубы в расчетах не учитывается. Также труба имеет ряд геометрических характеристик - высоту точек контакта с узлами (H<sub>in</sub>, м) и (H<sub>out</sub>, м), они

учитываются при наличии жидкой фазы в узлах.

Можно выделить несколько классов реберных объектов:

- Tube-based алгоритмы основаны на алгоритме трубы и позволяют менять ее пропускную способность в зависимости от сигналов системы управления. Это алгоритмы задвижек (Catch), заслонок (Valve), обратных клапанов (Shutoff Valve), ограничителя давления (Pressure Valve), клапанов с аналоговым управлением (AO).

- Алгоритмы активных элементов, таких как компрессор (Compressor) и насос (Pump), могут создавать перепад давлений между своими узлами. Их базовые характеристики - максимальный создаваемый перепад давления (dP<sub>max</sub>, кгс) и максимальный расход (F<sub>max</sub>, м<sup>3</sup>/сек).

- Комплексные алгоритмы обеспечивают энергетическое взаимодействие между разными сегментами технологической модели. К ним относятся теплообменник (Radiator) и котел (Boiler). Теплообменник обеспе-

чивает передачу тепла между двумя потоками (трубами), а котел позволяет организовать тепловое взаимодействие между узлом-емкостью и потоком продукта. Основной характеристикой этих элементов является коэффициент теплового взаимодействия (Kt, %).

## Модель системы автоматизации

Модель системы автоматизации предназначена для эмулирования поведения объектов существующей АСУТП.

По возможности используется оригинальная система АСУТП, расширенная функциями приостановки и продолжения работы, сохранения и восстановления состояния.

При невозможности использования оригинальной АСУТП (из-за отсутствия средств эмуляции или других причин) модель системы автоматизации реализуется доступными средствами настолько приближенно к оригинальной, насколько позволяет ее

