

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
**«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»**

Кафедра нефтехимии и техногенной безопасности

**Разработка компьютерной динамической модели реакторного блока
установки гидрокрекинга для работы в составе компьютерного тренажера**

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

студента 2 курса 252 группы _____

направления 18.04.01 «Химическая технология» _____

код и наименование направления, специальности Института химии

Савченко Антона Константиновича

Научный руководитель

 доцент, к.х.н., доцент
должность, уч. ст., уч. зв.

подпись, дата

 И.А. Никифоров
инициалы, фамилия

Заведующий кафедрой

 д.х.н., профессор
должность, уч. ст., уч. зв.

подпись, дата

 Р.И. Кузьмина
инициалы, фамилия

Саратов 2023 год

ВВЕДЕНИЕ

В современной нефтепереработке всё более широкое применение находит процесс гидрокрекинга – каталитический процесс переработки нефтяных дистиллятов и остатков при умеренных температурах и повышенных давлениях водорода на полифункциональных катализаторах. Гидрокрекинг позволяет получать с высокими выходами широкий ассортимент высококачественных нефтепродуктов практически из любого нефтяного сырья путём подбора соответствующих катализаторов и технологических условий, является одним из экономически эффективных, гибких и наиболее углубляющих нефтепереработку процессов.

Для удаления серы и азота из углеводородного сырья могут использоваться различные способы гидрообработки, такие как гидродесульфуризация и гидродеазотирование. Для расщепления тяжелых углеводородов (с высокой плотностью) на более легкие продукты (более низкой плотности) с добавлением водорода может использоваться гидрокрекинг.

Целью данной работы является создание динамической модели реакторного блока установки гидрокрекинга для работы в составе компьютерного тренажера.

Была создана адекватная динамическая модель реакторного блока установки гидрокрекинга, на которой были проведены испытания с изменением температуры сырья, соотношения водородсодержащего газа и сырья, а также исследование реакции модели на аварийную ситуацию.

Магистерская работа Савченко Антона Константиновича на тему «Разработка компьютерной динамической модели реакторного блока установки гидрокрекинга для работы в составе компьютерного тренажера» представлена на 71 странице и состоит из двух глав:

1 – ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

2 – ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе магистерской работы осуществлен поиск литературных данных о механизме реакций гидрокрекинга, были собраны исходные данные по аппаратурному оформлению установки гидрокрекинга, а также рассмотрены новейшие разработки процесса гидрокрекинга.

Установка гидрокрекинга – это двухступенчатая установка с возможностью рециркуляции, рассчитанная на максимальное производство средних дистиллятов из сырьевой смеси, представленной, главным образом, вакуумным газойлем (ВГО) и тяжелым газойлем коксования (ТГК). Данная двухступенчатая установка гидрокрекинга рассчитана приблизительно на 55 % конверсию на первой ступени и 99 % (плюс последующая переработка рециклового потока) - на второй. Поток не превращенного остатка в количестве примерно 0,5 % поступает на компаундирование топлива или на хранение сырья для флюид-каталитического крекинга. Условия эксплуатации и система катализаторов определены таким образом, чтобы обеспечить максимальный выход средних дистиллятов (реактивного и дизельного топлива). В альтернативном режиме эксплуатации предусмотрено уменьшение конверсии на второй ступени с целью получения базового масла, пригодного для производства смазочных материалов.

Продуктами установки являются обессеренный топливный газ, сжиженный углеводородный газ, легкая нефтя, тяжелая нефтя, реактивное топливо, дизельное топливо, а также небольшой поток непревращенного остатка из кубового продукта фракционирующей колонны. Кроме того, с установки выходят поток кислой воды и аминовый поток, насыщенный H_2S , требующий переработки на других установках.

Основными реакциями, протекающими на установке гидрокрекинга, являются десульфизация, денитрификация и насыщение олефинов и ароматических соединений. Реакции гидрокрекинга также протекают на установке гидрокрекинга. Все эти реакции экзотермические.

