

УДК 519.68

*Кривов Максим Викторович,**к.т.н., доцент, зав. кафедрой вычислительных машин и комплексов,
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет», e-mail:
vmk@angtu.ru**Колмогоров Алексей Геннадьевич,**к.т.н., доцент, зав. кафедрой автоматизации технологических процессов,
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет», e-mail:
atp@angtu.ru**Кобозев Владимир Юрьевич,**старший преподаватель кафедры автоматизации технологических процессов,
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»**Благодарный Николай Семенович,**к.т.н., доцент, зав. кафедрой автоматизированного электропривода и электротехники,
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных техноло-
гий и дизайна»*

КОНЦЕПЦИЯ СИНТЕЗА КОМПЬЮТЕРНЫХ ТРЕНАЖЕРНЫХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ОПЕРАТОРОВ

Krivov M.V., Kolmogorov A.G., Kobozev V.Y., Blagodarnyi N.S.

CONCEPT OF THE SYNTHESIS OF COMPUTER SIMULATORS FOR TRAINING OPERATORS

Аннотация. Рассмотрена концепция синтеза компьютерных тренажерных комплексов для обучения операторов потенциально опасных производственных объектов, основанная на применении разработанной программной платформы моделирования.

Ключевые слова: промышленная безопасность, компьютерный тренинг операторов, тренажерная модель, платформа моделирования.

Abstract. The concept of synthesis of computer training complexes for training operators of potentially dangerous production facilities, based on the application of the developed software modeling platform, is considered.

Keywords: industrial safety, computer training of operators, simulator model, simulation platform.

В соответствии с Федеральным законом №116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» [1], под категорию опасных попадают производство, хранение и транспортировка взрывопожароопасных сред. В соответствии с законодательством, предприятие, эксплуатирующее подобные среды, обязано разрабатывать планы ликвидации аварийных ситуаций, а также вести подготовку персонала действиям по управлению опасными производственными объектами в штатных и нештатных ситуациях.

Компьютерные тренажерные комплексы (КТК) отвечают требованиям законодательства, так как позволяют в группе или индивидуально формировать у персонала компетенции безопасного управления производством [2].

Стимулированный законодательными

нормами в области охраны труда и промышленной безопасности, рынок разработок компьютерных тренажерных систем и комплексов является бурно развивающимся и финансово-ёмким. Стоимость разработки и особенности законодательства о закупочной деятельности предприятий-заказчиков требуют от поставщиков высокой ответственности и оперативности разработок КТК.

Ядром КТК является тренажерная модель – информационное и программное обеспечение для симуляции поведения технологического процесса (ТП) и его аппаратного окружения. Жизненный цикл тренажерной модели состоит из стадий структурного синтеза, параметрической идентификации, построения расчетной схемы и итеративного расчета модели интеграции с системами эмуляции моделируемого процесса (рабочими станциями оператора) и автомати-

зированной обучающей системой. Для крупных полномасштабных проектов эффективность данного цикла определяется экосистемой тренажерного комплекса, включающей набор компонентов для автоматизированного проектирования тренажерной модели, ее настройки и отладки.

Одним из практических аспектов проектирования КТК является соответствие его содержания требованиям производства с точки зрения задач обучения персонала и контроля качества профессиональной подготовки. Также при разработке требуется учитывать возможность изменения требований заказчика к объекту моделирования, а также задачам тренинга.

При анализе публикаций по тематике разработок КТК для подготовки операторов-технологов опасных производств прослеживается чёткая тенденция, что большинство проектов тренажёрных систем - частные не-системные решения, ориентированные на конкретное производство. Масштабируемость решения (в смысле переноса одного проекта тренажёра на другое производство) - редко рассматриваемое свойство. В связи с этим приобретает особое значение собственный опыт и системность разработки математического описания технологических процессов и систем для сопровождения.

Для реализации системного подхода к разработке тренажёрных систем как экосистемы, требуется такой инструмент, как платформа моделирования. Платформа должна выполнять роль конструктора модели, позволяющего разработчикам оперативно проектировать математическое описание, используя библиотеки компонентов модели химико-технологической системы. Также платформа должна минимизировать время, затрачиваемое на разработку модели и сокращение числа ошибок. Однако, в научной литературе вопросы построения платформ моделирования слабо освещены, а сами платформы являются интеллектуальной собственностью крупных разработчиков.

Авторами предложена и реализована концепция собственной программной платформы синтеза КТК, функциональная схема которой приведена на рисунке 1. На начальных двух этапах разработчик, на основе декомпозиции химико-технологической схемы моделируемого процесса, проектирует структуру расчетной схемы (РС) тренажерной модели, далее формализует ее в форме инфор-

мационного описания. Также на этих этапах проводится параметрическая идентификация модели.

