



ISSN 3030-3702

**TEXNIKA FANLARINING
DOLZARB MASALALARI**

**TOPICAL ISSUES OF TECHNICAL
SCIENCES**



№ 12 (3) 2025

TECHSCIENCE.UZ

Nº 12 (3)-2025

**TEXNIKA FANLARINING DOLZARB
MASALALARI**

**TOPICAL ISSUES
OF TECHNICAL SCIENCES**

TOSHKENT-2025

BOSH MUHARRIR:

KARIMOV ULUG'BEK ORIFOVICH

TAHRIR HAY'ATI:

Usmankulov Alisher Kadirkulovich - Texnika fanlari doktori, professor, Jizzax politexnika universiteti

Fayziyev Xomitxon – texnika fanlari doktori, professor, Toshkent arxitektura qurilish instituti;

Rashidov Yusuf Karimovich – texnika fanlari doktori, professor, Toshkent arxitektura qurilish instituti;

Adizov Bobirjon Zamirovich – Texnika fanlari doktori, professor, O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti;

Abdunazarov Jamshid Nurmuxamatovich - Texnika fanlari doktori, dotsent, Jizzax politexnika universiteti;

Umarov Shavkat Isomiddinovich – Texnika fanlari doktori, dotsent, Jizzax politexnika universiteti;

Bozorov G'ayrat Rashidovich – Texnika fanlari doktori, Buxoro muhandislik-texnologiya instiuti;

Maxmudov Muxtor Jamolovich – Texnika fanlari doktori, Buxoro muhandislik-texnologiya instiuti;

Asatov Nurmuxammat Abdunazarovich – Texnika fanlari nomzodi, professor, Jizzax politexnika universiteti;

Mamayev G'ulom Ibroximovich – Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), Jizzax politexnika universiteti;

Ochilov Abduraxim Abdurasulovich – Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), Buxoro muhandislik-texnologiya instiuti.

OAK Ro'yxati

Mazkur jurnal O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lif, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasi Rayosatining 2025-yil 8-maydagi 370-sod qarori bilan texnika fanlari bo'yicha ilmiy darajalar yuzasidan dissertatsiyalar asosiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan ilmiy nashrlar ro'yxatiga kiritilgan.

Muassislar: "SCIENCEPROBLEMS TEAM" mas'uliyati cheklangan jamiyat; Jizzax politexnika insituti.

**TECHSCIENCE.UZ- TEXNIKA
FANLARINING DOLZARB
MASALALARI** elektron jurnali
15.09.2023-yilda 130343-sonli
guvohnoma bilan davlat ro'yxatidan
o'tkazilgan.

Barcha huqular himoyalangan.

© Sciencesproblems team, 2025-yil

© Mualliflar jamoasi, 2025-yil

TAHRIRIYAT MANZILI:

Toshkent shahri, Yakkasaroy tumani, Kichik Beshyog'och ko'chasi, 70/10-uy.
Elektron manzil:

scienceproblems.uz@gmail.com

MUNDARIJA

Rajabov Azamat

INTENSIFICATION OF THE GAS FUEL COMBUSTION
PROCESS IN CHAMBER FURNACE BURNERS 5-11

Самадов Элёр

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ
РАФИНАЦИИ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ 12-17

Хабибуллаева Дильноза, Бердимбетов Тимур, Бекбосынов Алишер

ПРОГНОЗ ДИНАМИКИ ЗАСУХИ В КАРАКАЛПАКСТАНЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ДАННЫХ MODIS И ИНДЕКСА ХЕРСТА 18-24

Choriyev O'rjinjon

SANOAT TEKNOLOGIK TIZIMLARINI INTELLEKTUAL MODELLASHTIRISH VA REAL
VAQTLI BOSHQARUV STRATEGIYALARINI OPTIMALLASHTIRISH USULLARI 25-33

Тураев Хуршид

ПРОГРАММИРОВАНИЕ ДЛЯ СИСТЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА И
АВТОМАТИЗАЦИИ 34-42

Xolmanov O'tkir

GAZ YOQUVCHI SANOAT PECHLARIDA HARORAT, BOSIM VA
YONISH JARAYONLARINI SUN'iy INTELLEKT ASOSIDA
OPTIMALLASHTIRUVCHI INTEGRALLASHGAN BOSHQARUV TIZIMI 43-53