Для гидроочистки и гидрокрекинга сырье необходимо перерабатывать в

реакторах, содержащих несколько видов катализаторов. Эти катализаторы обеспечивают поверхность, на которой могут происходить реакции, и они способствуют увеличению скорости реакции. Катализаторы гидрокрекинга/гидроочистки обладают двойной функциональностью, это означает, что они имеют как кислотные центры крекинга, так и металлические центры гидрирования. Металлические центры гидрирования образуют промежуточные олефины и продукты насыщения олефинов. Они насыщают некоторые из ароматических колец и предотвращают накопление кокса на кислотных центрах за счет гидрогенизации предшественников кокса. Кислотные центры крекинга обеспечивают промежуточные соединения ионов карбония и активность изомеризации, которая приводит к преобладанию изопарафиновых продуктов. Более кислые катализаторы дают более легкое распределение выхода продуктов с более высоким отношением изо-к-нормальному. Высокая гидрогенизационная активность катализатора образует более насыщенные продукты.

Конструкция установки гидрокрекинга основана на использовании многокаталитической системы, обеспечивающую оптимальную жесткость для удаления примесей сырья и конверсии фракции дистиллята. Катализаторы также классифицируются по размеру, форме и реакционной способности, что позволяет выполнять операции, которые сводят к минимуму возможность преждевременного нарастания перепада давления.

В реакторах гидрокрекинга свежее сырье конвертируется в средние дистилляты и более легкие фракции. Также там происходит отделение серы, азота и металлов, понижается содержание ароматических соединений. Продукты крекинга из реакционной секции получают в секции фракционирования. При альтернативном варианте работы в реакторе второй ступени понижается степень конверсии с целью получения базового масла.

Секция отделения рециклового газа включает в себя оборудование для отделения насыщенного водородом газа от продуктов реактора. Рецикловый газ содержит H_2 , побочные продукты реакций гидрокрекинга/гидроочистки, H_2S и

NH_3 . Почти весь объем NH_3 и некоторое количество H_2S удаляются в виде бисульфида аммония после контакта с водой, вводимой на участке перед воздушным холодильником продукта реактора. Газ испаряется из жидкости в 2 горячих сепараторах высокого давления, холодных сепараторах высокого давления, горячих сепараторах низкого давления и холодных сепараторах низкого давления. Водородсодержащий газ из холодного сепаратора низкого давления проходит обессеривание в абсорбере H_2S низкого давления, а затем перенаправляется на отделение водорода.

Секция компримирования подпиточного водорода состоит из трех идентичных параллельных линий поршневых компрессоров, в каждой из которых имеются по две ступени компримирования. В нормальном режиме работы используются две линии, обеспечивающие компримирование водорода, поступающего от установки производства водорода. Сжатый подпиточный водород смешивается с рецикловым газом в реакционной секции, образуя газ очистки для реакторов.

Новые способы и технологии гидрокрекинга для получения компонентов нефти и чистого дизельного топлива с низким содержанием серы с высокой добавленной стоимостью путем гидроконверсии дизельного масла с высоким содержанием ароматики имеют хорошие перспективы применения в целях улучшения расходования нефтяных запасов, улучшения общего уровня качества бензинового и дизельного видов топлива, достижения цели по оптимизации предложения продукта на рынке и максимизации ценности продукта, а также соответствия возрастающим требованиям по чистоте топлив в Китае. Отечественные и зарубежные исследователи также провели серьезные исследования. Есть отчеты по конверсии в зарубежных странах каталитически расщепляемых легких циклических масел в смесь компонентов дизельного топлива с экстремально низким содержанием серы и высокооктанового бензина с помощью технологий гидрокрекинга.

Суть способа и технологии гидроконверсии каталитического дизельного масла состоит в осуществлении раскрытия цикла и расщеплении

диароматических углеводородов и триароматических углеводородов в каталитической дизельной фракции при сохранении моноароматических углеводородов в бензиновой фракции и снижении реакции раскрытия цикла ароматических углеводородов в бензиновой фракции и газе, полученном путем последующего крекинга, настолько, насколько возможно, и, тем самым, повышении выхода и октанового числа бензинового продукта.

Также имеются сообщения об утилизации полиэтилена высокого давления в процессе гидрокрекинга, который в качестве добавки (5 масс. %) к тяжелому газойлю гидрокрекинга, что приводит к небольшому росту степени конверсии.

Во второй главе магистерской работы описана созданная динамическая модель реакторного блока установки гидрокрекинга и наглядно изображены результаты испытаний модели.

