

---

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА РЕКТИФИКАЦИИ

**Шелопугин Антон Сергеевич,**

студент Иркутского Национального Исследовательского Технического Университета (ИРНТУ)

Россия, г. Иркутск

E-mail: antonx604@gmail.com

### Аннотация

---

В статье рассматриваются вопросы, связанные с возможностями автоматизации процесса ректификации и управления рабочими параметрами соответствующего оборудования. Отдельное внимание в процессе исследования уделено возможностям микроконтроллеров и промышленных информационных систем. Также представлен пример использования аппаратного модуля PLC для управления ректификацией. Отдельно описаны особенности работы многопеременного регулятора, который является частью двухуровневого управления ректификационной колонной.

---

**Ключевые слова:** ректификация, автоматизация, контроллер, параметры, колонна.

---

## AUTOMATION OF THE RECTIFICATION PROCESS

**Anton S. Shelopugin,**

student of the Irkutsk National Research Technical University (IRNITU)

Russia, Irkutsk

E-mail: antonx604@gmail.com

---

### ABSTRACT

---

In the article the questions connected with possibilities of automation of rectification process and control of working parameters of the corresponding equipment are considered. Special attention in the process of research is paid to the possibilities of microcontrollers and industrial information systems. An example of using PLC hardware module for rectification control is also presented. The peculiarities of operation of multivariable regulator, which is a part of two-level control of rectification column, are described separately.

---

**Keywords:** rectification, automation, controller, parameters, column.

---

Ректификация — один из основных процессов в химической, нефтяной, пищевой и других отраслях промышленности. Она позволяет разделять однородные жидкие смеси на составляющие компоненты. При использовании процесса ректификации можно достичь более высокой чистоты каждого продукта по сравнению с процессом дистилляции [1].

Ректификация основана на тепло- и массопереносе между жидкой и паровой фазами на каждом контактном устройстве специальных колонно-аппаратных устройств (рис. 1).

С точки зрения управления, ректификационная колонна представляет собой многомерный распределенный объект с большим количеством параметров, их связью, распределением, значительным запаздыванием и инертностью каналов управления.

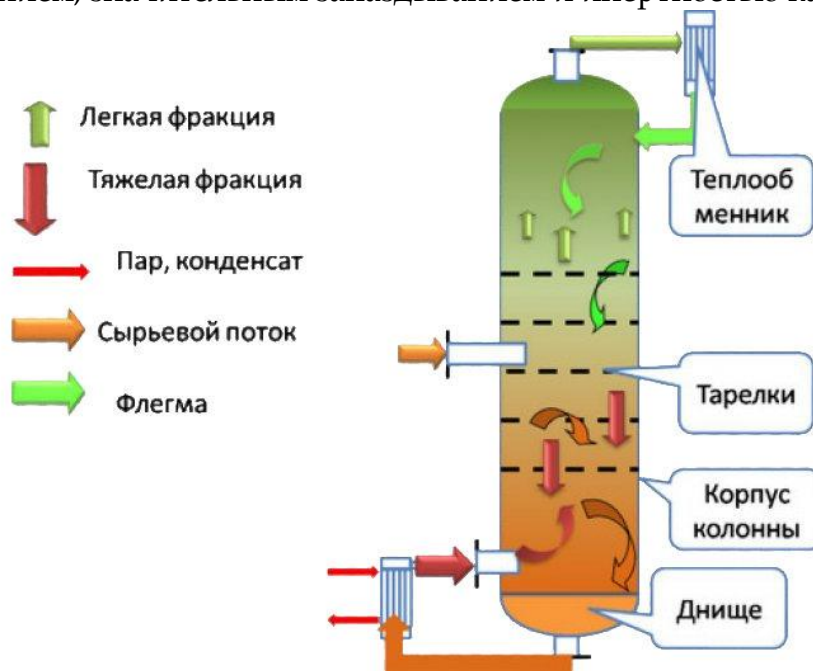


Рис. 1 Ректификационная колонна [2]

В настоящее время выделяются следующие системы управления ректификационными колоннами: робастные, адаптивные, контролируемые, оптимальные, системы управления с использованием нейронных сетей, нечеткой логики, нелинейной прогнозной модели процесса. Системы управления должны обеспечивать наилучшие условия массообмена на каждом из контактных устройств колонны в каждый момент времени, что достигается путем воздействия на промежуточные точки ректификационного аппарата, имеющие распределенный характер по размерности и времени [3]. С учетом обозначенных требований, следует отметить, что качество и эффективность систем управления ректификацией может быть повышено за счет использования автоматизированных распределенных или мобильных управляющих решений. Отличие автоматизированных систем заключается в возможности выбора интенсивности и координат точки воздействия на объект, что позволяет обеспечить режимы работы, недостижимые при традиционных подходах.