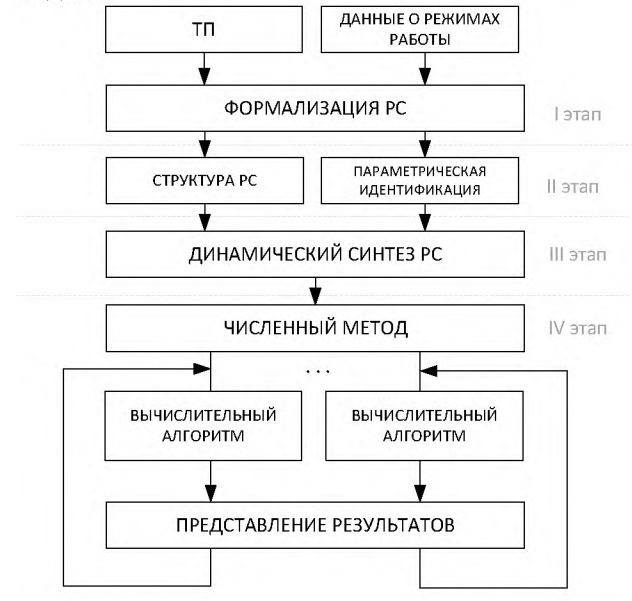


Рисунок 1 - Функциональная схема симуляции на платформе КТК

Третий этап наступает уже при запуске тренажера в режиме симуляции ТП – программные методы на основе информационного описания синтезируют расчетную схему для численных методов расчета модели.

На четвертом этапе, уже в процессе эксплуатации тренажерной модели в составе КТК, итерационный вычислительный процесс вызывает численные методы для решения. Полученные расчетные данные предоставляются компонентам человеко-машинного интерфейса (ЧМИ), эмулируемым в составе КТК.

Концепция предполагает, что платформа КТК формируется двумя типами компонентов: сервера моделирования и клиентами – эмуляторами рабочих мест обучаемых операторов (симуляторы SCADA, интерактивные технологические схемы, интерактивные эмуляторы полевого оборудования и т.п.). На рисунке 2 показана структура разработанной платформы КТК.

Сервер моделирования реализует ядро платформы КТК на базе потоконезависимого приложения. При подключении по вычислительной сети клиентов и запросе упражнений тренинга платформа генерирует изолированный экземпляр тренажерной модели, инициализирует его начальными условиями, разбивает на программные потоки процесс расчета модели, активирует и управляет рас-

четом модели (запуск, останов, пауза и ускорение счета).

В структуре тренажерной модели реализуется три вида математического описания: модели ТП, модели распределенной

системы управления (PCY) и модели системы противоаварийной защиты (СПАЗ). Для каждого вида модели на сервере создается отдельный поток, в котором реализуется численный метод расчета.

