

СТАТЬЯ

УДК 004.942

**РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ  
КОМПЬЮТЕРНОГО ТРЕНАЖЕРНОГО КОМПЛЕКСА  
УЗЛА ПОЛУЧЕНИЯ ИЗОПЕНТАНОВОЙ ФРАКЦИИ В UNISIM DESIGN**

**Валитов Д.Р., Нафикова А.Р.**

*Стерлитамакский филиал Башкирского государственного университета, Стерлитамак,  
e-mail: denisvalitof@yandex.ru*

Важнейшим, а также наиболее многообещающим и эффективным сценарием для увеличения качества и безопасности ведения технологических объектов считается применение средств, которые дают возможность моделировать технологические процессы и системы управления на компьютере перед выходом на реальный производственный объект. На данном этапе происходит решение двух основополагающих требований: подготовка персонала и выбор результативных технологических режимов. В данной статье рассматривается создание математической модели компьютерного тренажерного комплекса узла получения изопентановой фракции в Unisim Design, который, в свою очередь, должен обеспечить практическую подготовку будущих специалистов по безопасному ведению технологического процесса благодаря точной математической модели процесса получения изопентановой фракции. Данный комплекс также способствует улучшению навыков быстрого реагирования и предотвращения чрезвычайных ситуаций. Решение о создании компьютерного тренажерного комплекса возникло в связи с необходимостью подготовки кадров, повышения и поддержания их квалификации и опыта. Хорошая подготовка операторского персонала – это основа безопасности и высокая производительность работы. Данная возможность должна сократить число аварийных ситуаций и повысить уверенность у начинающего персонала. В результате исследования была разработана математическая модель компьютерного тренажерного комплекса на основе Unisim Design.

**Ключевые слова:** компьютерный тренажерный комплекс, математическая модель, изопентановая фракция, Unisim Design, обучение персонала

**DEVELOPMENT OF A MATHEMATICAL MODEL  
OF A COMPUTER TRAINING COMPLEX FOR THE ISOPENTANE  
FRACTION PRODUCTION UNIT IN UNISIM DESIGN**

**Valitov D.R., Nafikova A.R.**

*Sterlitamak branch of Bashkir State University, Sterlitamak, e-mail: denisvalitof@yandex.ru*

The most important, as well as the most promising and effective scenario for increasing the quality and safety of injection by technological objects is the use of tools that make it possible to simulate technological processes and control systems on a computer before entering a real production facility. At this stage, two fundamental requirements are being addressed: personnel training and selection of effective technological modes. This article discusses the creation of a mathematical model of a computer training complex for the isopentane fraction production unit in Unisim Design, which, in turn, should provide practical training for future specialists in the safe management of the technological process, thanks to an accurate mathematical model of the isopentane fraction production process. This complex also helps to improve the skills of rapid response and prevention of emergencies. The decision to create a computer training complex arose in connection with the need to train personnel, improve and maintain their qualifications and experience. Good operator training is the basis for safety and high productivity. This capability should reduce the number of accidents and increase the confidence of the novice staff. As a result of the research, a mathematical model of a computer training complex based on Unisim Design was developed.

**Keywords:** computer training complex, mathematical model, isopentane fraction, Unisim Design, personnel training

На текущий момент подготовка рабочего персонала все больше привлекает внимание руководства компании. Успех любого предприятия зависит от качества обучения персонала, работающего в данной компании, однако традиционных технологий обучения уже недостаточно, необходимо применение накопленного опыта при решении конкретных

профессиональных задач, в том числе и решение в нестандартных ситуациях. В связи с этим на предприятиях разрабатываются и вводятся разнообразные технологии и системы подготовки кадров через компьютерные тренажерные комплексы. Они используются как для оценки нынешнего уровня подготовки, так и для его подъема [1].

Использование компьютерных тренажеров для обучения операторов технологических процессов обусловлено в соответствии с Федеральными нормами и правилами в области промышленной безопасности «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств» (утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 11 марта 2013 г. № 96) п. 2.11 для приобретения практических навыков безопасного выполнения работ, предупреждения аварий и ликвидации их последствий на технологических объектах с блоками I и II категории взрывоопасности все рабочие и инженерно-технические работники, непосредственно занятые ведением технологического процесса и эксплуатацией оборудования на этих объектах, проходят курс подготовки с использованием современных технических средств обучения и отработки таких навыков (компьютерные тренажеры, учебно-тренировочные полигоны) [2].