Таким образом, вопросы внедрения на практике систем автоматизации работы ректификационной колонны, которые способны предоставить экономически эффективное и бесперебойное решение управления всем процессом либо его отдельными частями, являются актуальными, теоретически и научно значимыми, что и обусловило выбор темы данной статьи.

Традиционные подходы к управлению процессом ректификации, которые заключается в простом контроле температуры в верхней части с помощью потока флегмы и контроле температуры в нижней части с помощью тепла (обычно пара) в ребойлере, рассматривают Д.В. Красильников, Н.В. Лежнева, А.П. Финагин, И.А. Вялых, В.Ю. Невиницын, П.Н. Грименицкий

Перспективы использования нового вида микроконтроллеров с открытым исходным кодом для организации децентрализованной структуры управления ректификационной колонной изучают В.С. Леонтьев, А.П. Смирнов, Н.Г. Сурков, А.М. Чебышева, А.С. Гуров, А.В. Савчиц

Возможности автоматического измерения и контроля давления, расхода, а также температуры на ректификационной колонне на базе таких промышленных систем как PLC, SCADA, описывают А.В. Поварницин, В.И. Елизаров, В.О. Суворов, С.В. Емец, М.А. Парасюков, В.В. Корзин

В тоже время, несмотря на значительное количество публикаций и наработок, постоянное появление новых цифровых систем и информационных технологий, прорывных инноваций и высокотехнологичных решений, способных повысить эффективность управления процессом ректификации, требуют обновления и актуализации уже имеющихся подходов и систем.

Таким образом, цель статьи заключается в рассмотрении возможностей автоматизация процесса ректификации с использованием последних достижений науки и техники.

Ректификационные колонны являются классическим примером высокоинтерактивных, многопеременных процессов, в которых наблюдаются большие задержки и запаздывания - сложные условия для удовлетворительной работы ПИД-регуляторов замкнутого цикла. Операционные задачи колонн могут включать контроль чистоты верхнего и нижнего продуктов, минимизацию энергии, максимизацию подачи и управление в пределах оборудования [4].

На сегодняшний день широкое распространение для автоматизации процессов ректификации получили промышленные информационные системы. Их краткое описание и характеристика представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Промышленные информационные системы, используемые для автоматизации ректификации (составлено автором)

Компоненты оборудования	Применение
PLC	Автоматизация контроля за основными технологическими процессами
SCADA	Используется в сочетании с системой сбора данных, а также кодированных сигналов, поступающих по каналам связи, для получения информации о состоянии удаленного оборудования для вывода на экран или для записи функций
RELAYS	Реле могут использоваться для реализации булевой логики
SMPS	Источники питания с переключаемым режимом работы способны выдерживать широкий диапазон частот и напряжений питания
PIC 16F877A	Применяется для преобразования аналогового сигнала в цифровой
FLOW SENSOR	Используется для измерения расхода в частоте импульсов и давления.
TEMPERATURE SENSOR	Находит свое применение в процессах измерения температуры растворителя

Пример реализации аппаратного модуля автоматического управления ректификацией на базе PLC представлен на рис. 2.



Рис. 2 - Реализация аппаратного модуля PLC для управления ректификацией [4]

Схема рис. 2 состоит из источника питания, датчика температуры, ротаметра. Она также оснащена микроконтроллером (PIC 16F877A) и кристаллическим осциллятором, который имеет 4-битный ЖК-дисплей и 7 встроенных переключателей. Отдельно следует выделить 6 реле, каждое с низким и высоким уровнем сигнализации. Реле температуры для низкого и высокого уровня используются для контроля за температурным режимом. В зависимости от контрольной температурной точки, реле включается или выключается и на ЖК-дисплее появляется индикатор нагревателя. Работа других реле, а именно: реле давления и уровня, осуществляется по той же схеме.

Рассмотрим более подробно каким образом реализуется метод автоматизации процесса ректификации на базе мобильных управляющих воздействий, обеспечивающих дополнительный учет критерия максимизации качества разделения субстанции.