Для того, чтобы успешно смоделировать работу реакторного блока установки гидрокрекинга, необходимо сконфигурировать следующее оборудование:

- печь нагрева сырья
- теплообменное оборудование 7 шт.
- реактор гидрокрекинга
- ёмкость приёма сырья
- насосы 2 шт.
- фильтры 2 шт.

В качестве настроек для теплообменного оборудования мы будем использовать такие параметры как площадь теплообмена, массу стенки теплообмена, коэффициент теплопередачи по горячей и по холодной стороне, массовый расход по горячей и по холодной стороне, плотности смесей веществ, а также перепад давления по горячей и по холодной стороне.

После того, как модель была сконфигурирована и отлажена, были получены параметры газопродуктовой смеси, такие как температура, давление и покомпонентный состав. Газопродуктовая смесь, после прохождения

теплообменника Т-1А/В/С/Д и нагрева сырья, имеет температуру 284 °С и давление 9598 кПа абс.

В качестве исследуемых состояний используем стабильные режимы при 345°С, 355°С, 365°С и 375°С. Сравним фракционные составы газопродуктовых потоков и рассчитаем степень превращения для каждого из случаев. На рисунке 2 представлена диаграмма пофракционного состава газопродуктовой смеси при различных температурах.

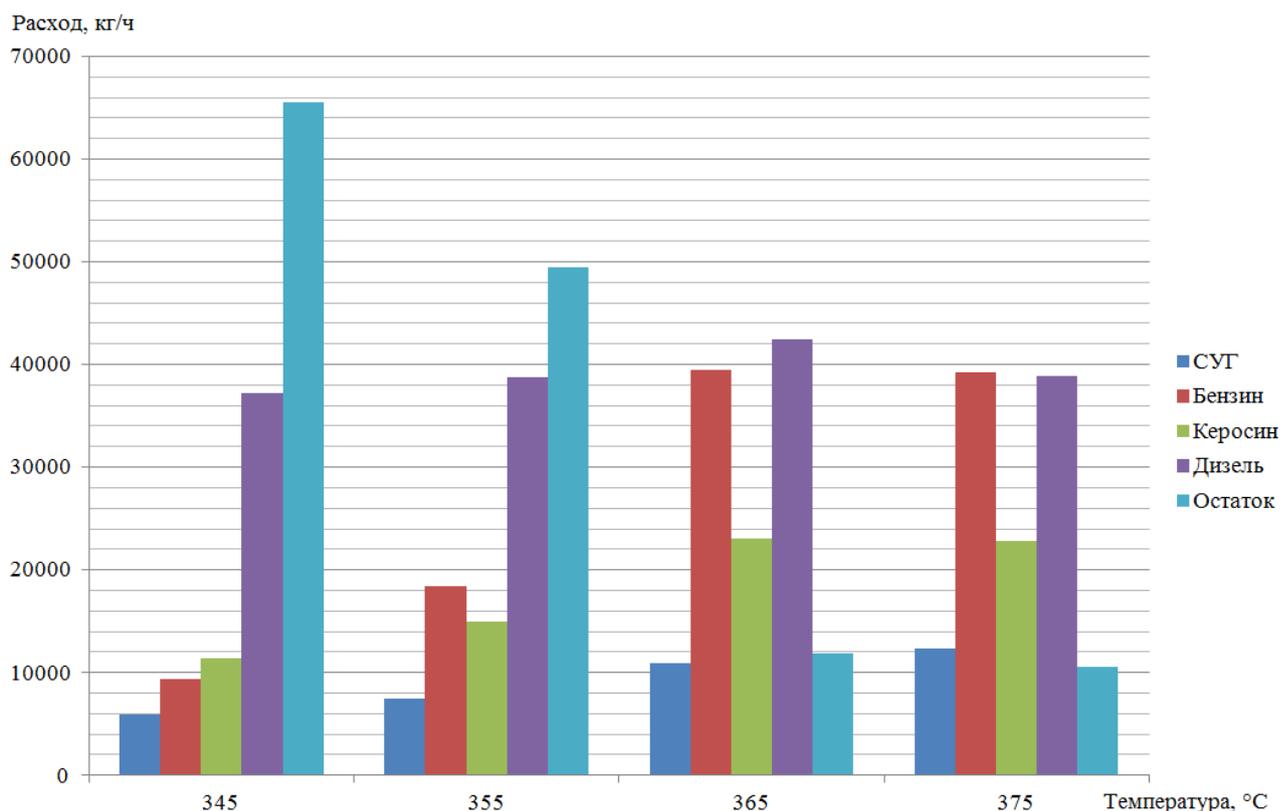


Рисунок 1 – Диаграмма пофракционного расхода газопродуктовой смеси при различных температурных режимах