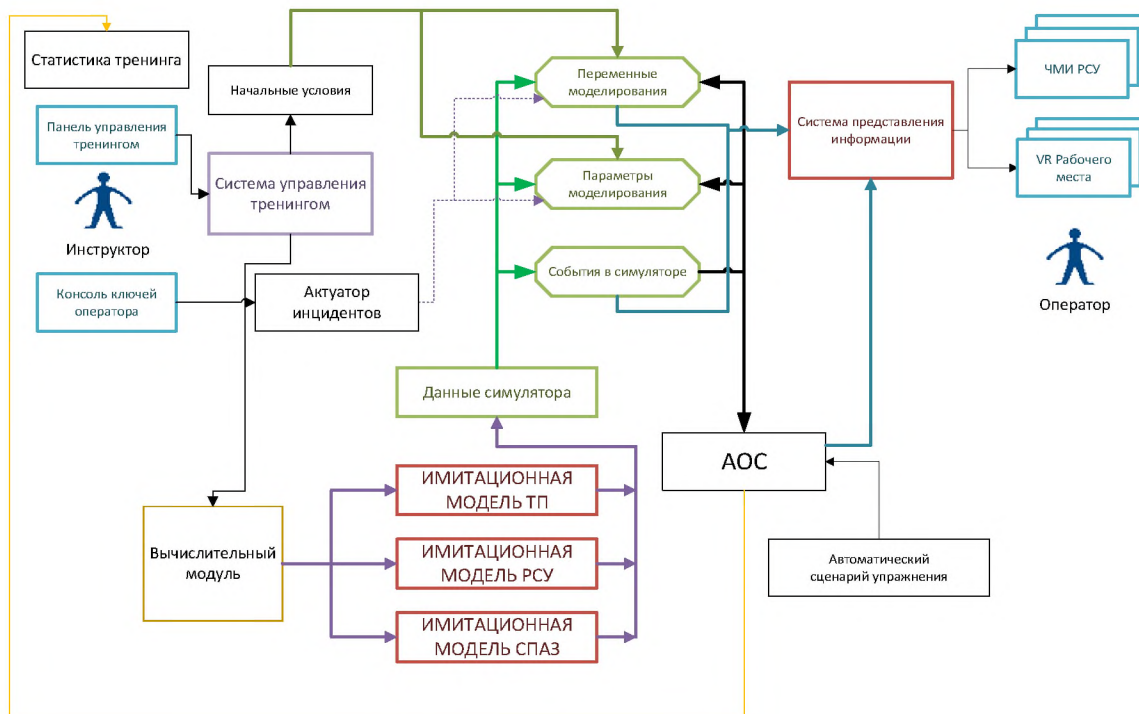


Рисунок 2 - Структура платформы КТК

Для информационного взаимодействия в тренажерной модели реализована In Memory Cashed Database (NoSQL), которая позволяет собрать результаты расчета в информационные блоки, а затем, по запросам, раздавать их клиентам сервера моделирования с высоким быстродействием. Для хранения информации о структуре тренажерной модели и её параметрах используется SQL база данных.

Компьютерный тренинг будет качественным и востребованным только при условии полноценного методического обеспечения и наличия эффективных инструментов реализации методик обучения. Для этого в состав платформы КТК внедрена автоматизированная обучающая система (АОС), структура которой показана на рисунке 3. Данная система позволяет в процессе тренинга автоматически сопоставлять действия обучаемого оператора с эталонной моделью поведения, выдавать замечания и рекомендации и автоматически оценивать действия обучаемого [3]. Эталонная модель поведения представляет собой граф, формализуемый с

помощью внутреннего языка программирования платформы КТК.

В КТК можно выделить следующие функции тренинга по формированию навыков:

- навыки навигации в ЧМИ;
- формирование когнитивных навыков на основе считывания информации с ЧМИ и анализа информации о процессе;
- формирование управляющих воздействий в виде целенаправленного изменения режима работы моделируемого объекта инструктором или оператором;
- обучение в сопровождении с обучающей системой КТК выбору оператором корректных управляющих решений в текущей ситуации;
- ретроспективный анализ действий персонала при решении задач управления.

Обучение с инструктором реализуется с помощью автоматизированного рабочего места (станции) инструктора. Интерфейс станции инструктора имеет консоль для выбора тренировочных упражнений, а также ключи активации нештатных ситуаций, ко-

торые позволяют инструктору инициализировать сбои и отказы в моделируемом процессе.

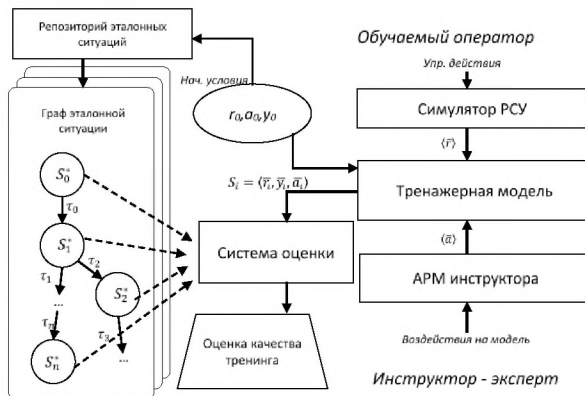


Рисунок 3 - Автоматизированная обучающая система (АОС)

Изложенный в данной работе концептуальный подход успешно применяется авторами в рамках разработки КТК для действующих производственных мощностей по складированию сжиженных углеводородов на АО «Ангарский завод полимеров». На текущий момент в промышленной эксплуатации находятся три КТК, предназначенные для обеспечения компьютерного тренинга оперативного персонала по хранению и транспортировке основных сжиженных газов при синтезе полимеров: этилена, пропилена, бутилен-бутадиена, изопентана, хлористого этила, а также широкой фракции легких углеводородов.

Руководством завода ответственно и планомерно исполняются предписанные Федеральным законодательством обязательные требования по оснащению компьютерными тренажерными системами подконтрольных им опасных производственных объектов. Опыт эксплуатации КТК на местах позволяет с уверенностью говорить о достигнутых позитивных тенденциях. Прямой экономический эффект от внедрения подобных систем обучения оценить весьма проблематично, но косвенные показатели, касающиеся области обеспечения промышленной безопасности, трудно переоценить.