Введение на предприятиях компьютерных тренажеров, с одной стороны, позволяет улучшать подготовку операторов из-за постоянного усложнения технологических процессов и внедрения новейших систем управления на производстве, а также обучать более качественному ведению процесса только что прибывших работников для предотвращения аварийных ситуаций. С другой стороны, безостановочно развивающиеся нынешние информационные технологии позволяют основывать новые системы для обучения на компьютерных тренажерах, превышающие по эффективности популярные формы обучения, в том числе потенциально небезопасные и не всегда доступные тренировки на реальных объектах [3].

На данный момент имеются всевозможные программно-аппаратные инструменты для компьютерного моделирования технологических объектов, подбора технологических режимов и настройки контуров регулирования. К таким средствам, в частности, относится программный пакет Unisim Design.

Инженеры с помощью программно-го комплекса Unisim Design имеют возможность разрабатывать стационарные и динамические математические модели для планирования и максимизации про-

мышленных установок и систем управления, а также проведения анализа аварийных ситуаций и рисков, оценки защищенности, прогноза продуктивности, ликвидации проблем, увеличения качества эксплуатации, планирования и управления активами. Системы моделирования технологических процессов позволяют повысить результативность проектирования за счет инструментов управления рабочими процессами и достигнуть экономии серьезных издержек благодаря правильному подбору материалов при проектировании систем безопасности.

Цель исследования: разработка математической модели компьютерного тренажерного комплекса узла получения изопентановой фракции в Unisim.

#### **Материалы и методы исследования**

Процесс получения изопентановой фракции происходит в колонне К-1. Эта колонна оборудована 60 тарелками и состоит из двух частей:

- К-1/І – укрепляющая часть;
- К-1/ІІ – отгонная часть.

Сырье поступает на 32 тарелку колонны с температурой 57 градусов. После нагрева и ректификации в К-1/ІІ, пары углеводородов поступают в нижнюю часть колонны К-1/І. Верхний продукт колонны К-1/І с температурой 55–85 °С после охлаждения в ХК-1, ХК-2 и водяном холодильнике Х-1 поступает в рефлюксную емкость Е-1. Изопентановая фракция из емкости Е-1 поступает на прием насосов Н-3 и Н-4.

В основу компьютерного тренажера должна быть положена точная математическая модель технологического процесса, который содержит внутри себя технологические, статические, а также динамические установки, контрольные измерительные приборы и модель системы управления, которая содержит в себе методы управления и противоаварийной защиты. Для того чтобы система находилась в полностью рабочем состоянии, необходимо постоянно адаптировать математические модели к нынешнему состоянию объекта управления, либо ее оптимизации [4].

Unisim Design – это программный комплекс, который включает в себя возможность выполнять огромный круг требуемых задач на единственной платформе моделирования, от процесса планирования до оптимизации управления.

Преимущества данного программно-обеспечения:

- 1) статические модели могут быть легко переключены в динамический режим;
- 2) продвинутый инструментарий;
- 3) поддерживается целый диапазон моделей технологических аппаратов;
- 4) Unisim Design владеет специальными пакетами расчета термодинамики, которые служат для моделирования всего диапазона технологического процесса.

Для моделирования технологического процесса узла получения изопентановой фракции был выбран программный пакет среды моделирования Unisim Design.

Самым первым шагом для моделирования производственного процесса является задание набора единиц используемых компонентов. Для этого необходимо открыть программу Unisim Design и выбрать в левом верхнем углу пункт «File», с помощью него создаем новый проект, в котором будем осуществлять моделирование исследуемого процесса. После создания нового проекта открывается окно «Simulation Basis Manager», при нажатии на кнопку «Add» будет создан новый список компонентов и откроется окно их выбора. При моделировании технологического процесса узла получения изопентановой фракции понадобится выбрать такие компоненты, как бутен, пентан, пропан, циклопентан, гексан, бензол, гептан, метан, водород, вода, азот и этан.

Основной задачей при создании математической модели в Unisim Design является выбор необходимого термодинамического пакета, подходящего для конкретно заданного технологического процесса. При моделировании узла получения изопентановой фракции необходимы критические параметры каждого компонента. Чаще всего уравнение состояния Peng-Robinson используется для возможности моделирования процессов транспортировки, добычи, а также для переработки природного газа и нефти. Это уравнение наилучшим образом описывает многие системы в широком спектре условий. С помощью данного уравнения состояния Peng-Robinson подсчитываются фазовые равновесия однофазных, двухфазных и трехфазных систем с высокой степенью производительности и надежности. Поэтому выбираем вкладку Property Package Selection и выделяем строку с уравнением Peng-Robinson.

