

Интернет-журнал «Наукоедение» ISSN 2223-5167 <https://naukovedenie.ru/>

Том 9, №6 (2017) <https://naukovedenie.ru/vol9-6.php>

URL статьи: <https://naukovedenie.ru/PDF/159TVN617.pdf>

Статья опубликована 01.02.2018

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Кузичкин А.А. Разработка программного комплекса для оптимизации процесса каталитического риформинга // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 9, №6 (2017) <https://naukovedenie.ru/PDF/159TVN617.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

**УДК 004.896, 66.012-52, 681.544**

**Кузичкин Алексей Анатольевич**

ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», Россия, Самара<sup>1</sup>  
Аспирант кафедры «Автоматизация и управление технологическими процессами»  
E-mail: ansabanyr13@yandex.ru

## **Разработка программного комплекса для оптимизации процесса каталитического риформинга**

**Аннотация.** В статье выполнена разработка программного комплекса, состоящего из трёх программных обеспечений: SCADA Trace Mode 6, VistaNET и Microsoft Visual Studio. Управление технологическим процессом осуществляется через человеко-машинный интерфейс SCADA. На базе пакета Microsoft Visual Studio реализована высокоточная математическая модель блока каталитического риформинга на основе кинетических уравнений, описывающих превращения в реакторном блоке, адаптирован нейро-итерационный метод для поддержки адекватности модели объекта, выполнен алгоритм оптимизации технологического процесса с возможностью выбора четырёх целевых критериев оптимизации. В качестве критериев с различными ограничениями по параметрам выбраны: максимизация выхода целевого продукта (катализата), максимизация октанового числа целевого продукта, время полезного протекания технологического процесса на основе коэффициента дезактивации катализатора. Применение разработанного программного комплекса обеспечивает рост продуктивности каскада реакторов риформинга на 5...10 % в зависимости от выбранного целевого критерия. Комплекс для оптимизации имеет универсальную структуру, он применим для установок каталитического риформинга со стационарным слоем катализатора с различными производительностями и особенностями. Открытость системы оптимизации позволяет вносить коррективы в программный код тем самым позволяя совершенствовать систему.

**Ключевые слова:** каталитический риформинг; оптимизация; катализат; октановое число; математическая модель; SCADA Trace Mode 6; VistaNET; Microsoft Visual Studio

### **Структура комплекса программ**

Каталитический риформинг – важнейший этап получения высокооктанового элемента моторных топлив, а также водорода и индивидуальных ароматических углеводородов (ксилолов, толуола, бензола), используемых в нефтехимии [1-3]. Производительность

---

<sup>1</sup> 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

установки каталитического риформинга в значительной степени зависит от эффективности управления данным процессом.

Проблеме автоматизации процесса каталитического риформинга и разработке систем оптимального управления посвящены работы [4-8].

Для оптимизации процесса риформинга подобран комплекс программ. Необходимыми условиями для комплекса является оперативное и быстрое взаимодействие отдельных модулей на программном уровне, а также осуществление эффективного управления технологическим процессом риформинга.

Для выполнения всех условий применены следующие программные продукты:

- SCADA Trace Mode 6;
- Microsoft Visual Studio;
- VistaNET.

Структура взаимодействия отдельных программ разработанного комплекса представлена на рис. 1.

SCADA Trace Mode 6 представляет собой программный комплекс относящийся к классу SCADA HMI. Программный комплекс является разработкой компании AdAstra Research Group [9]. Система применяется для разработки различного рода программных обеспечений автоматизации системы управления технологическими процессами, автоматизации зданий, систем учёта. Система осуществляет управление процессами и регулирование технологических параметров в режиме реального времени. Кроме этого, система позволяет программировать промышленные контроллеры.

В состав SCADA Trace Mode входят различные инструментальные системы и наборы рантаймов (исполнительные модули).

Инструментальная система предназначена для создания проекта АСУ. Рантаймы позволяют запустить разработанный проект и поддерживать его функционирование в режиме реального времени [10].

Система поддерживает множество драйвером для различных видов оборудования. SCADA система имеет возможность подключения оборудования по многим протоколам и интерфейсам.