Hamiyev Akrom, Xusanov Kamoliddin

K-MEANS KLASTERLASH ALGORITMI YORDAMIDA TALABALAR
MA'LUMOTLARINI TAHLIL QILISH 54-62

Шамсутдинова Винера

РАЗРАБОТКА МИМО-МОДЕЛЕЙ АЗЕОТРОПНОЙ И
ЭКСТРАКТИВНОЙ РЕКТИФИКАЦИИ 63-73

Karshiyev Zaynidin, Sattarov Mirzabek, Erkinov Farkhodjon

ADAPTIVE HYBRID ENSEMBLE FRAMEWORK FOR REAL-TIME ANOMALY DETECTION
IN LARGE-SCALE DATA STREAMS 74-93

Isroilov Yigitali

KORROZIYAGA QARSHI QOPLAMALAR VA INHIBITORLAR
SAMARADORLIGINI ELEKTROKIMYOVIY USULLAR ASOSIDA TADQIQ ETISH 94-102

Ортиков Элбек

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ
ПРОЦЕССОМ РАФИНАЦИИ НА ОСНОВЕ ВИРТУАЛЬНЫХ АНАЛИЗАТОРОВ 103-111

<i>Рузиев Умиджон</i>	
ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ДЕЗОДОРАЦИИ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ НА ОСНОВЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ	112-118
<i>Раджабова Махфузা</i>	
СОВРЕМЕННЫЙ ПОДХОД К КОЛОРИМЕТРИЧЕСКОМУ КОНТРОЛЮ ЖИДКИХ ПРОДУКТОВ.	119-125
<i>Glopova Kamola</i>	
ENERGY-EFFICIENT ROUTING PROTOCOL FOR WIRELESS SENSOR NETWORKS USING MACHINE LEARNING	126-137
<i>Ahmadaliyev Utkirbek, Muhammadyakubov Shodiyorbek</i>	
NASOS AGREGATLARINING ENERGIYA SAMARADORLIGINI ASBOB-USKUNALAR YORDAMIDA TEKSHIRISH	138-144
<i>Xakimov Temurbek, Xoshimjonov Muxammadjon</i>	
PAST KUCHLANISHLI HAVO ELEKTR TARMOQLARI KABELLARIDAGI TEXNIK ISROFLARNI TAXLIL QILISH.....	145-150
<i>Бегалиев Хашим, Кодиров Тулкин, Гарибян Ирина, Улугмуратов Журабек, Исматуллаев Илёс, Хамитов Али, Турсункулов Ойбек, Акиюз Фазли</i>	
УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДУБЛЕНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ КОЖЕВЕННОГО СЫРЬЯ СТРАУСА.....	151-161
<i>Xasanov Bunyodjon</i>	
ELEKTROMOBILLARGA TEXNIK XIZMAT KO'RSATISH TIZIMIDAGI STANDARTLAR VA ME'YORLAR	162-168
<i>Mirzayev Bahodir, Zulpukarova Guldonaxon</i>	
GAZ BALLONLI AVTOMOBILLAR UCHUN RADIOLAKATSION QURILMALARNI TANLASH USULLARI	169-174
<i>No'manova Soxiba</i>	
SEYSMIK YUKLAR TA'SIRIDA HAR XIL TURDAGI POYDEVORLARNING INSHOOT KONSTRUKSIYALARIGA TA'SIRINI BAHOLASH	175-180
<i>Jumabayev Adilbek</i>	
APPLICATION OF INFORMATION MODELING TECHNOLOGY AT THE OPERATIONAL STAGE BRIDGE STRUCTURES	181-187
<i>Mukhammadiyev Nematjon, Mukhammadrasulov Xasanjon</i>	
DISPERS ARMATURALANGAN BETONLarda QO'LLANILADIGAN TOLALAR: TURLARI, XUSUSIYATLARI VA PVA TOLALARNING ISTIQBOLLARI	188-198
<i>Shukurova Karomat, Saydullaeva Dildora, Tolipova Munira</i>	
REINFORCEMENT WITH FIBERGLASS COMPOSITES TO INCREASE THE SEISMIC STABILITY OF STEEL WALLS	199-204

