

**O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIV TA‘LIM, FAN VA INNOVATSIYALAR VAZIRLIGI
ANDIJON MASHINASOZLIK INSTITUTI**

**MASHINASOZLIK
ILMIY-TEXNIKA JURNALI**

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ И ИННОВАЦИЙ
РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН
АНДИЖАНСКИЙ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ**

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
МАШИНОСТРОЕНИЕ**

**MINISTRY OF HIGHER EDUCATION, SCIENCE AND INNOVATIONS REPUBLIC
OF UZBEKISTAN
ANDIJAN MACHINE-BUILDING INSTITUTE
SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL
MACHINE BUILDING**

O‘zbekiston Respublikasi Vazirlar mahkamasi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasi (OAK) Rayosatining 2021-yil 30-dekabrda 310/10-son qarori bilan Andijon mashinasozlik institutining “Mashinasozlik” ilmiy-texnika jurnali “TEXNIKA” va “IQTISODIYOT” fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) va fan doktori (DSc) ilmiy darajasiga talabgorlarning dissertatsiya ishlari yuzasidan asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan ilmiy nashrlar ro‘yxatiga kiritilgan.

Ushbu jurnalda chop etilgan materiallar tahririyatning yozma ruxsatisiz to‘liq yoki qisman chop etilishi mumkin emas. Tahririyatning fikri mualliflar fikri bilan har doim mos tushmasligi mumkin. Ilmiy-texnika jurnalida yozilgan materiallarning haqqoniyligi uchun maqolaning mualliflari mas‘uldirlar.

MASHINASOZLIK
ILMIY-TEXNIKA JURNALI

Bosh muharrir:

U.M.Turdialiyev – texnika fanlari doktori, k.i.x.

Mas’ul muharrir:

U.A.Madrahimov – iqtisodiyot fanlari doktori, professor.

T A H R I R H A Y ’ A T I

Negmatov Soyibjon Sodiqovich – texnika fanlari doktori, professor O‘ZRFA akademigi (TDTU);
Abralov Maxmud Abralovich – texnika fanlari doktori, professor (TDTU);
Dunyashin Nikolay Sergeevich – texnika fanlari doktori, professor (TDTU);
Norxudjayev Fayzulla Ramazanovich – texnika fanlari doktori, professor (TDTU);
Pirmatov Nurali Berdiyrovich – texnika fanlari doktori, professor (TDTU);
Salixanova Dilnoza Saidakbarovna – texnika fanlari doktori, professor (O‘ZRFA UNKI);
Siddikov Ilxomjon Xakimovich – texnika fanlari doktori, professor (TIQXMMI);
Fayzimatov Shuhrat Numanovich – texnika fanlari doktori, professor (FarPI);
Xakimov Ortiqali Sharipovich – texnika fanlari doktori, professor (Standartlashtirish, sertifikatlashtirish va texnik jihatdan tartibga solish ilmiy-tadqiqot instituti);
Xo‘jayev Ismatillo Qo‘shiyevich – texnika fanlari doktori, professor (Mexanika instituti);
Ipatov Oleg Sergeyevich – professor (Sankt-Peterburg politexnika universiteti, Rossiya);
Naumkin Nikolay Ivanovich - p.f.d., t.f.n., professor. (Mordov milliy tadqiqot davlat universiteti, Rossiya);
Aliyev Suxrob Rayimjonovich – fizika-matematika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD), dotsent (AndMI);
Shen Zhili – professor (Shimoliy Xitoy texnologiyalar universiteti, Xitoy);
Hu Fuwen – professor (Shimoliy Xitoy texnologiyalar universiteti, Xitoy);
Won Cholyeon – professor (Janubiy Koreya Milliy tadqiqotlar fondi, Janubiy Koreya);
Celio Pina – professor (Setubal politexnika universiteti, Portugaliya);
Ricardo Baptista – professor (Setubal politexnika universiteti, Portugaliya);
Rui Vilela – professor (Setubal politexnika universiteti, Portugaliya);
Dmitriy Albertovich Konovalov - t.f.n., professor (Voronej davlat texnika universiteti);
Мухаметшин Вячеслав Шарифуллович – директор Института нефти и газа федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет» (филиал в г.Октябрьском), доктор геологоминералогических наук, профессор.
Nimchik Aleksey Grigorevich – kimyo fanlari doktori, professor (TDTU Olmaliq filiali)
Muftaydinov Qiyomiddin – iqtisodiyot fanlari doktori, professor (AndMI);
Zokirov Saidfozil – i.f.d., (Prognozlashtirish va makroiqtisodiy tadqiqotlar instituti);
Orazimbetova Gulistan Jaksilikovna - t.f.d., dotsent (AndMI)
Jo‘raxonov Muzaffar Eskanderovich – iqtisodiyot fanlari bo‘yicha falsafa doktori (AndMI);
Ermatov Akmaljon – iqtisodiyot fanlari nomzodi, dotsent (AndMI);
Qosimov Karimjon – texnika fanlari doktori, professor (AndMI);
Yusupova Malikaxon – iqtisodiyot fanlari nomzodi, dotsent (AndMI);
Akbarov Xatamjon Ulmasaliyevich – texnika fanlari nomzodi, dotsent (AndMI);
Mirzayev Otabek – texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD), (AndMI);
Raxmonov O‘ktam Kamolovich – texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD), (TDTU, Olmaliq filiali);
Xoshimov Xalimjon Xamidjanovich – texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD), (AndMI).
Kuluyev Ruslan Raisovich - texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD), (TDTU).