Данная SCADA система получила широкое распространение благодаря обширному функционалу и универсальности. Основным элементом TRACE MODE считается монитор текущего времени MPB, который является основным исполнительным модулем SCADA/HMI системы TRACE MODE. Он включает в себя графический клиент и сервер текущего времени [10].

Microsoft Visual Studio – совокупность продуктов, которая включает в себя среду разработки программных средств на поддерживаемых языках.

Благодаря линейке продуктов возможна разработка разного рода приложений от консольных программ до целого программного комплекса для платформ на базе Windows.

В линейке продуктов возможно:

- редактирование исходного кода;
- отладка разрабатываемых программ;

- редактирование форм, которые обеспечивают возможность создания интерфейсов;
- создание баз данных и т. д.

К Visual Studio возможно подключение стороннего программного обеспечения и совместного их функционирования с линейкой продуктов от компании Microsoft.

В Visual Studio включены следующие компоненты:

- Visual Basic .NET;
- Visual F#;
- Visual C++;
- Visual C#.

VistaNET является программным обеспечением для управления газовыми хроматографами PGC2003, которые измеряют концентрацию ароматических, нефтяных и парафиновых углеводородов.

Стрелками на структурной схеме обозначены взаимодействия элементов. Центральным элементом является SCADA система, которая обменивается данными с другими модулями: VistaNET и Microsoft Visual Studio.

В Microsoft Visual Studio реализованы следующие компоненты:

- ММ – математическая модель каскада реакторов каталитического риформинга;
- ID – программа идентификации, поддерживающая адекватность кинетической модели риформинга;
- NN и DB – нейронная сеть и база данных, обеспечивающие оперативный поиск поправочных коэффициентов для поддержания адекватности математической модели;
- OPT – программа оптимизации управления каскада реакторов каталитического риформинга, основанная на выборе целевого критерия;
- $t(Kd)$  и DB – построение функции зависимости времени полезного функционирования технологического процесса каталитического риформинга от коэффициента дезактивации на основе опытных данных, полученных из базы данных.

### **Потоки данных программного комплекса**

В системе оптимального управления процессом каталитического риформинга присутствуют входные, внутренние и выходные данные. Рассмотрим структуру потока данных.

Входные данные для SCADA системы от управляющего промышленного контроллера:

- $T_{iВХ}$  – температура смеси на входе  $i$ -го реактора;
- $T_{iВЫХ}$  – температура смеси на выходе  $i$ -го реактора;
- $P_i$  – давление смеси на входе  $i$ -го реактора;
- $\rho$  – плотность исходной смеси;

- $G_0$  – расход сырья в блок риформинга;
- $G_{всг}$  – расход ВСГ в блок риформинга;
- $G_{кат}$  – расход катализата из блока риформинга.

Выходные управляющие сигналы от SCADA в управляющий контроллер:

- сигналы управления на пневмоприводы, управляющими подачей сырья и ВСГ;
- сигналы управления на пневмоприводы, управляющими подачей топлива в печь.

VistaNET получает сигналы с газовых хроматографов и отправляет их в SCADA:

- $Y_{a0}, Y_{n0}, Y_{p0}$  – содержание 3-х видов углеводородов (ароматические, нафтеновые, парафиновые) в исходной смеси;
- $Y_{ai}, Y_{ni}, Y_{pi}$  – содержание 3-х видов углеводородов в газосырьевой смеси после  $i$ -го реактора.

Все полученные данные SCADA системой передаются на вход блока MS Visual Studio. К вышеописанным параметрам добавляются ограничения, задаваемые оператором:

- $K_g$  – коэффициент жёсткости процесса риформинга, который нельзя превышать в процессе производства;
- $K_d$  – коэффициент дезактивации катализатора в каскаде реакторов, значения ниже этого показателя считаются недопустимыми;
- $G_{0\text{ мин}}, G_{0\text{ макс}}$  – минимальное и максимальное значения расхода сырья на входе блока;
- $T_{\text{мин}}, T_{\text{макс}}$  – минимальное и максимальное значения температур на входе реакторов риформинга;
- $\eta_{\text{мин}}, \eta_{\text{макс}}$  – минимальное и максимальное значения кратности циркуляции ВСГ/сырьё;
- $\lambda_0$  – минимально возможный выход катализата из каскада реакторов риформинга;
- $ОЧ_0$  – минимально возможное значение октанового числа на выходе каскада реакторов.