Как видно из рисунка 2, при пониженных температурах реакции гидрокрекинга замедляются, уменьшается выход лёгких углеводородов, тогда как количество остатка гидрокрекинга увеличивается. При повышении температуры сырья до 375°С происходит смещение реакций в сторону крекинга, увеличивается выход углеводородов $C_1 - C_4$. В связи с этим уменьшается выход всех фракций, в особенности дизельной, так как в первую очередь крекингу подвергаются самые длинные углеводородные молекулы.

На рисунке 3 представлен график зависимости степени превращения сырья от температуры.

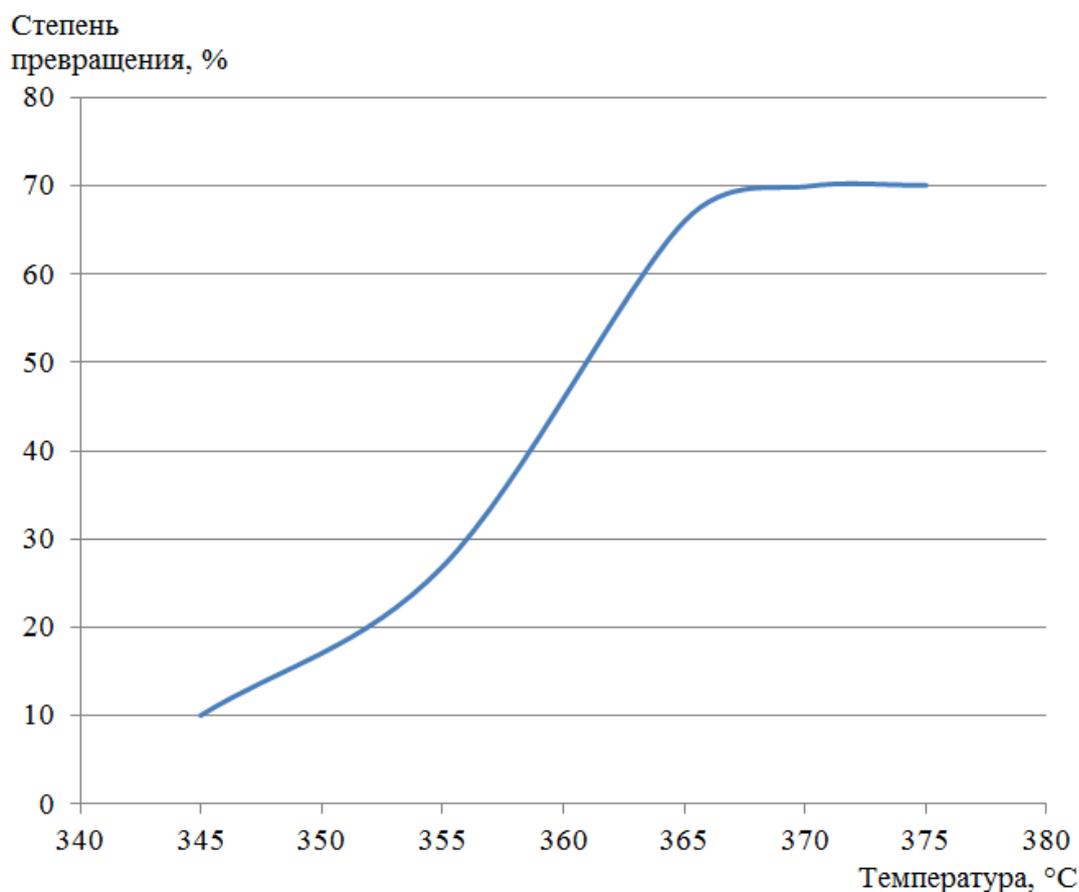


Рисунок 2 – График зависимости степени превращения от температуры сырья

Как видно из полученных данных, при увеличении температуры повысилась степень конверсии, что сходится с теоретическими данными о термодинамике реакций гидрокрекинга.