Texnik muharrir:

B.Iminov – Andijon mashinasozlik instituti nashriyoti.

Tahririyat manzili: Andijon shahar, Bobur shox ko‘cha, 56-uy. **Tel:** +998 74-224-70-88 (1016)

Veb sayt: www.andmiedu.uz

e-mail: andmi.jurnal@mail.ru

“Mashinasozlik” ilmiy-texnika jurnali O‘zbekiston Respublikasi Axborot va ommaviy kommunikatsiyalar agentligining 2020 yil 28- fevraldagi 04-53-raqamli guvohnomasiga binoan chop etiladi.

MUNDARIJA	
MASHINASOZLIK VA MASHINASHUNOSLIK. MASHINASOZLIKDA MATERIALLARGA ISHLOV BERISH. METALLURGIYA. AVIASIYA TEXNIKASI	
Усовершенствованное устройство управления процесса ректификации <i>Мухитдинов Д.П., Султанов И.Р.</i>	5
Необходимость правильного подбора цвета специальной одежды работников машиностроительной отрасли <i>Араббаева Ф.У.</i>	15
Tabiiy tusdagi favqulodda vaziyatlarda texnik tizimlar faoliyatini takomillashtirish <i>Jalilov A. I.</i>	20
Asinxron motor validagi yuklama o'zgarishi asosida quvvatini avtomatik rostlash <i>Olimov J.S.</i>	25
Analysis of structural changes as a result of modifiers introduced in the process of liquefaction of gray cast iron <i>Xasanov J.N.</i>	34
Barmoqsimon frezalarda konturli ishlov berishning uzlukli rejimlarida kesilayotgan qatlam ko'ndalang kesim yuzasining va kesish kuchining o'zgarish xarakterlari <i>Umarov T.U., Baydullayev A.A.</i>	40
ENERGETIKA VA ELEKTROTEXNIKA. QISHLOQ XO'JALIGI ISHLAB CHIQRISHINI ELEKTRLASHTIRISH TEXNOLOGIYASI. ELEKTRONIKA	
Boshqaruv tizimining barqarorlik mezonlari va ko'rsatkichlari <i>Sabirov U.K.</i>	46
Вопросы управление массообменными процессами <i>Султанов И.Р.</i>	58
QISHLOQ XO'JALIGI ISHLAB CHIQRISHINI MEXANIZATSIYALASH TEXNOLOGIYASI	
Mahalliy xomashyolar asosida mineral kukunlarni olish texnologiyasini ishlab chiqish va tadqiq qilish <i>Ахмадҷонов М.А., Ubaydullayev M.M.</i>	68
Fermalarda sog'ilgan sut mahsulotini umumiy miqdorini monitoring qilish algoritmi <i>Safarov E.X.</i>	74
Qishloq xo'jalik texnikalarini atmosfera muhiti ta'sirida korroziyaga uchrab yemirilish jarayonining tahlili <i>Qosimov K.Z., To'raqulov A.X.</i>	80
Ikki qatlamli trikotaj to'qimalarida qatlamlarning birlashtirish usulini trikotajni fizik-mexnik xususiyatlariga ta'sirini tadqiqoti <i>Karimov N.M.</i>	85
Kartoshka tuganaklarni elevatorlarda saralash bo'yicha nazariy tadqiqotlar tahlili <i>Bayboboev N.G., Do'smatov T.G', Qambarov E.A., Haydarov A.Q.</i>	91

**MASHINASOZLIK VA MASHINASHUNOSLIK. MASHINASOZLIKDA
MATERIALLARGA ISHLOV BERISH. METALLURGIYA. AVIASIYA TEXNIKASI**

Мухитдинов Джалолитдин Пахритдинович,
Д.т.н., профессор, Ташкентский государственный технический университет
E-mail: ryunusd@yandex.com, tel:+998(90) 2009338

Султанов Ильдар Рафкатович
Ст. преподаватель, Андижанский машиностроительный институт
E-mail: ryunusd@gmail.com, tel:+998(91) 6026604

**УСОВЕРШЕНСТВОВАННОЕ УСТРОЙСТВО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССА
РЕКТИФИКАЦИИ**

**РЕКТИФИКАТСИYA JARAYONINI BOSHQARISH QURILMALARINI
TAKOMILLASTIRISH**

ADVANCED RECTIFICATION PROCESS CONTROL DEVICE

Аннотация: В данной работе проанализирована степень автоматизации массообменных устройств переработки побочных продуктов производства этанола. В связи с этим выявлен ряд недостатков, одним из которых является оптимальное автоматизированное управление процессом ректификации побочных продуктов для извлечения высокомолекулярных спиртов из сивушного масел. В соответствии с темой разработано автоматизированное усовершенствованное устройство управления ректификационной установкой переработки побочных продуктов производства этанола. Разработано оптимальное устройство автоматизированного управления и проведен сравнительный анализ в среде Simulink PID-регулятором, в результате чего предложено более совершенное устройство автоматизированного управления процессами массообмена при помощи MPC-контроллера.