Выходными данными MS Visual Studio направленными в SCADA Trace Mode 6:

- $УТ_{iВХ}$  – уставка по температуре смеси на входе  $i$ -го реактора, рассчитанная алгоритмом оптимизации;
- $УG_0, УG_{всг}$  – уставки по расходу сырья и водородсодержащего газа в блок каталитического риформинга;
- $\lambda_{MM}$  – расчётное значение выхода катализата;
- $ОЧ_{MM}$  – расчётное октановое число катализата;
- $Y_{ai\text{ MM}}, Y_{ni\text{ MM}}, Y_{pi\text{ MM}}$  – содержание 3-х видов углеводородов в газосырьевой смеси после  $i$ -го реактора, рассчитанное по математической модели.
- $K_{dMM}$  – коэффициент дезактивации катализатора в каскаде реакторов риформинга;

- $T_{i\text{вых}}$  мм – температура сырья на выходе  $i$ -го реактора, рассчитанная по математической модели.

Внутренние параметры блока Visual Studio:

- $n_{ai}, n_{ni}, n_{pi}, n_{gi}, n_{H2i}$  – количество углеводородов, перешедших в ароматические, нафтеновые, парафиновые и газообразные углеводороды в результате реакции протекающей в элементарном слое катализатора  $i$ -го реактора, а также количество образованного водорода в результате реакций в  $i$ -ом реакторе, рассчитанных в математической модели;
- $M_{ai}, M_{ni}, M_{pi}, M_{ci}$  – массовые потоки ароматических, нафтеновых, парафиновых углеводородов и газосырьевой смеси в целом после  $i$ -го реактора, рассчитанных в математической модели;
- $K_{Knai}, K_{Kmpi}, K_{Kngi}, K_{Kpgi}, K_{Kci}$  – корректирующие множители для 4-х дифференциальных уравнений перехода из одного состояния в другое  $i$ -го реактора и корректирующий множитель для средней теплоёмкости смеси  $i$ -го реактора), рассчитанных в математической модели;
- $Kд1, Kд2, Kд3$  – коэффициенты дезактивации катализатора в  $i$ -ом реакторе блока риформинга;
- $t(Kд)$  – функция зависимости оставшегося времени от начального показателя до предельного значения дезактивации катализатора.

На основе вышеописанных параметров, разрабатывалась структура взаимосвязей и зависимостей показателей друг от друга, благодаря которой создано программное обеспечение для оптимизации управления каскада реакторов каталитического риформинга.

### Интеграция программного комплекса в SCADA систему

В настоящее время Supervisory Control And Data Acquisition (SCADA – диспетчерское администрирование и сбор данных) считается самой высокоперспективной технологией автоматизированного управления во многих областях промышленности [11]. Особенно системы SCADA наилучшим способом применяются с целью автоматизации управления распределенными и непрерывными процессами, какими считаются технологические нефтегазовые процессы.

Взаимодействие оператора с программным комплексом, который управляет процессом каталитического риформинга осуществляется через SCADA Trace Mode 6.

Основным экраном системы управления (рис. 2) является интерфейс на котором можно производить выбор пунктов меню.

В рамках указанного меню можно производить выбор следующих пунктов:

- мнемосхема технологического процесса (рис. 3);
- математическая модель (рис. 4);
- оптимизация (рис. 5);
- анализ параметров;
- база данных.

На мнемосхеме технологического процесса визуализируется протекание каталитического риформинга. На мнемосхеме показаны текущие значения расхода сырья, ВСГ и катализата на выходе блока, а также температуры на входе и выходе реакторов. Температуры входа и расход сырья и ВСГ являются регулируемыми параметрами.