Были получены стабильные состояния модели с расходом циркулирующего водородсодержащего газа на пять тонн меньше и на пять тонн больше режимного состояния, а именно с расходом 15769 и 25769 кг/ч. Расход квенча и сырья остался прежним. На рисунке 4 изображена диаграмма пофракционного состава газопродуктовой смеси при расходах водородсодержащего газа 15769, 20769 и 25769 кг/ч.

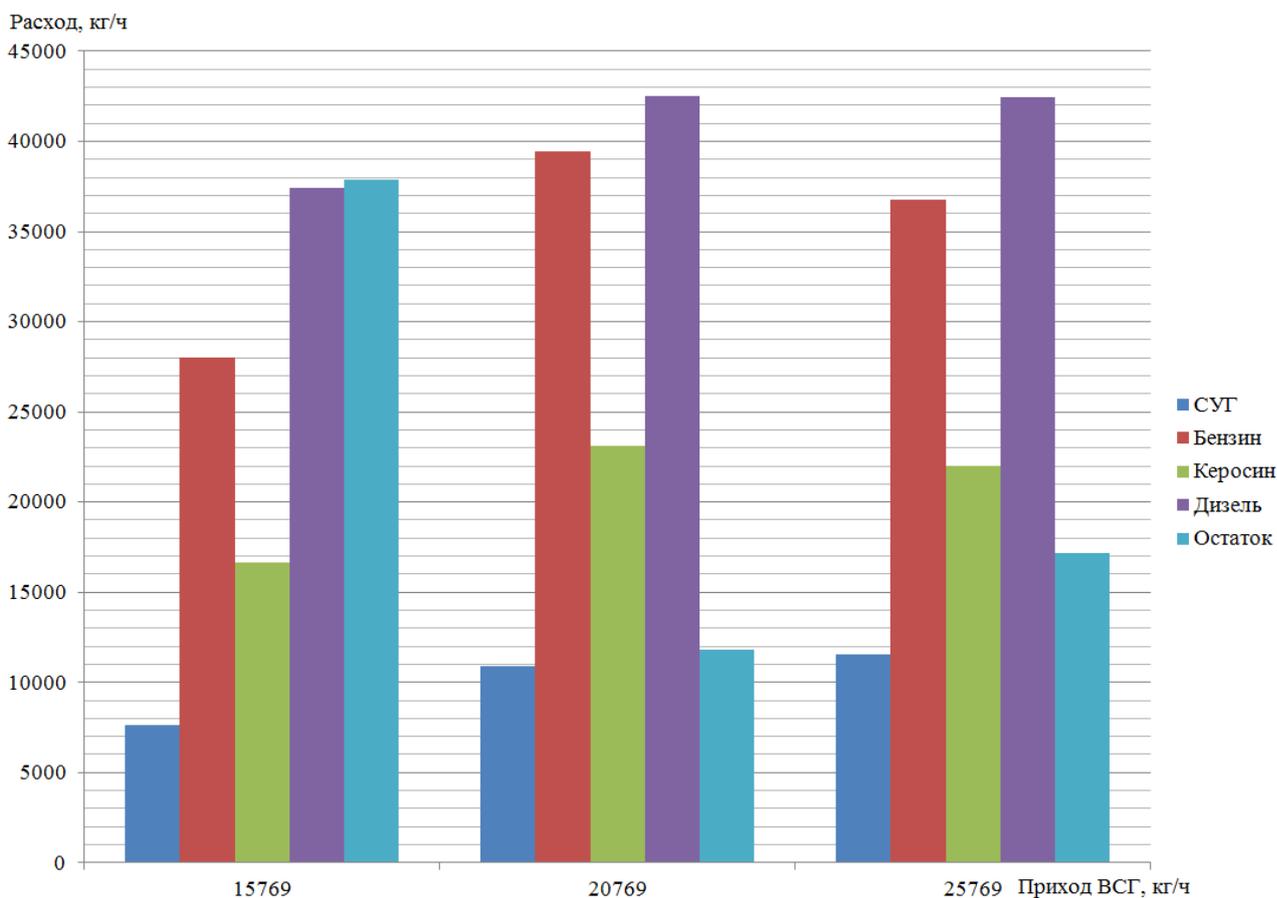


Рисунок 3 – Пофракционный расход газопродуктовой смеси при различных приходах ВСГ

Как видно из приведённой выше диаграммы, модель адекватно реагирует на изменение содержания водородсодержащего газа. Изменяется степень конверсии и фракционный состав в зависимости от расхода водородсодержащего газа в исходной сырьевой смеси.