Методы. В работе использованы аналитическое и эмпирическое моделирование, методы экспериментирования и обработки полученных результатов, основные закономерности процессов теплообмена, теоретические основы химии и пищевой технологии.

Результаты. Разработано оптимально управляемая ректификационная колонна, способной разделять многокомпонентные азеотропные и взаимодействующие смеси на отдельные фракции, изготовлен экспериментальный образец оптимально управляемой ректификационной колонны, способной разделять многокомпонентные азеотропные и взаимодействующие смеси на отдельные фракции.

Выводы. С течением времени накопления информации, необходимой для идентификации, в результате воздействия возмущений, оптимальный режим теряет свою устойчивость, при этом потери при управлении возрастают. Таким образом, необходим компромисс между увеличением объема выборки и скоростью внешних возмущений. Искомый компромисс обеспечивает оптимальный режим функционирования алгоритма управления, при котором достигаются минимальные потери сырья.

Ключевые слова: оптимизация, автоматизация, управление, прогнозирование, обратная связь, горизонт, качество, модель, сигнал.

Annotatsiya: Ushbu ishda etanol ishlab chiqarishda ikkilamchi mahsulotlarini qayta ishlash uchun massa almashinish qurilmalarini avtomatlashtirilgan boshqarish darajasi tahlil qilinib, bir qator kamchiliklar aniqlangan, ulardan biri sivush moylaridan yuqori molekulyar spirtlarni alohida fraksiyalarga ajratib olishda rektifikatsiya jarayonini avtomatlashtirilgan boshqarish qurilmasi ishlab chiqish maqsad qilingan. Etanol ishlab chiqarishning ajralib chiqadigan ikkilamchi mahsulotlarini qayta ishlash uchun rektifikatsiya moslamasini avtomatlashtirilgan ilg'or boshqaruv qurilmasi ishlab chiqilib PID va MPC kontrollerlarining Simulink muhitida qiyosiy tahlil o'tkazildi, buning natijasida massa almashinish jarayonlarini avtomatlashtirilgan boshqarish uchun takomillashtirilgan qurilma taklif qilindi.

Usullari. Ishda analitik va empirik modellashtirish, tajriba o'tkazish va olingan natijalarni qayta ishlash usullari, issiqlik uzatish jarayonlarining asosiy qonuniyatlari, kimyo va oziq-ovqat texnologiyasining nazariy asoslari qo'llaniladi.

Natijalar. Ko'p komponentli azeotrop va o'zaro ta'sir qiluvchi aralashmalarni alohida fraksiyalarga ajratishga qodir bo'lgan optimal boshqariladigan kolonna sxemasi ishlab chiqildi.

Xulosa. Vaqt o'tishi bilan identifikatsiya qilish uchun zarur bo'lgan ma'lumotlarning to'planishi, tashqi og'diruvchi ta'sirlar natijasida optimal rejim barqarorligini yo'qotadi. Shunday qilib, xomashyo hajmini va tezligini tanlash o'rtasida o'zaro bog'liqlik zarur bo'ladi. Jarayonni nazorat algoritmining optimal ish rejimini ta'minlaydi, bu esa xom ashyoning minimal yo'qotishlariga erishadi.

Kalit so'zlar: optimallashtirish, avtomatlashtirish, nazorat qilish, prognozlash, teskari aloqa, gorizont, sifat, model, signal.

Abstract: This paper analyzes the degree of automation of mass transfer devices for processing by-products of ethanol production. In this regard, a number of shortcomings have been identified, one of which is the optimal automated control of the process of rectification of by-products for the extraction of high molecular weight alcohols from fusel oils. In accordance with the topic, an automated advanced control device for a distillation unit for processing by-products of ethanol production has been developed. An optimal automated control device was developed and a comparative analysis was carried out in the Simulink environment with a PID controller, as a result of which a more advanced device for automated control of mass transfer processes using an MPC controller was proposed.

Methods. The work uses analytical and empirical modeling, methods of experimentation and processing of the results obtained, the main laws of heat transfer processes, the theoretical foundations of chemistry and food technology.

Results. An optimally controlled distillation column capable of separating multicomponent azeotropic and interacting mixtures into separate fractions has been developed; an experimental sample of an optimally controlled distillation column capable of separating multicomponent azeotropic and interacting mixtures into separate fractions has been manufactured.

Conclusions. Over time, the accumulation of information necessary for identification, as a result of the influence of drift, the optimal mode loses its stability, while control losses increase. Thus, a trade-off is necessary between increasing sample size and drift rate. The desired compromise ensures the optimal operating mode of the control algorithm, which achieves minimal losses of raw materials.

Keywords: optimization, automation, control, prediction, feedback, horizon, quality, model, signal

Введение.