Для задания состава потока необходимо перейти на страницу Composition

и ввести данные потока в мольных долях. Задание параметров потока в Unisim Design происходит в окне «Conditions». Unisim Design позволяет нам вводить абсолютно любые значения в любых рациональных единицах измерениях, автоматически изменяя их в требуемые по умолчанию. Если требуется задание параметров в единицах, которые отличаются от тех, что приняты по стандарту, вводим необходимое значение и нажимаем пробел. Далее требуется из появившегося перечня выбрать нужные нам единицы измерения. В данном окне необходимо ввести такие параметры, как температура, давление и расход потока [5].

Также в данном программном пакете предусмотрена поддержка полного спектра моделей технологических аппаратов, включая колонны дистилляции, реакторы и теплообменное оборудование. Поддерживается работа как с твердыми веществами, так и в смешанных средах. Существует также большой выбор логических элементов для настройки системы управления и возможности имитировать различные технологические ситуации. Это дало возможность достичь высокого уровня точности расчетов процесса.

Следующим шагом моделирования математической модели узла получения изопентановой фракции в Unisim Design является установка необходимого технологического оборудования: колонны, емкости, насосы, холодильники, регуляторы и датчики. Также требуется произвести их настройку и задать динамические параметры, такие как объем, высота, расположение относительно других аппаратов и так далее. На рис. 1 показано окно настройки ПИД-регулятора в Unisim Design.

Собрав полностью схему и настроив каждое оборудование, можем запустить собранную модель процесса получения изопентановой фракции. На рис. 2 и 3 показаны первая и вторая часть математической модели в Unisim Design.

Для запуска собранной модели в динамическом режиме необходимо установить клапаны на все входные и выходные материальные потоки. Это осуществляется для того, чтобы программа смогла просчитать и точно смоделировать технологический процесс без возникновения ошибок.

Запуск модели осуществляется путем нажатия кнопки «Dynamic Mode» в меню главного окна программы.