На рис. 3 изображены следующие элементы:

- П1, П2, П3 – 3-х секционная трубчатая печь, в каждую секцию которой регулируется подача топлива для достижения заданных температур на входах реакторов;
- Р1, Р2, Р3 – реакторы каталитического риформинга, в которых происходит ароматизация гидрогенизата;
- Т – теплообменник, охлаждающий риформат до установленной температуры;
- СВД, СНД – сепараторы высокого и низкого давления, которые разделяют риформат на водородсодержащий газ и катализат, отправляемый в абсорбер.

Кнопки, расположенные над показателями с измеряющих преобразователей, позволяют перейти на экраны анализа динамики изменения выбранной переменной. Кнопки Y1, Y2, Y3 – раскрывают значения и динамику изменения содержания ароматических, нафтоновых и парафиновых углеводородов после каждого реактора.

Также на мнемосхеме отображается выход катализата из каскада реакторов и расчётное значение октанового числа на основе данных с газовых хроматографов.

Математическая модель является отражением мнемосхемы технологического процесса с исключением в плане того, что на ней отображаются значения, рассчитанные по кинетической модели каталитического риформинга с учётом критерия оптимизации и поправочных коэффициентов. В экран внедрена кнопка перехода на оценку ошибки модели по отношению к реальным значениям.

На рис. 5 показано подменю оптимизации технологического процесса риформинга, на нём производится выбор одного из 4-х критериев оптимизации и вводятся ограничения по подаче сырья, кратности циркуляции ВСГ/сырьё, выходу катализата, октановому числу, коэффициенту жёсткости, коэффициенту дезактивации, температуре сырья на входе реакторов.

Пункты меню анализ параметров и база данных обеспечивают доступ к анализу динамики изменений всех показателей системы управления каталитическим риформингом.

### **Выводы**

Разработана структура комплекса программ для оптимизации процесса риформинга. В комплекс входят три программных обеспечения SCADA Trace Mode 6, VistaNET, VS Visual Studio. Разработанный комплекс содержит в себе реализацию всех необходимых алгоритмов и методов для оптимизации управления. В основу разработанного программного комплекса положен модульный принцип исполнения. Применение разработанного программного комплекса обеспечивает рост продуктивности каскада реакторов риформинга на 5...10 % в зависимости от выбранного целевого критерия.

В основе модулей, входящих в программный комплекс, лежат способы математического моделирования аппаратов химической технологии и системного анализа, опробованных алгоритмы и инновационные подходы вычислительной математики.

Комплекс программ имеет открытую архитектуру, позволяющую пополнять его новыми библиотеками и вычислительными модулями.

Разработаны основные принципы и подходы интеграции разработанного программного комплекса в инновационные системы SCADA на SCADA Trace Mode 6.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Каталитический риформинг углеводородов [Текст]: справочник / под ред. проф. Р. И. Кузьминой – Саратов: Издательство СУИ МВД России, 2010. – 252 с.
2. Карманный справочник нефтепереработчика [Текст]: справочник / под ред. М. Г. Рудин – Л., Химия, 1989. – 464 с.
3. Промышленные установки каталитического риформинга [Текст]: справочник / В. А. Гуляев [и др.] под ред. Г. А. Ластовкина. – Л.: Химия, 1984. – 232 с.
4. Шумихин А. Г. Анализ процесса каталитического риформинга бензинов с целью формирования факторного пространства для разработки его математической модели [Текст] / В. Г. Плехов, С. Н. Кондратов // Перм. гос. техн. ун-т. – Пермь, 1997. – 39 с. Деп. в ВИНТИ, 19.03.97, № 839-В97.
5. Кроу К. и др. Математическое моделирование химических производств. – М.: Мир, 1973. – 391 с.
6. Плехов В. Г. Исследование характеристик фракционного состава бензиновых фракций и их идентификация в системах управления установками каталитического риформинга [Текст] / В. Г. Плехов, А. Г. Шумихин, С. Н. Кондратов – Перм. гос. техн. ун-т. – Пермь, 1999. – 36 с. – Деп. в ВИНТИ, 13.10.99, № 3066-В99.
7. Войтенко И. В. Оптимизация процесса каталитического риформинга газового конденсата [Текст] / И. В. Войтенко, Ю. Б. Гершкович, А. А. Тюриков // В сб. тезисов к докладам 52-ой межвузовской научной конференции "Нефть и газ – 98". М.: ООП ГАНГ им. И. М. Губкина, 1998.
8. Гершкович Ю. Б. Повышение эффективности управления процессом каталитического риформинга [Текст] / Ю. Б. Гершкович, И. В. Войтенко // В сб. тезисов к докладам 2-ой научно-технической конференции "Актуальные проблемы состояния и развития нефтегазового комплекса России". М., ООП ГАНГ им. И. М. Губкина, 1997.
9. Ефимов И. П. SCADA – система Trace Mode [Текст] / И. П. Ефимов, Д. Солуянов-Ульяновск: УлГТУ, 2010 г. – 158 с.
10. Лопатин А. Г. Методика разработки систем управления на базе SCADA – системы Trace mode: учебно-методическое пособие [Текст] / А.Г. Лопатин, П. А. Киреев – Новомосковск: Новомосковский ин-т, РХТУ им. Менделеева Д. И., Новомосковск, 2007. – 112 с.
11. Пьявченко Т. А. Проектирование АСУ ТП в SCADA – системе. Учебное пособие по техническим дисциплинам «Автоматизированные информационно-управляющие системы» и «Интегрированные системы проектирования и управления» [Текст] / Т. А. Пьявченко – Таганрог: изд-во ТРТУ. 2007. – 78 с.