Современные объекты управления представляют собой многомерные маневренные системы со сложными динамическими характеристиками; решение и разработка таких задач управления являются сложными и трудоемкими. Соответственно, возрастает важность точного управления и цена ошибки или отказа при управлении, а также существенно возрастают требования к надежности и быстродействию систем управления. Ресурсы традиционных алгоритмов управления при поддержке современных программных и технических средств автоматизации во многих случаях уже не исчерпывают потенциал управления и не обеспечивают требуемого качества управления. Для решения этой проблемы формируется «промышленный заказ» на современные и эффективные системы управления. Одним из основных направлений развития является использование специальных алгоритмов для решения задач управления. Особое внимание уделяется автоматизации и управлению технологическими процессами и производствами, в том числе процессами тепло- и массообмена, обеспечению энерго- и ресурсосбережения при автоматизации и управлении технологическими процессами разделения смесей в биотехнологической, фармацевтической, пищевой, химической, нефтехимической и других отраслях промышленности. [1-3].

Методы управления повышенной сложности – это передовые технологии и алгоритмы, используемые автоматизированными системами управления технологическими процессами (АСУ ТП). Они создаются на основе научных достижений, которые являются продуктом высокой интеллектуальной деятельности и имеют коммерческую ценность. К таким методам относятся различные подходы, такие как адаптивное и многосвязное регулирование, контроль и управление с использованием объектной модели, оптимальное управление, специальные логико-динамические алгоритмы и другие. Эти методы используются в различных отраслях промышленности, в том числе нефтегазовой, металлургической, химической, энергетической, пищевой и других [2].

Современные научные исследования в области теории и практики химических и других технологий направлены на создание научных основ энерго- и ресурсосберегающих процессов [2]. В процессах массовой передачи все большее значение приобретают системы управления информацией и передачи данных, что объясняется интенсивным развитием цифровых технологий и методов обработки информации. В связи с этим целесообразно использовать методы математического моделирования при решении задач анализа и синтеза химико-технологических процессов, а также в задачах построения систем управления этими процессами.

Методы.

Известен способ управления ректификационной колонной, основное внимание уделено выбору пар регулируемых и управляющих параметров, соответствующих в заданной структуре программно-технического комплекса точкам размещения датчиков и исполнительных устройств на контроле. объекта и их включение в контур управления с помощью программируемого логического контроллера [3]. Один из способов автоматического регулирования процесса ректификации и устройство, его реализующее (Патент на изобретения (RU 2722132, кл. С1, В01Д 3/42, 26.05.2020.), включающее контроллер первого регулятора, подключено к первый и второй термометры установлены на двух контрольных пластинах в верхней части колонны. Задание для первого регулятора формируется с помощью сигнала разницы температур между первым и вторым термометром. Регулятор второго регулятора (коэффициента

расхода) подключается по входам. к датчикам расхода, первый из которых установлен на выходном патрубке (перед вторым регулятором), второй на входе полива (на оросительном патрубке после первого регулятора). Выход регулятора соотношения потоков образует задание регулятора расхода. Второй регулятор На выходе датчика уровня рефлюксной колонны формируется задание для третьего регулятора, который регулирует подачу тепловой энергии в теплообменник в нижней части колонны. Технический результат: повышение устойчивости ректификационной колонны, увеличение энергоемкости. эффективность при сохранении качества получаемого продукта.

Недостатком известного способа является использование регулятора для первого регулятора, а также для регулятора второго регулятора. Качество регулирования возникает тогда, когда управление не взаимосвязано, а это приводит к высоким энергозатратам.

Известны способы использования сивушного масла в качестве сырья для выделения изоамилового спирта перегонкой на ректификационной установке (патент РФ № 2109724), (патент РФ № 2138476), (патент РФ № 2196763), выделения спирты C₅ и выше из воды методом экстракции углекислым газом в сверхкритической области и ректификации (патент США № 5284983), а также устройство для автоматического управления процессом ректификации, патент РФ №. 2 449 827. Прототип - патент РФ №. № 2483054. По этому способу в куб колонны, снабженный нагревателем, заливают 1 м³ сырья и 0,05 м³ н-гексана . Включите подачу охлаждающей воды в конденсатор и теплоносителя в нагревательный куб. Содержимое куба нагревается до тех пор, пока пары не начнут проходить через ректификационную колонну (60°C), откуда пары с температурой 52°C поступают в конденсатор-холодильник, конденсат поступает в сепаратор, где разделяют на водную и углеводородную фазы. Водная фаза накапливается в сепараторе, а углеводородная фаза поступает в колонну на орошение. Модельер рефлюкса работает только на колонке. Излишек водной фазы из сепаратора сливается в емкость. Ректификацию начинают, когда температура достигает 68°C.

Сначала в дополнительную емкость отбирают углеводородный растворитель, затем последовательно собирают отдельно спиртовые фракции C₂ -C₄ , отдельно собирают изоамиловый спирт и более высококипящие фракции. После остывания кубовой остаток сливают в емкость.

Недостатком прототипа является то, что способ требует больших энергозатрат из-за отсутствия устройства контроля и регулирования параметров переработки сивушного масла.

Задача, на решение которой направлена научно-исследовательская работа, заключается в устранении этого недостатка с помощью устройства управления процессом переработки сивушных масел и повышения энергоэффективности.