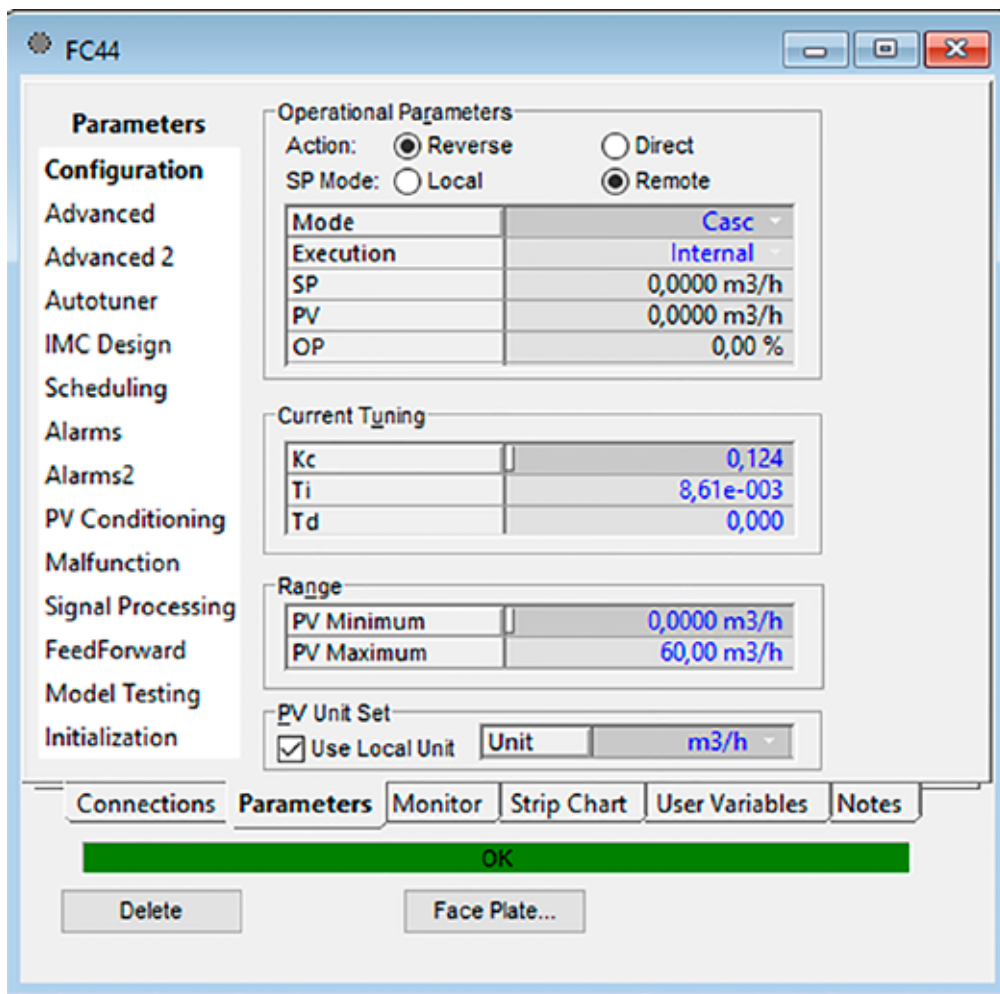


Рис. 1. Окно настройки ПИД-регулятора

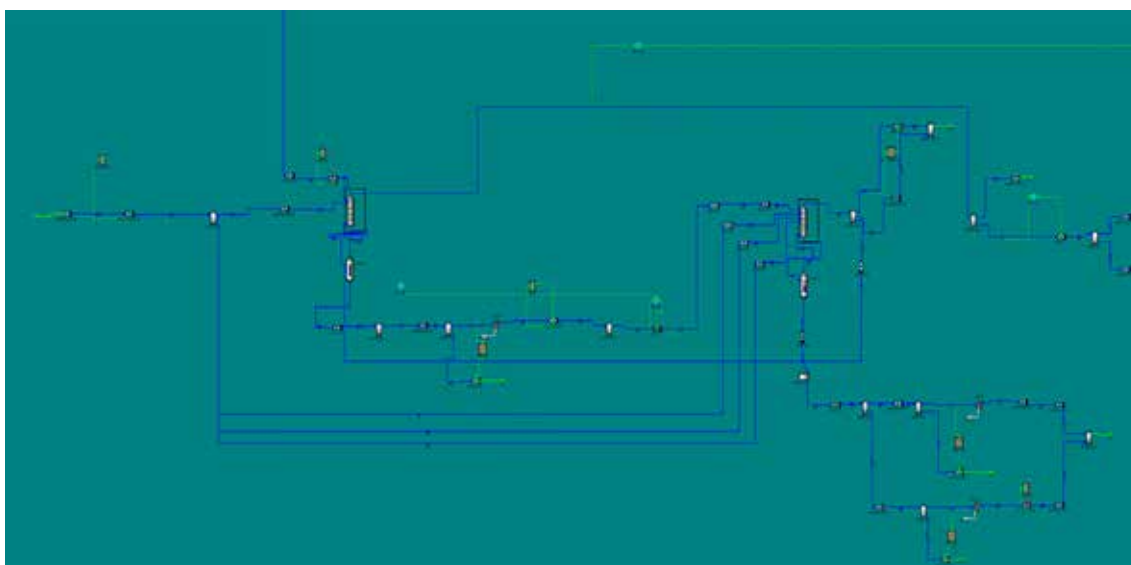


Рис. 2. Первая часть уменьшенной схемы математической модели процесса получения изопентановой фракции в Unisim Design

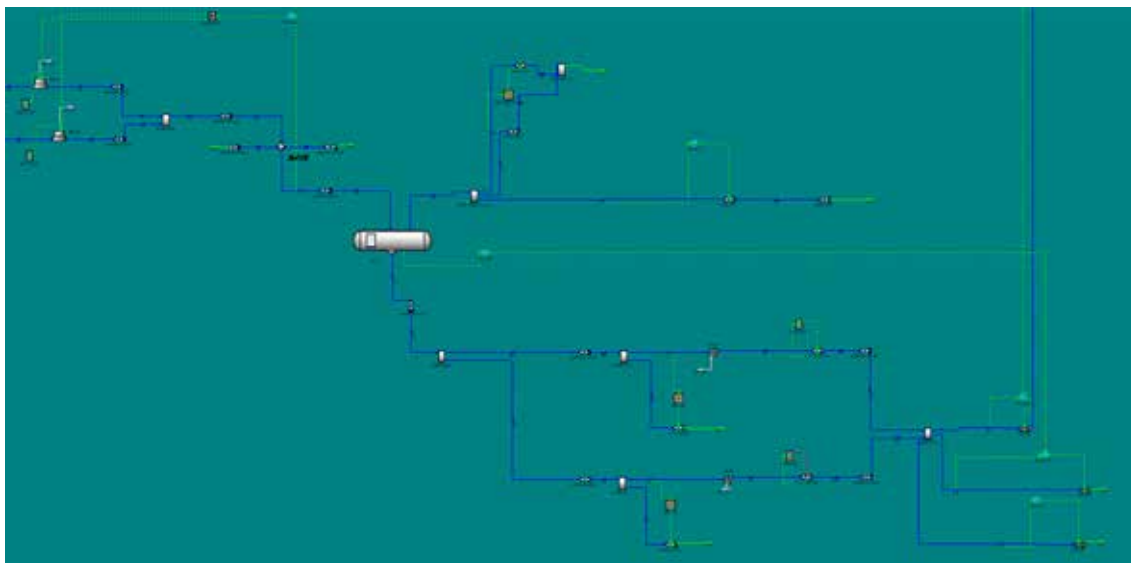


Рис. 3. Вторая часть уменьшенной схемы математической модели процесса получения изопентановой фракции в Unisim Design