**Kuzichkin Aleksey Anatolievich**  
Samara state technical university, Russia, Samara  
E-mail: ansabanyr13@yandex.ru

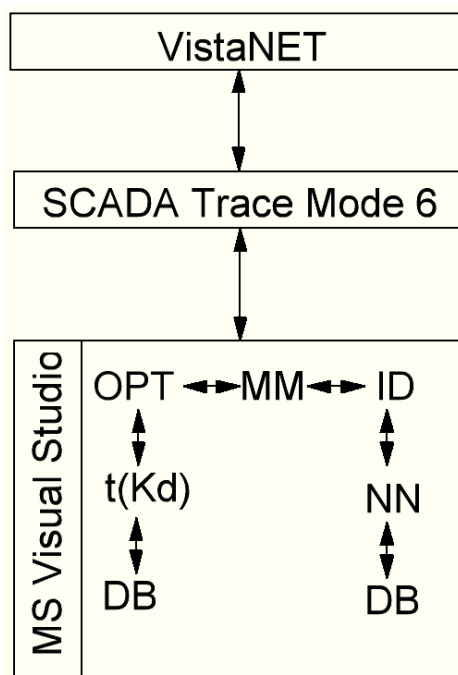
## **Development of a software package for optimizing the catalytic reforming process**

**Abstract.** The article contains data on the development of a software package consisting of three software: SCADA Trace Mode 6, VistaNET and Microsoft Visual Studio. The process control is carried out through the SCADA human-computer interface. Based on the Microsoft Visual Studio package, the authors implemented a high-precision mathematical model of the catalytic reforming block through the kinetic equations describing the transformations in the reactor block, adapted a neuro-iterative method to support the adequacy of the object model and performed an algorithm for optimizing the technological process with choice of four target optimization criteria. As the criteria with the different limitations on the parameters, the following were chosen: maximization of the yield of target product (catalysate), maximization of the octane number of the target product and time of the useful technology process flowing on the basis of the catalyst deactivation factor. The application of the developed software package provides an increase in the productivity of the cascade of reforming reactors by 5...10 % depending on the chosen target criterion. The complex for optimization has a universal structure and it is applicable for catalytic reforming units having a stationary catalyst layer with different productivities and features. The openness of the optimization system allows us to make allowances to the software code thereby providing a means to improve the system.