Проблема решена тем, что устройство управления процессом переработки сивушных масел путем их перегонки оснащено контроллером, соединенным с установленными датчиками расхода и регуляторами расхода на выходе емкости с сырьем (сивушным маслом) и выходе емкости низкокипящий углеводородный растворитель н-гексан. Сырье и растворитель накапливаются в кубе внизу ректификационной колонны; Задача управления регуляторами формируется контроллером с использованием сигнала разности расхода между первым и вторым датчиками расхода. В кубе установлены датчик уровня и теплообменник с регулятором расхода; датчик уровня куба регулирует расход охлаждающей жидкости при критических уровнях смеси; датчики температуры расположены внизу колонны и на входе в конденсатор вверху колонны. Температура в колонне регулируется потоком теплоносителя, а температура на входе в конденсатор - потоком охлаждающей воды в

конденсатор и орошением колонны; задание на управление регуляторами расхода формируется контроллером, используя разность сигналов датчика и заданных параметров.[4-10]

Колонна содержит сепаратор с установленным датчиком уровня, вход которого соединен с выходом конденсатора и входом дефлегматора. Избыток водной фазы сигнализирует датчик уровня сепаратора; регулятор потока удаляет избыток из сепаратора в контейнер с водной фазой. Датчик давления, подключенный к верхней части колонны, регулирует давление пара, выходящего из конденсатора. Модельер рефлюкса имеет два выхода, первый выход подключен к оросительной колонке с установленным регулятором расхода, а второй подключен к установленному датчику плотности на выходе моделиера рефлюкса, подключенному к установленному регулятору расхода в дополнительную емкость. а для отдельных емкостей с установленными регуляторами расхода готового продукта задание на регулирование расхода регуляторов формируется контроллером по разности сигналов датчиков и заданным параметрам.

Сбор готовой продукции осуществляется по сигналу датчика состава дистиллята; регулятор направляет углеводородные фракции в отдельные емкости с готовым продуктом. Задание на управление регуляторами расхода формируется контроллером на основе разности сигналов датчика и заданных параметров.

Принципиальная схема системы управления процессом переработки сивушного масла представлена на рис. 1. Где: Устройство состоит из емкости для сырья (1) и емкости для вспомогательного углеводородного растворителя (н-гексана) (2), ректификационной колонны (3) с перегонным кубом (4), конденсатором-охладителем дистиллята (5), емкостью-сепаратором дистиллята (6), модератор флегмы (7), дополнительная емкость (8), емкость для сбора водной фазы (9), емкость для сбора этилового спирта (10), емкость для сбора изопропилового спирта (11), емкость для сбора изобутилового спирта (12), емкость для кубового остатка (13), емкости для изоамилового спирта (14), емкости для высококипящей фракции (15), уровнемер с электропередачей (16, 23), расходомер с электропередачей (17, 20), датчик температуры с электропередачей (18, 22), датчик плотномера с электропередачей (19), датчик давления с электропередачей (21), контроллер (24), регуляторы расхода (B1-B15).

Устройство работает следующим образом: в начале перегонки обезвоживаем сивушное масло, для этого запускаем контроллер, формируются регулируемые сигналы, последовательно в куб колонны 4, оснащенный нагревателем, с помощью регулятора расхода засыпается сырье. V1, н-гексан с регулятором расхода V2, с пропорцией в соотношении 100 объема сырья на 5 объемов н-гексана, рассчитывается контроллером 24 до получения критического значения датчика уровня в кубе, клапаны обоих регуляторов расхода закрываются, а регулятор расхода теплоносителя V4 открывается на основании выходного сигнала контроллера. Когда температура в колонне достигает 50°C, по сигналу датчика температуры 22 включается подача охлаждающей воды (хладагента) в конденсатор регулятором расхода V3, сигнал формируется контроллером 24, нагреваем содержимое куба до тех пор, пока через колонну 3 не начнут проходить водяные пары (хладагент), показания датчика температуры 18 60°C постоянно поступают на контроллер 24 и формируется сигнал на регулятор расхода V4, откуда поступают пары углеводородов с температурой 52° С. считываемый датчиком 22, сигнал постоянно подается на контроллер 24 и формируется сигнал для регулятора расхода V5, пары углеводородов поступают в конденсатор 5, конденсат поступает в сепаратор 6, где разделяется на водную и углеводородную фазы. Водная фаза накапливается в сепараторе, индикация уровня водной фазы сепаратора указателем уровня постоянно подает сигнал на контроллер 24 и формирует сигнал на

регулятор расхода V6 и сбрасывается в емкость 9, а углеводород смесь поступает в колонну 3 на орошение. Орошение колонны регулируется выходным сигналом датчика температуры 22, установленного в опоре колонны, передаваемым на контроллер 24 и формирующимся сигналом для регулятора расхода V5; если требование к заданному значению 52°C не соблюдается, регулятор потока V3 активируется для управления потоком хладагента.