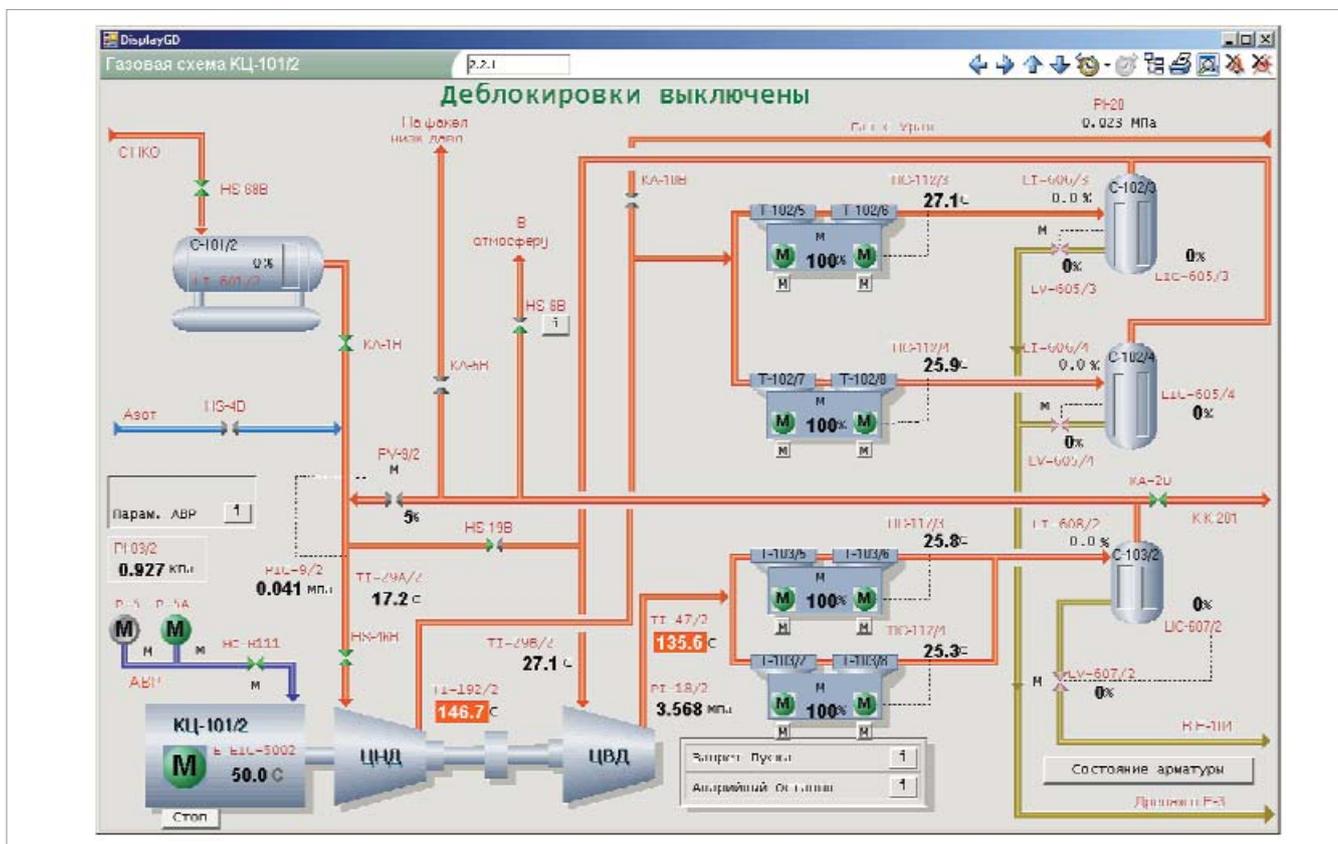


Рис. 3. Пример реализации интерфейса оператора для АСУТП Metso

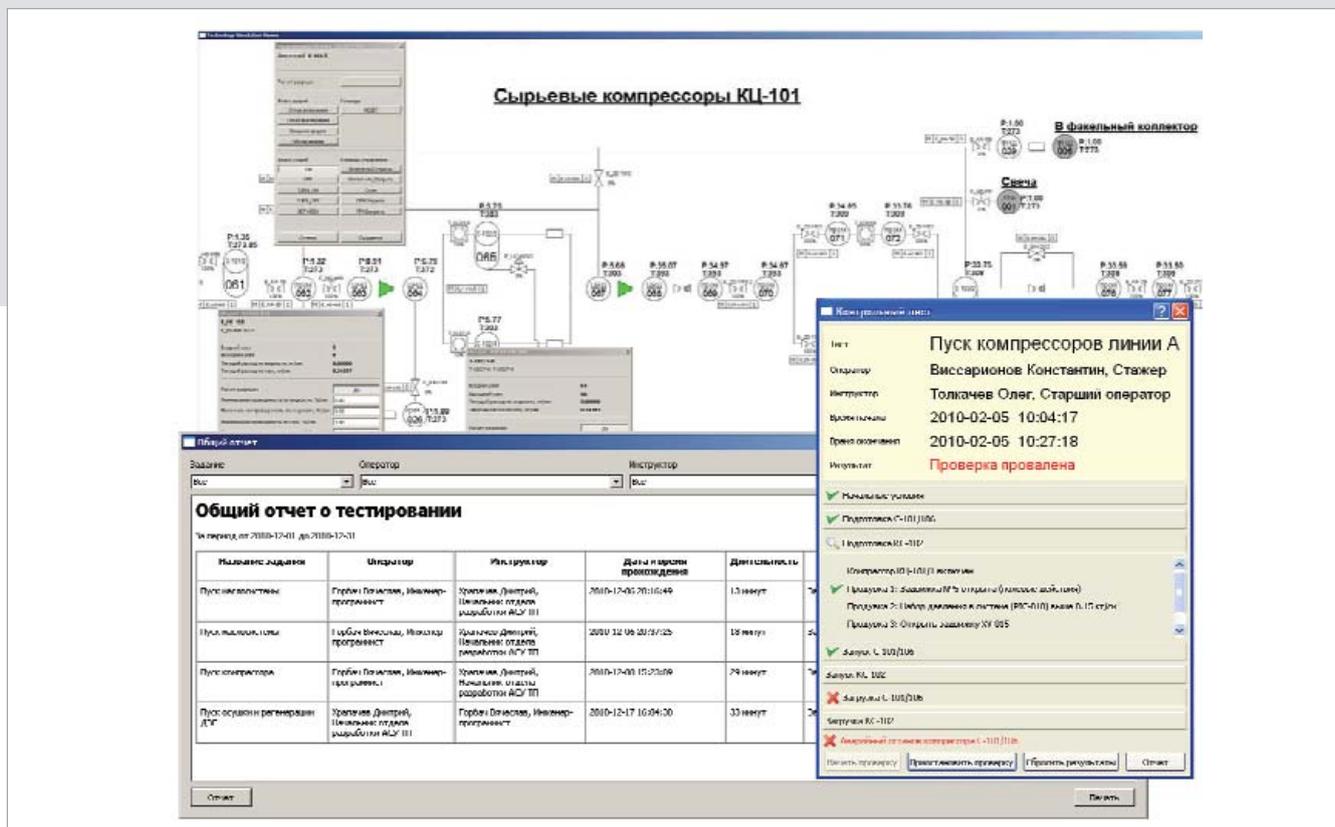


Рис. 4. Выполнение контрольного задания и просмотр отчета о его прохождении

документация. На данный момент времени для этого используется эмулятор RSLogix Emulate 5000 (Rockwell Software).

### Система управления и интерфейс оператора

Оператору доступны только программные инструменты, аналогичные используемым им на рабочем месте (рис. 3). Кроме того, для реализации ряда функций, которые оператор выполняет вне зоны, контролируемой существующей системой АСУТП, предусмотрен инструмент "Полевые действия", позволяющий влиять на ограниченный набор параметров модели. Интерфейс оператора может одновременно использоваться на разных рабочих станциях тренажерного комплекса, в том числе на станции инструктора.