Worksheet	
Conditions	
Properties	
Composition	
K Value	
User Variables	
Notes	
Cost Parameters	

Mole Fractions	
i-Butane	0,001255
n-Butane	0,031483
22-Mpropane	0,002561
i-Pentane	0,202140
n-Pentane	0,552074
Cyclopentane	0,033322
23-Mbutane	0,014393
2-Mpentane	0,097581
3-Mpentane	0,061515
n-Hexane	0,133183
Mcyclopentan	0,057819

Total: 1,00000

Buttons: Edit..., Edit Properties..., Basis...

Worksheet Attachments Dynamics

OK

Buttons: Delete, Define from Other Stream..., ←, →

Рис. 4. Концентрация изопентана в начальном потоке сырья

The screenshot shows a software window titled '104' with a 'Worksheet' tab selected. On the left, a navigation pane lists 'Conditions', 'Properties', 'Composition', 'K Value', 'User Variables', 'Notes', and 'Cost Parameters'. The main area displays a table with the following data:

	Mole Fractions
i-Butane	0,009654
n-Butane	0,088392
22-Mpropane	0,007399
i-Pentane	0,365735
n-Pentane	0,477476
Cyclopentane	0,028355
23-Mbutane	0,004007
2-Mpentane	0,014066
3-Mpentane	0,002017
n-Hexane	0,000353
Mcyclopentan	0,000107

Below the table, the 'Total' is shown as 1,00000. At the bottom of the window, there are buttons for 'Edit...', 'Edit Properties...', 'Basis...', 'Delete', and 'Define from Other Stream...'. A green bar with 'OK' is visible above the bottom buttons.

Рис. 5. Концентрация изопентана в конечном потоке сырья

После того как модель успешно запустилась, необходимо подождать определенное время, чтобы программа Unisim Design смогла успешно смоделировать процесс получения изопентановой фракции и точно выполнить расчет математической модели технологического процесса.

#### Результаты исследования и их обсуждение

Чтобы убедиться в том, что разработанная модель работает правильно, необходимо удостовериться, что мольная фракция изопентана увеличивает свое значение на конечном потоке, пройдя через все смоделированное техническое оборудование, относительно начального. Начальное значение изопентана составляло 0,2021 моль (рис. 4). Открыв компонентный состав конечного потока сырья, которое прошло через всю смоделированную технологическую схему, наблюдается, что изопентан увеличил свое значение до 0,3657 моль

(рис. 5), это подтверждает адекватность разработанной модели.

#### Заключение

Рассмотренная в данной статье математическая модель компьютерного тренажерного комплекса узла получения изопентановой фракции позволяет подготовить персонал перед пуском новых автоматизированных систем управления, обучить правильному и безаварийному ведению технологического процесса, а также необходима для поддержания квалификации у действующего технологического персонала. При использовании полученной модели обучаемый персонал не будет ощущать существенной разницы между тренажером и реальным процессом.

#### Список литературы

1. Дозорцев В.М. Компьютерные тренажеры для обучения операторов технологических процессов. М.: СИНТЕГ, 2009. 372 с.

2. Зиятдинов Н.Н., Дмитриева Л.М., Серезкина А.Е., Дмитриев А.Е. Компьютерные технологии в науке и образовании // Вестник технологического университета. 2015. Т. 18, № 2. С. 357–361.

3. Шарафутдинов А.А., Хафизов Ф.Ш., Кудряцев А.А. Внедрение автоматизированных систем оперативного управления и виртуальных тренажерных комплексов, как способ минимизация ошибок личного состава пожарных подразделений // Нефтегазовое дело. 2014. № 3. С. 160–169.

4. Файзрахманов Р.А., Полевщиков И.С. Анализ методов и средств автоматизации процесса обучения операторов производственно-технологических систем // Современные проблемы науки и общества. 2013. № 5. С. 120.

5. Шарафутдинов А.А. Совершенствование оценки эффективности совместной тренажерной подготовки персонала объектов ТЭК и личного состава пожарной охраны: дис. ...канд. техн. наук. Уфа, 2016. 149 с.