Поскольку зависимости, связывающие значение процесса и критерии оптимизации, не могут быть представлены в явном виде, задача статической оптимизации ректификации решается методом нелинейного программирования [5]. Материальная нагрузка колонны, технико-экономические показатели и значения управляющих воздействий имеют ограничения в виде неравенств:

$$\begin{aligned} V_{j,min} &< V_j < V_{j,max} \\ L_{j,min} &< L_j < L_{j,max} \\ D_{min} &\leq D_{opt} \leq D_{max} \\ Q_{w,min} &\leq Q_{w,opt} \leq Q_{w,max} \\ N_{f,min} &\leq N_{f,opt} \leq N_{f,max} \end{aligned}$$

где  $D$  - молярный расход дистиллята, кмоль/ч;  $L$  - молярный расход жидкой фазы, кмоль/ч;  $N_f$  - номер лотка подачи;  $Q$  - тепловой поток, кДж/ч;  $V$  - молярный расход паровой фазы, кмоль/ч. Низшие индексы:  $j$  - номер контактного устройства;  $opt$  - оптимальное значение;  $w,0$  - продукт испарителя, параметр продукта куба испарителя колонны.

При решении оптимизационных задач с несколькими критериями их нормируют и переводят в произвольные единицы.

Метод оптимизации процесса выпрямления на основе нормализованного критерия, учитывающего производительность процесса и потребляемую мощность имеет следующий вид:

$$\lambda_{\{2\}} = \lambda_D + \lambda_Q = \frac{D - D_{min}}{D_{max} - D_{min}} + \frac{Q_{w,max} - Q_w}{Q_{w,max} - Q_{w,min}}$$

где  $\lambda$  – нормированный критерий оптимизации. Нижние индексы: {2} – количество конкретных критериев, учитываемых при нормировании; D – критерий максимальной производительности; Q – критерий минимизации мощности.

В отличие от известных методов оптимизации, введем ограничение в виде неравенства на концентрацию целевого продукта в дистилляте:

$$x_{d,nz,min} \leq x_{d,nz,opt} \leq x_{d,nz,max}$$

где  $x$  – молярная концентрация компонента в жидкой фазе, кмоль/кмоль. Нижние индексы: d, N – параметр дистиллята, верхняя часть колонны; nz – номер целевого компонента.

Предложенное ограничение позволяет дополнительно учитывать критерий максимизации качества целевого продукта при расчете оптимального режима работы колонны и контрольных действий, обеспечивающих его.

Таким образом, для управления процессом дистилляции используется многопеременный регулятор (MPC). Он контролирует температуру ниже верхней и выше нижней части. Эти регулируемые величины измеряются соответствующими датчиками температуры. Регулируемые величины многопеременного регулятора используются в качестве заданного значения для базовых ПИД-регуляторов. Двухуровневое управление ректификационной колонной осуществляется с помощью ПИД-регуляторов, работающих независимо друг от друга.

На экране ПК отображаются наиболее важные технологические параметры для контроля и управления ректификационной колонной. На соответствующей панели можно получить дополнительную подробную информацию о каждом отображаемом значении и внести изменения. Также на дисплее представляются фактические, заданные и регулируемые переменные многокоординатного регулятора. Визуализация процесса показывает схематическое представление значков блоков датчиков и исполнительных устройств, а также включает обзор ключевых показателей эффективности (см. рис. 3). Таким образом, у оператора есть обзор всего технологического процесса и его показателей, что позволяет ему принимать необходимые управленческие меры.