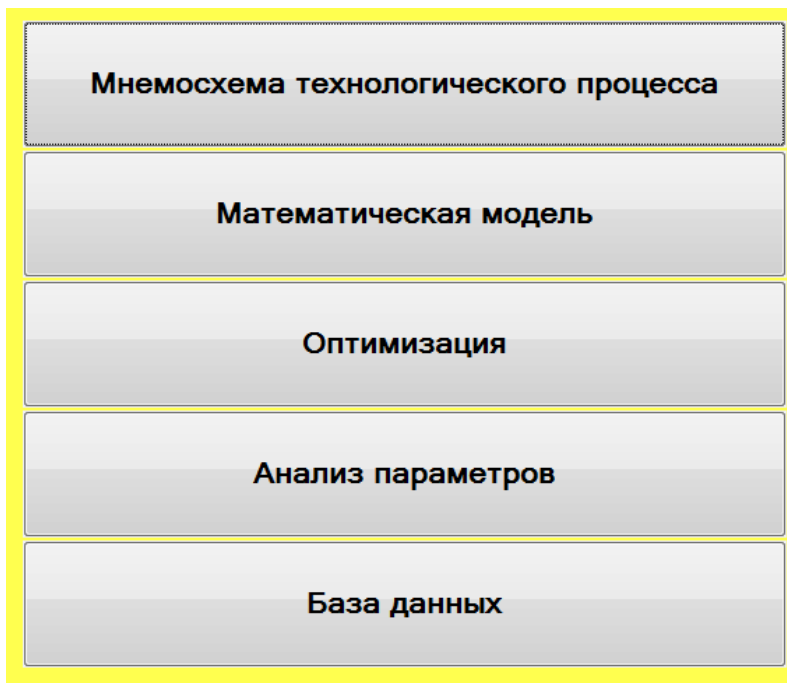
**Keywords:** catalytic reforming; optimization; catalysate; octane number; mathematical model; SCADA Trace Mode 6; VistaNET; Microsoft Visual Studio