В качестве аварийной ситуации было решено выбрать ситуацию с прекращением подачи хладагента между секциями реактора. Для того, чтобы понять, влияет ли данный элемент системы на модель, было зафиксировано изменение температуры по секциям реактора во времени. На рисунке 5 изображен график изменения температуры газопродуктовой смеси по секциям реактора во времени.

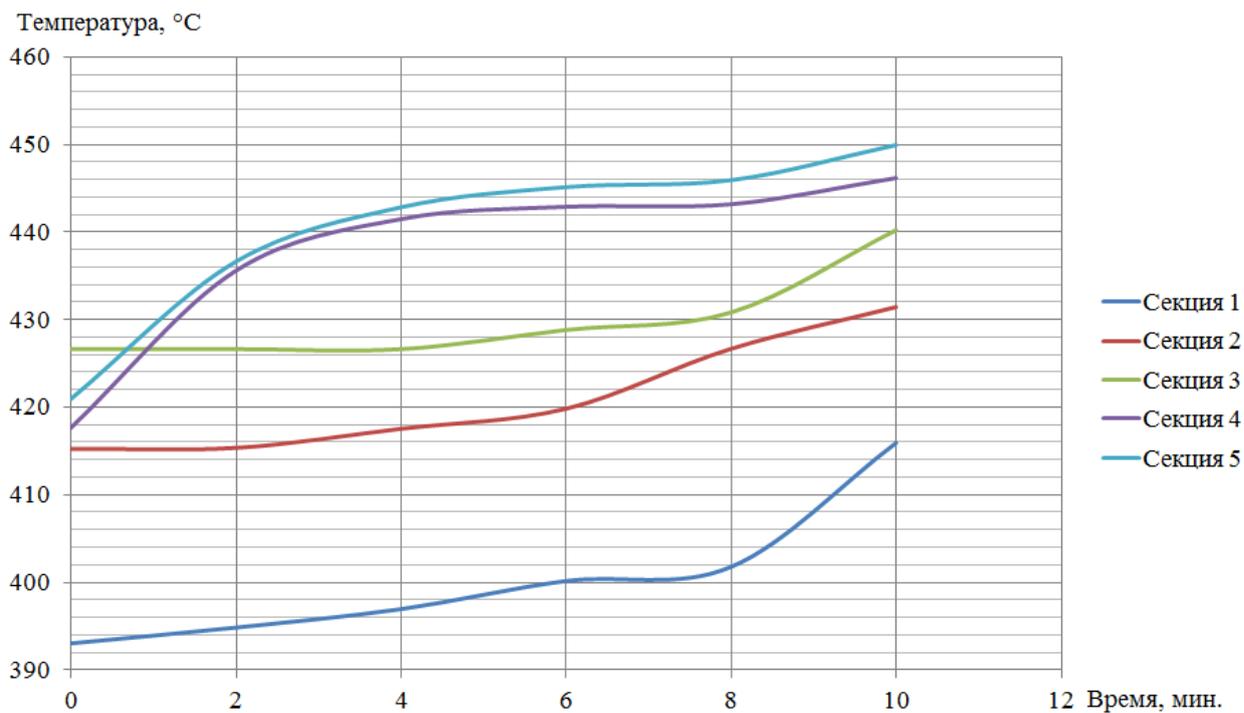


Рисунок 4 – График изменения температуры газопродуктовой смеси по секциям реактора во времени

Как видно из рисунка 5, критической температуры 450°C пятая секция достигает за 10 минут, что соответствует ожиданиям и опыту операторов установки гидрокрекинга.

ВЫВОДЫ

1. В результате проведенного литературно-патентного поиска установлен режим работы современных установок гидрокрекинга, данные из которых легли в основу разработанной модели.

2. Была разработана адекватная динамическая модель. Её адекватность подтверждается хорошей корреляцией данных, полученных на модели, с параметрами технологического режима.

3. Проведено исследование влияния технологических режимов на состав и выход фракций с использованием разработанной модели.

4. Полученная модель протестирована для тренинга операторов в условиях аварийной ситуации, в частности, при прекращении подачи квенча.