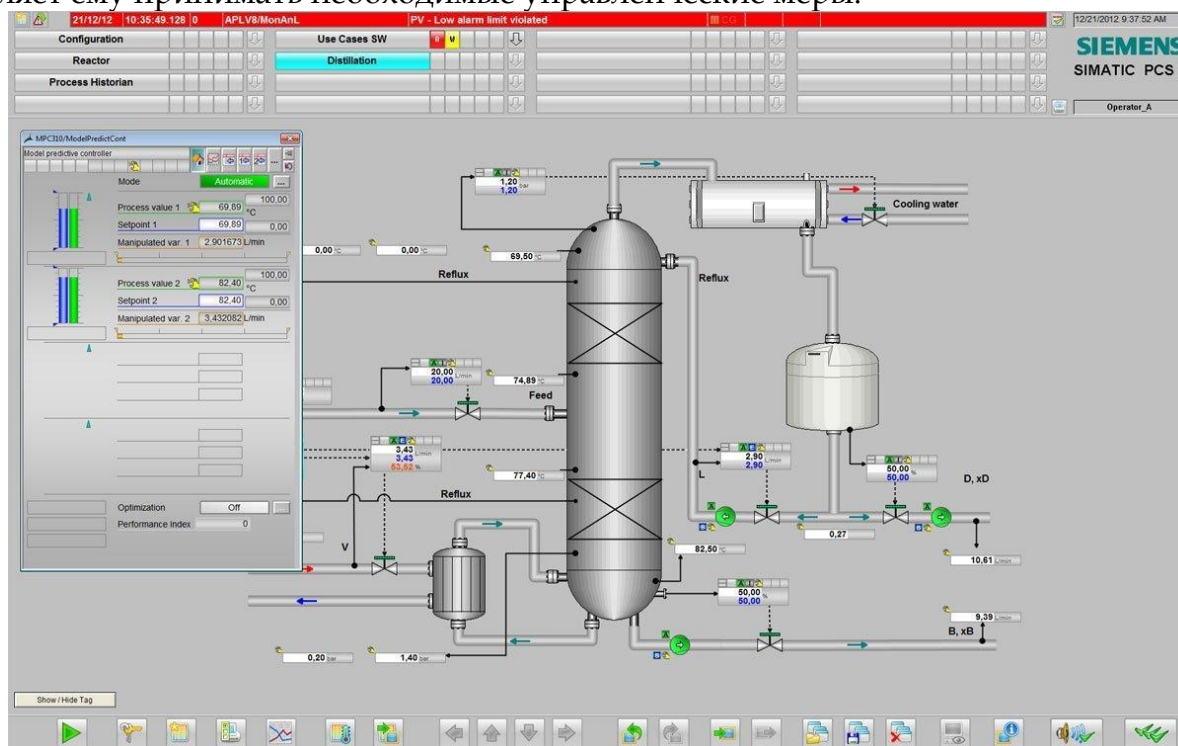


Рис. 3 Визуализация блок «Ректификационная колонна» [6]

Подводя итоги, отметим, что с распространением цифровых технологий, ростом Интернета, информационных промышленных систем появляется возможность

автоматизировать процесс ректификации и управления им. Применение таких прогрессивных решений позволяет оптимизировать работу ректификационной колонны, более эффективно контролировать параметры конечного продукта и экономить ресурсы.

#### Список литературы:

1. Невиницын В.Ю., Грименицкий П.Н., Лихач Д.С., Субботин П.А. Разработка автоматизированной системы сбора данных и оперативного диспетчерского управления ректификационной установкой // Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. 2024. № 2 (78). С. 85-92.
2. Ректификационная колонна - применение, принцип работы и виды. URL: <https://spn1.ru/2020/05/15/rektifikaczionnaya-kolonna-primenenie-princzip-raboty-i-vidy/> (дата обращения: 16.05.2025).
3. Рязанцев С.В., Козенко И.А., Хромых Е.А. Разработка информационной подсистемы при управлении процессом ректификации // Математические методы в технологиях и технике. 2023. № 5. С. 17-20.
4. PLCs Automation & Control Engineering Technical Articles. URL: <https://control.com/technical-articles/category/plc-pac/plcs/> (дата обращения: 16.05.2025).
5. Кудряшов В.С., Алексеев М.В., Иванов А.В., Козенко И.А. Синтез цифровой системы управления процессом ректификации этилбензол-стирольной фракции в производстве стирола // Автоматизация в промышленности. 2024. № 3. С. 9-12.
6. The distributed control system for integrated automation. URL: <https://www.aotewell.com/siemens-plc-siemens-pcs7-plc-order-number> (дата обращения: 16.05.2025).

#### References:

1. Nevinitsyn V.Yu., Grimenitsky P.N., Likhach D.S., Subbotin P.A. Development of an automated system for data collection and operational dispatch control of a distillation unit // Modern science-intensive technologies. Regional supplement. 2024. No. 2 (78). P. 85-92.
2. Distillation column - application, operating principle and types. URL: <https://spn1.ru/2020/05/15/rektifikaczionnaya-kolonna-primenenie-princzip-raboty-i-vidy/> (date of access: 16.05.2025).
3. Ryazantsev S.V., Kozenko I.A., Khromykh E.A. Development of an information subsystem for controlling the distillation process // Mathematical methods in technology and engineering. 2023. No. 5. P. 17-20.
4. PLCs Automation & Control Engineering Technical Articles. URL: <https://control.com/technical-articles/category/plc-pac/plcs/> (date of access: 16.05.2025).
5. Kudryashov V.S., Alekseev M.V., Ivanov A.V., Kozenko I.A. Synthesis of a digital control system for the rectification process of ethylbenzene-styrene fraction in styrene production // Automation in industry. 2024. No. 3. P. 9-12.
6. The distributed control system for integrated automation. URL: <https://www.aotewell.com/siemens-plc-siemens-pcs7-plc-order-number> (date of access: 16.05.2025).