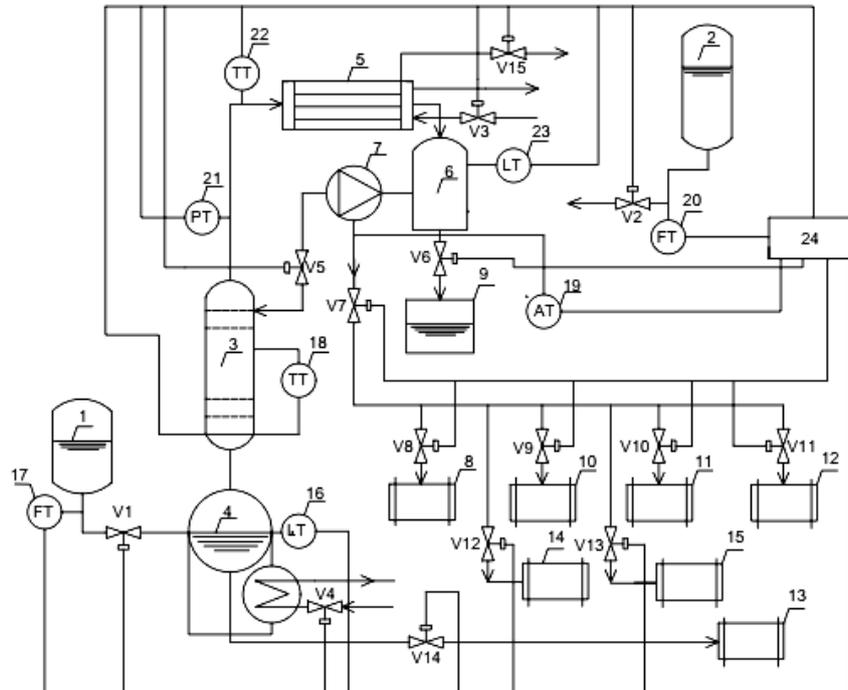


Рисунок 1. Устройство контроля переработки сивушного масла.

В этом случае модератор флегмы 7 работает только на колонне, контроллер 24 формирует сигнал для регулятора расхода V5 по сигналу датчика температуры 22, при достижении заданной температуры 68°C сигнал по температуре датчика 22 подается на контроллер 24 и формируется сигнал на регулятор расхода V6, после чего водная фаза из сепаратора 6 полностью сливается в емкость 9. Ректификацию начинаем после обезвоживания сырья растворителем н-гексаном, когда температура достигает 68°C в верхней части колонны, сигнал через датчик температуры 22 подается на контроллер 24, формируется сигнал на регулятор для отвода дистиллята углеводородного растворителя н-гексана в дополнительную емкость с 8 регуляторами расхода V7 и V8, температура в колонне с теплоносителем постепенно увеличивается, сигнал поступает на контроллер 24 от датчика температуры 22 и контролируется регулятором расхода V4, при температуре 78,39°C температура кипения этанола, сигнал поступает через датчик температуры 22 и датчиком плотнмера сигнал поступает на контроллер 24, при достижении плотности 0,7893 г/см³ формируется сигнал на регуляторы расхода V7 и V9 на удаление этанольного дистиллята в емкость 10, при температуре 80,4°C, температуре кипения изопропилового спирта, сигнал поступает через датчик температуры 22 и через датчик плотнмера, сигнал поступает на контроллер 24, при достижении плотности 0,7851 г/см³, сигнал формируется на регуляторах расхода V7 и V10 для отвода дистиллята изопропилового спирта в емкость 11, при температуре 108°C, температуре кипения изобутилового спирта, сигнал поступает через датчик температуры 22 и через датчик плотнмера, сигнал подается на контроллер 24 при

достижении плотности $0,8016 \text{ г/см}^3$, формируется сигнал на регуляторы расхода V7 и V11 на отвод дистиллята изобутилового спирта в емкость 12, при температуре $132,0^\circ\text{C}$, температуре кипения изоамилового спирта, сигнал поступает через датчик температуры 22 и через датчик плотномера, сигнал поступает на контроллер 24 при достижении плотности $0,8104 \text{ г/см}^3$, формируется сигнал на регуляторы расхода B7 и B12 для удаления изоамилового спирта дистиллят в емкость 14. После отбора основных продуктов при температуре до $176,3^\circ\text{C}$ сигнал через датчик температуры 22 подается на контроллер 24, формируется сигнал на регуляторы расхода B7 и B13 для удаления дистиллята более высокой температуры кипения. фракции в емкость 15.

После выбора более высококипящих фракций при температуре 177°C сигнал через датчик температуры 22 подается на контроллер 24, формируется сигнал на регуляторы расхода V4 путем закрытия патоки теплоносителя и регулятора расхода V14 на слив остатков в емкость 13, Давление в колонне регулируется датчиком давления 21, сигнал поступает на контроллер 24, формирующий сигнал на регулятор расхода B15 для удаления пара. Задачу управления регуляторами расхода формирует контроллер, анализируя разницу между заданным значением и сигналами датчиков [4-10].

Расчеты.

В ходе научно-исследовательской работы была разработана система управления на основе Model Predictive Controller (MPC). Все расчеты проводились с использованием пакета приложений MatLab — Model Predictive Control Toolbox (рис. 2).

В нашей работе необходимо проанализировать качество разработанной стратегии управления на основе показателей сравнения с другим видом регулирования. Для этой цели было выбрано ПИД-управление, обладающее определенными безусловными преимуществами, позволяющими широко использовать его в различных системах управления: простота настройки, универсальность, динамическая адаптация, устранение статических ошибок, повышение точности регулирования, достижение устойчивого управления системой. Выходной сигнал ПИД-регулятора находится в диапазоне $0-10 \text{ В}$.

В качестве показателей для оценки двух видов регулирования выбраны показатели качества: скорость и сверхрегулирование, а также интегральные показатели: энергетические интегральные оценки, характеризующие энергозатраты на органы управления и исполнительные механизмы.