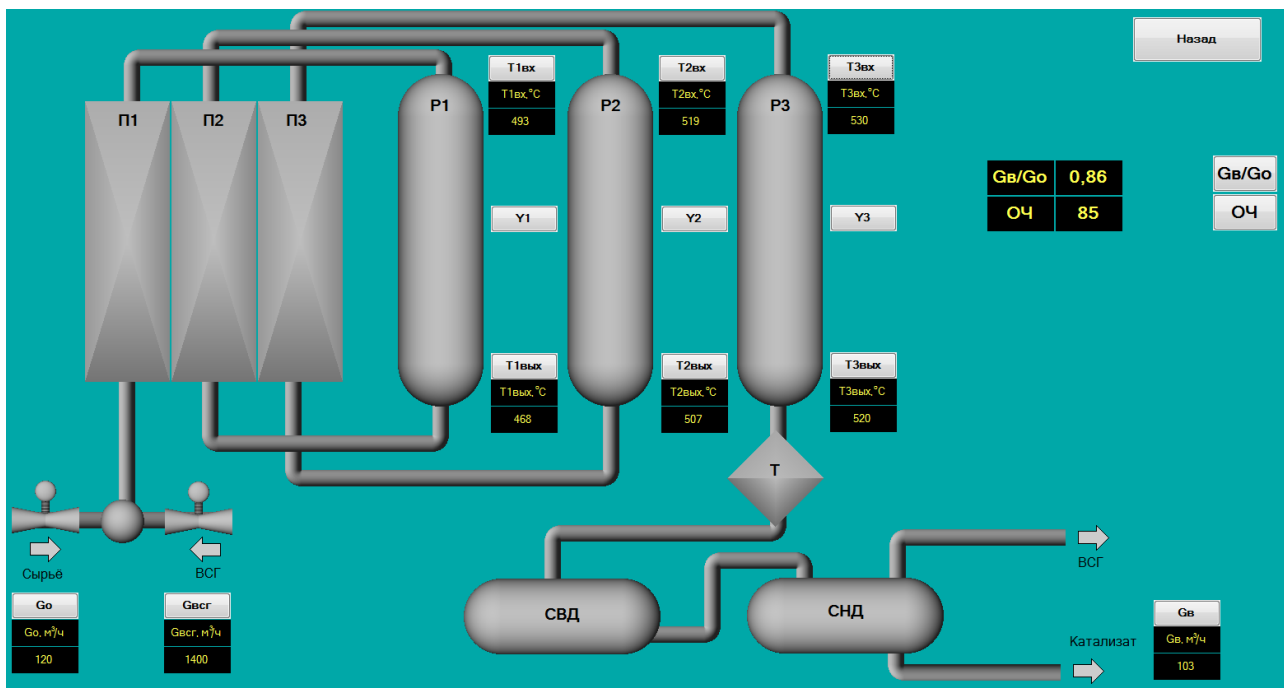
Приложение



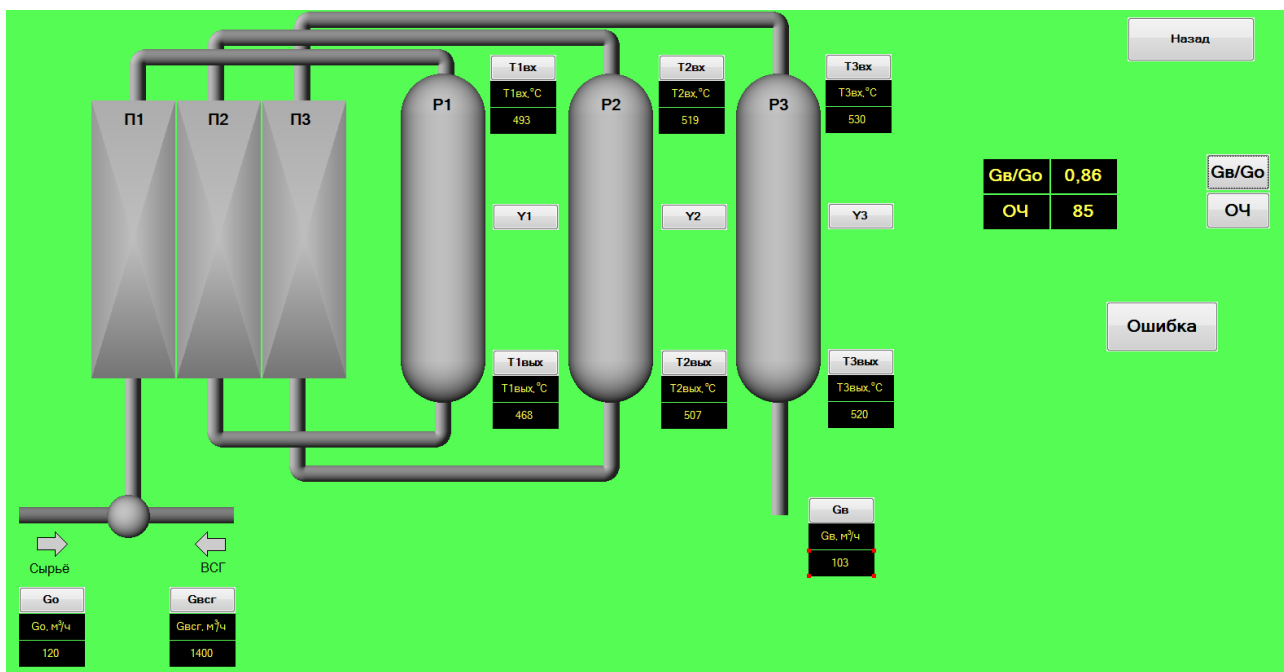
*Рисунок 1. Структура взаимодействия программных обеспечений (разработано: Кузичкин А. А.)*



*Рисунок 2. Основное меню системы оптимизации (разработано: Кузичкин А. А.)*



*Рисунок 3. Мнемосхема технологического процесса риформинга (разработано: Кузичкин А. А.)*



*Рисунок 4. Математическая модель процесса риформинга (разработано: Кузичкин А. А.)*

Критерий оптимизации		Ограничения		
$Gв/Go \rightarrow \max$ при $ОЧ \geq ОЧ_0$		MIN	Показатель	MAX
$ОЧ \rightarrow \max$ при $Gв/Go \geq (Gв/Go)_0$		0	Go	120
$ОЧ \rightarrow \max$		470	Твх	530
$t \rightarrow \max$ при $ОЧ \geq ОЧ_0$ , $Gв/Go \geq (Gв/Go)_0$		8	n	15
		85	ОЧ	
		0,85	Gв/Go	
		0,1	Кд	
			Кг	0,75

Рисунок 5. Критерии оптимизации и ограничения (разработано: Кузичкин А. А.)