Во-первых, суть и методика обучения на КТК существенно отличается от традиционных подходов к подготовке и переподготовке оперативного персонала, которая зачастую сводится лишь к теоретическому изучению нормативных технологических документов с последующей сдачей экзамена

[4]. Воспроизводимые на КТК в интерактивной ситуативной форме, упражнения позволяют приобрести практический (хоть и виртуальный) опыт погружения в события, с которыми на момент тренинга обучаемый мог и не столкнуться в реальных производственных условиях. Этот фактор существенно развивает и укрепляет ассоциативное мышление обучаемого при возможном гипотетическом варианте развития подобных событий на подконтрольной ему установке.

Во-вторых, в распоряжении руководства цехов появился эффективный автоматизированный инструмент для самостоятельной подготовки вновь принимаемых на рабочие места лиц. Сроки подготовки персонала, готового оперативно оценивать и адекватно реагировать на любую штатную или нештатную производственную ситуацию, при этом существенно уменьшаются.

В-третьих, применение встроенной в КТК, автоматизированной системы оценки знаний действующего производственного персонала исключает вероятность субъективного подтверждения его текущего уровня подготовки на этапе переекспертации, что мотивирует работников к постоянному самоконтролю и поддержанию своей квалификации на высоком профессиональном уровне.

В-четвертых, встроенный в КТК модуль статистики, позволяет объективно оценивать и вовремя реагировать на потенциальные недостатки в освоении работником того или иного компонента системы промышленной безопасности объекта путем акцентирования внимания на «слабых местах» его подготовки.

В заключение хотелось бы отметить, что за последнее десятилетие в России на потенциально опасных производственных объектах существенно возросла роль и значение служб, осуществляющих надзор в сфере промышленной безопасности и охраны труда. Основной составляющей в этой сложной производственной системе является человек и пресловутый человеческий фактор, который свести к нулю не сможет никакая технически совершенная система. Но минимизировать его вполне по силам, создавая промышленные системы компьютерного тренинга, вооружившись современными информационными технологиями, а также ответственностью и компетентностью их разработчиков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный закон от 21.07.1997 N 116-ФЗ (ред. от 29.07.2018) "О промышленной безопасности опасных производственных объектов".
2. Patle, D.S.; Ahmad, Z.; Rangaiah, G.P. Operator training simulators in the chemical industry: // Rev. Chem. Eng, No. 30, 2014. pp. 199–216.
3. Кривов М.В., Благодарный Н.С., Колмогоров А.Г. Методика автоматизированной оценки качества управления технологическим процессом операторами котлов утилизаторов // Вестник Ангарского государственного технического университета. 2015. № 9. С. 122-126.
4. Благодарный Н.С., Кривов М.В. Применение компьютерного тренинга в корпоративном обучении // Образовательные технологии и общество, Т. 22, № 1, 2019. С.3-10.

УДК 004.02

Сенотова Светлана Анатольевна,

к.т.н., доцент, доцент кафедры «Вычислительные машины и комплексы»,
 ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет», тел.: 89021723488

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ В РЕАКТОРЕ ПОЛУЧЕНИЯ
 ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ

Senotova S.A.

TEMPERATURE DISTRIBUTION IN PRODUCTION REACTOR
 POLYCRYSTALLIC SILICON

Аннотация. В статье рассматривается распределение температуры в реакторе получения поликристаллического кремния. Функция, дающая распределение температуры, является решением Лапласа при соответствующих краевых условиях. Для решения задачи построена сетка. Составлена и решена система алгебраических уравнений. Программа написана на языке C#.

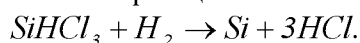
Ключевые слова: реактор получения поликристаллического кремния, распределение температуры, уравнение Лапласа, метод сеток, таблица цветов.

Abstract. The article discusses the temperature distribution in the reactor for producing polycrystalline silicon. The function giving the temperature distribution is Laplace's solution under the appropriate boundary conditions. To solve the problem, a grid is built. A system of algebraic equations has been compiled and solved. The program is written in C#.

Keyword: polycrystalline silicon reactor, temperature distribution, Laplace equation, grid method, color table.

Поликристаллический кремний – основной полупроводниковый материал, применяемый в современной микроэлектронике, силовой электротехнике, солнечной энергетике, микромеханике.

Технология производства поликристаллического кремния (Si) основана на "Сименс-процессе". По этому методу смесь трихлорсилана (SiHCl₃) и водорода (H₂) подается в реактор (рисунок 1), где трихлорсилан восстанавливается и кремний осаждается на стержнях-основах по реакции:



При достижении температуры на стержнях-основах 950 °С – 1100 °С за счет прохождения через них электрического тока начинают подачу водорода и трихлорсилана в реактор.

Трихлорсилан подается в теплообменники, где нагревается до 110 °С – 150 °С водяным паром.

Водород также подается в теплообменники, где нагревается до температуры 120 °С – 170 °С водяным паром.

Парогазовая смесь подается в нижнюю часть реактора через центральный ввод.