Оценка квадратичного интеграла учитывает важные аспекты изменения сигнала во времени и позволяет настраивать системы управления для обеспечения желаемого переходного режима в различных системах. Это важный инструмент анализа монотонных и колебательных переходных процессов. Монотонные переходные процессы характеризуются отсутствием затухающих колебаний или колебаний. Они представляют собой изменение сигнала от начального значения до конечного без развития периодических колебаний. Колебательные переходные процессы, напротив, описывают изменения величины с появлением затухающих колебаний или колебаний. При анализе и управлении такими переходными процессами важно оценить их качество, степень колебаний, скорость установления и другие параметры для обеспечения безопасности и стабильности системы. Для монотонных переходных процессов оценка квадратичного интеграла может помочь в настройке системы управления, чтобы минимизировать перерегулирование и сократить время установления до желаемого значения, обеспечивая при этом стабильность без колебаний. Но для колебательных переходных процессов такая оценка может помочь

контролировать затухающие колебания, минимизировать перерегулирование и обеспечить устойчивость системы. Лучшим вариантом считается тот, в котором интегральная оценка имеет наименьшее значение.

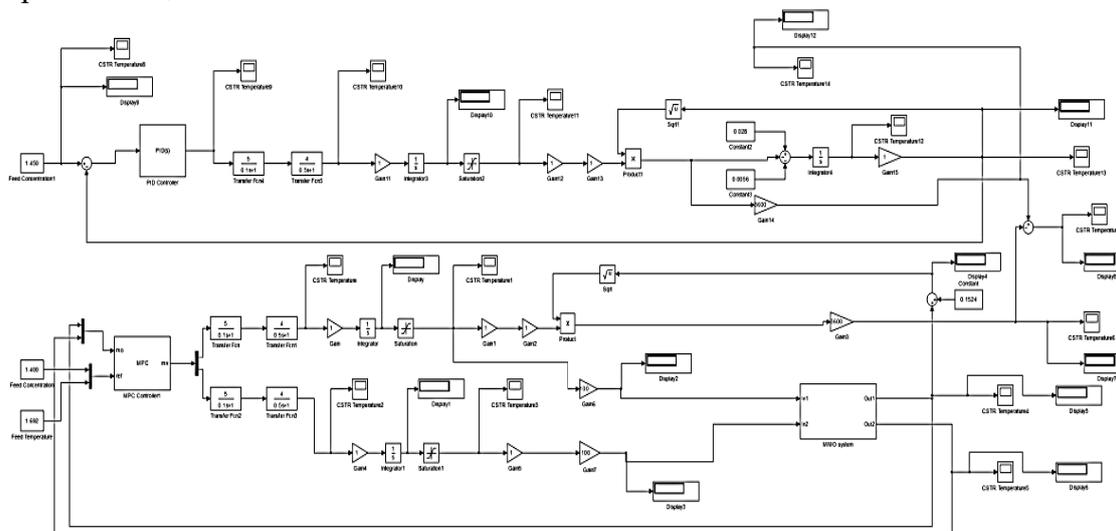


Рисунок 2 . Схема управления на базе пакета SIMULINK в MATLAB.

Переходные процессы, отражающие контроль уровня в перегрузочной емкости и перепад давления в верхней части колонны, расчетные значения прямых и интегральных показателей качества контроля представлены в таблице 1.

Таблица 1. Расчетные значения прямых и интегральных показателей качества управления.

Индекс	Уровень в сепараторе		Падение давления	
	ПИД	ПДК	ПИД	ПДК
т п , с	406,69	204,37	918,01	551,76
σ, %	0,00			
Коэффициент энергопотребления управления $V^2 * s$	24520,16	21159,39	72177,98	57015,96
Коэффициент энергопотребления при регулировании $m^2 * c$	2359,98	2541,96	-	-

Полученные результаты

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод, что разработанная стратегия MPC имеет более высокую эффективность. Суммарное энергопотребление регулятора ПДК ниже, хотя энергозатраты на регулирование уровня несколько преобладают над энергозатратами на регулирование перепада давления. Этот

недостаток можно устранить путем перенастройки регулятора ПДК. Графики после перенастройки контроллера показаны на рисунке 3.

Анализируя графики, представленные на рисунке 5 и рисунке 6, приходим к выводу, что использование MPC-регулятора позволяет увеличить быстродействие системы, при меньших затратах энергии на управление, чем при использовании ПИД-регулятора.

Возможность моделирования системы: одним из ключевых преимуществ контроллера MPC является его способность моделировать поведение управляемой системы. Это позволяет построить модель, отражающую желаемое поведение системы при различных входных условиях. Сравнение с эталонной моделью: MPC использует эталонную модель для сравнения с фактическим поведением системы. Это позволяет оценить, насколько наша управляемая система соответствует стандарту, и при необходимости скорректировать управляющие сигналы, чтобы приблизить фактическое поведение к желаемому.