Чтобы привести технологическую ситуацию к нужному состоянию, инструктор

кроме использования обычных средств управления АСУТП взаимодействует непосредственно с моделью технологического процесса и процедурами тренажерного комплекса. Для этих действий предназначен программный инструмент "Конфигуратор".

### Средства контроля ТК ТРЕК

Инструктору тренажерного комплекса помимо интерфейса оператора предоставлен набор инструментов для влияния на текущую ситуацию (рис. 4):

- Просмотр текущего состояния технологической модели.
- Настройка параметров технологической модели.
- Прямое вмешательство в технологический процесс и систему управления.
- Сохранение и восстановление состояний технологического процесса.
- Запуск контрольных заданий и просмотр отчетов о пройденных заданиях.

- Управление учетными записями пользователей.

### Заключение

На данный момент специалистами компании "Югра-АСУ" ТК ТРЕК внедрен на ряде предприятий газоперерабатывающей промышленности:

- Нижневартовский ГПК;
- Губкинский ГПК;
- Белозерный ГПК;
- Няганьгазпереработка;
- Ноябрьский ГПК.

В данный момент разрабатывается ТК ТРЕК для Южно-Балыкского ГПК.

Компанией накоплен огромный опыт в области создания тренажерных комплексов. ТК ТРЕК постоянно развивается и обновляется, налажены контакты с рядом поставщиков решений в области АСУТП.



# Компания "Югра-АСУ"

**Главный офис**  
628600, РФ,  
Ханты-Мансийский автономный  
округ - Югра,  
г. Нижневартовск,  
ул. Индустриальная, 17  
www.yugra-asu.ru  
Югра-АСУ.РФ

**Почтовый адрес**  
628606, г. Нижневартовск, а/я 112  
Тел.: (3466) 62-53-87, 62-53-51  
Факс (3466) 62-53-91  
mail@yugra-asu.com  
mail@yugra-asu.ru

**Дополнительный офис**  
г. Москва, ул. Обручева,  
д. 27, стр. 8, оф. 101  
Тел. (985) 137-03-32  
ergin@yugra-asu.com  
ergin@yugra-asu.ru

Компания создана в 2003 году. Основной состав, работающий с момента ее организации по настоящее время, - команда высококвалифицированных специалистов, имеющих более чем 20-летний опыт, связанный с разработками в области промышленной автоматизации (АСУТП).

Компания "Югра-АСУ" занимается решением задач комплексной автоматизации производственных процессов и обеспечивает проведение полного цикла работ: от технического задания и проектной документации до пусконаладки, сдачи в эксплуатацию и постгарантийного обслуживания.

## Услуги компании

- Технические консультации
  - Проектирование систем автоматизации технологических процессов и производств на основе программно-аппаратных средств ведущих мировых производителей (Rockwell Automation, Wonderware, Siemens, Metso)
  - Поставка и монтаж оборудования
  - Шеф-монтаж и пусконаладка систем
  - Первичная и периодическая проверка (калибровка) измерительных каналов счета импульсов и аналогового ввода контроллеров АСУТП
  - Обучение персонала
  - Сопровождение внедренных систем
  - Имитационное моделирование технологических процессов (разработка и внедрение тренажерных комплексов)
- Мы предлагаем полный перечень работ по инжинирингу: разработку технического задания, технического проекта и выпуск рабочей документации, изготовление шкафов управления, конфигурирование системы, разработку прикладного программного обеспечения, монтаж и пусконаладку программно-технических комплексов. При проведении проектных работ применяются средства автоматизированного проектирования (САПР), что обеспечивает высокое качество и скорость выполнения проектов.

Области применения наших разработок: энергетика, нефтедобывающая, нефтеперерабатывающая, газовая промышленность, пищевая промышленность, системы жизнеобеспечения зданий.

Являясь системным интегратором Rockwell Automation и Wonderware, мы реализуем комплексный подход при решении задач в области промышленной автоматизации. Применение передовых технологий позволяет производить продукцию высокого качества. На все оборудование и программное обеспечение распространяется фирменная гарантия производителя.

Специалисты компании регулярно проходят профессиональное обучение и обладают необходимыми знаниями в сфере разработки и внедрения систем управления технологическими процессами.

Нами накоплен большой опыт в проектировании систем, разработке ПО, изготовлении и закупке отдельных компонентов, монтаже систем, методике тестирования и пусконаладке. Мы построили свою работу так, что основной цикл - от получения задания до отгрузки потребителю готовой системы - может составлять всего 4 месяца.

## Наши заказчики

- ОАО "СибурТюменьГаз"
- ООО "Нижневартовское нефтеперерабатывающее объединение" (ННПО)
- ОАО "Нижневартовское нефтегазодобывающее предприятие" (ННП)
- ООО СП "Ваньеганнефть"
- ОАО "Самотлорнефтегаз"
- ТПП "Лангепаснефтегаз"
- ОАО "ТНК-Нижневартовск"
- ЗАО "Моспромстрой"
- ОАО "Московская объединенная энергетическая компания" (МОЭК)