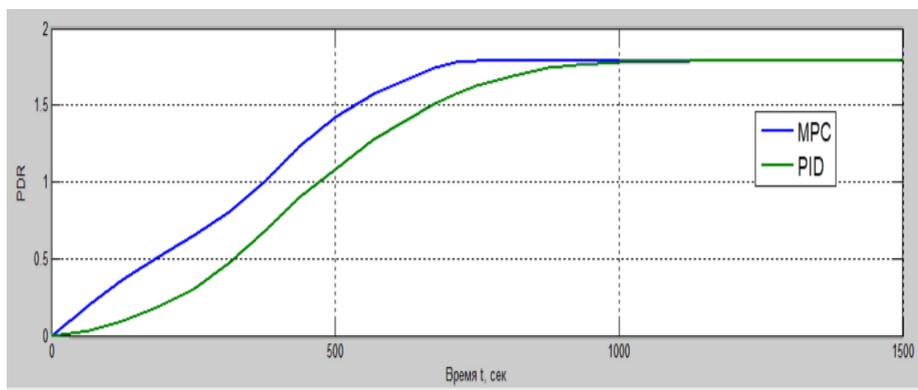


Рисунок 3. Графики переходных процессов, полученные после перенастройки при регулировании перепада давления в колонне.

Адаптивность к изменениям в системе: MPC обладает адаптивными свойствами, т.е. способен быстро реагировать на изменения в системе и корректировать сигналы управления так, чтобы поддерживать соответствие фактического поведения системы эталонной модели. Устранение влияния помех и шума: MPC может помочь снизить влияние помех и шума на управляемую систему за счет использования эталонной модели для фильтрации нежелательных помех и повышения стабильности системы. Повышенная точность управления: позволяя проводить сравнение с эталонной моделью, MPC может повысить точность управления системой, обеспечивая желаемое поведение в широком диапазоне условий и возможных изменений. Применение в различных областях: MPC находит применение в различных областях, включая производственные процессы, управление техническим обслуживанием, автоматизированные системы, управление транспортировкой, контроль уровня жидкости и многие другие. Таким образом, использование контроллера MPC дает возможность строить и управлять системами на основе моделирования, сравнения с эталонной моделью и корректировки сигналов управления для достижения желаемых результатов в различных областях применения.

Выводы.

Сравнительный анализ реализаций алгоритмов ПИД-регулирования и MPC-регулирования показывает, что потенциал повышения качества автоматического управления процессами ректификации при MPC-регулировании выше, чем при ПИД-

регулировании. Метод оптимизации развития разработок с прогнозированием, отличительной особенностью которого является то, что управление осуществляется на основе принципа обратной связи, основан на прогнозных данных с подвижным горизонтом. Введение прогностической модели оправдано тем, что она позволяет выявлять закономерности развития системы, прогнозировать возможные сценарии и принимать обоснованные управленческие решения на основе прогнозов будущего развития системы. МПЦ использует целевую функцию, определяющую искомый критерий оценки качества управления. Пакет Model Predictive Control Toolbox для Matlab для оценки качества управления использует функционал в виде квадратичной целевой функции, которая определяет желаемое поведение системы и может включать в себя минимизацию ошибок между желаемым и фактическим состоянием системы, минимизацию изменений в управляющий сигнал и другие критерии. Показано, что использование MPC-регулятора дает возможность строить и управлять системами на основе моделирования, сравнения с эталонной моделью и корректировки управляющих сигналов для достижения желаемых результатов в различных областях применения.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Кадыров Ё.Б., Мухитдинов Д.П. «Математическое моделирование ректификационной колонны с произвольным количеством подводов мощности и боковыми потоками», Химическая технология, контроль и управление и Журнал Кореяского мультимедийного общества, Сеул, 79-85 (2016).
2. Петухов И.В. Технические средства автоматизации и управления // Издательство Марийского государственного технического университета, Йошкар-Ола, 232-246 (2011).
3. Барашкин Р.Л. «Проектирование систем управления ректификационными колоннами», Центр РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина Издательство, Москва, 67-90 (2014).
4. Мухитдинов Дж., Султанов И. «Текущее состояние проблем моделирования и управления процессами ректификации», Американский журнал техники и технологий, статьи 5 (11), 130-138 (2023).
5. Мухитдинов Д.П., Кадиров Ю.Б., Султанов И.Р. Управление ректификационной колонной для обеспечения требуемого качества головного продукта // Физика: Серия конференций (т. 2373, № 7, с. 072025). Издательство ИОП. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/2373/7/072025/meta> (2022 г.).
6. Султанов И.Р., Аманбаева Д.А. Актуальные проблемы эффективного газового автомобильного топлива // Современные тенденции в технических науках (стр. 80-82). (2017).
7. Султанов И.Р. Некоторые методы оптимального управления ректификационными процессами // Мехатроника и робототехника: проблемы и перспективы развития, 1(1), 493-495. (2023).
8. Султанов И.Р., Ахмедов Ш. Б., Мирзахунов А.Н., Такабаев У.А., Аманбаева Д.А. Некоторые проблемы расчета расхода и энергосбережения при оптимизации сжигания природного газа // Молодой ученый, (6), 54-57. (2018).
9. Каримов Н.К., Холмуротов Б.Т., Аманбаева Д.А., Султанов И.Р. «Исследование и применение импортозамещающей продукции для переработки сивушных фракций на ректификационных фабриках», <https://moluch.ru/archive/293/65907/2020.3> (293) (2020).
10. Камачо Э.Ф. и Бордонс К., «Модель прогнозирующего управления», Springer-Verlag London Limited, 294 (1999).