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ РАФИНАЦИИ НА ОСНОВЕ ВИРТУАЛЬНЫХ АНАЛИЗАТОРОВ

Ортиков Элбек Элмирза угли

Доктор философии по техническим наукам (PhD),

доцент Ташкентского государственного технического университета

Email: ortiqovelbek2018@gmail.com

Тел: +998 90 1092908

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-9049-2953>

Аннотация. В статье рассматривается подход, основанный на построении интеллектуальных виртуальных анализаторов, которые по текущим показаниям датчиков технологических параметров вычисляют значения трудно измеряемых показателей качества. Предлагается методика формирования таких моделей в условиях шумных, неполных и временно рассинхронизированных данных. Используются алгоритм максимизации правдоподобия для уточнения временных задержек, регрессия частичных наименьших квадратов для работы с мультиколлинеарными входами, нелинейные преобразования, методы анализа и формирования обучающей выборки. Показано, что внедрение разработанного виртуального анализатора позволяет уменьшить среднюю ошибку прогноза качества на десятки процентов, стабилизировать режим рафинации и обеспечить снижение энергопотребления и потерь целевого продукта.

Ключевые слова: интеллектуальное управление, рафинация растительных масел, виртуальные анализаторы, оценка качества масла, интеллектуальная диагностическая система.

INTELLECTUAL METHODS OF MODELING AND MANAGEMENT THE REFINING PROCESS BASED ON VIRTUAL ANALYZERS

Ortikov Elbek

Doctor of Philosophy in Technical Sciences (PhD),

associate professor, Tashkent State Technical University r

Annotation. The article examines an approach based on the construction of intelligent virtual analyzers, which calculate the values of difficult-to-measure quality indicators based on the current readings of technological parameter sensors. A methodology for forming such models under conditions of noise, incomplete, and temporarily dissynchronized data is proposed. A probabilistic maximum algorithm is used to clarify time delays, partial least squares regression for working with multicollinear inputs, nonlinear transformations, analysis methods, and training sampling formation. It has been shown that the implementation of the developed virtual analyzer allows for a decrease in the average error of quality forecasting by tens of percent, stabilizes the refining regime, and ensures a reduction in energy consumption and losses of the target product.

Keywords: intelligent control, refining of vegetable oils, virtual analyzers, oil quality assessment, intelligent diagnostic system.

DOI: <https://doi.org/10.47390/ts-v3i12y2025N11>

Введение

В настоящее время проводится множество научных исследований, направленных на повышение качества управления технологическими процессами рафинации

растительных масел. В связи с этим в настоящее время особое внимание уделяется исследованиям по созданию интеллектуальной системы управления растительными маслами, обеспечивающей качество конечного продукта и энергосбережение, разработке математических моделей и алгоритмов, оптимальных систем управления процессом рафинации. В связи с этим, решение проблем разработки и совершенствования новых систем управления процессом рафинации растительных масел является одной из актуальных задач. Процесс рафинации жидких сред в нефтехимической, пищевой и общей химической промышленности относится к числу ключевых операций, определяющих качество и потребительские свойства готовой продукции. Рафинация обеспечивает удаление примесей различной природы, стабилизацию физико-химических свойств продукта и снижение его коррозионной и экологической опасности. Несмотря на развитость аппаратурного оформления, управление процессом рафинации по-прежнему сталкивается с фундаментальными ограничениями, обусловленными невозможностью прямого измерения ключевых показателей качества в реальном времени. Традиционная опора на лабораторные анализы ведёт к значительным временным задержкам, работе по устаревшей информации и, как следствие, к повышенным энергозатратам и нестабильности режима [1-3].

Анализ литературы и методология

Рафинация жидких продуктов исторически возникла как ответ на необходимость отделения полезной части сырья от примесей, ухудшающих его свойства. В нефтепереработке рафинация обеспечивает снижение содержания сернистых соединений, смол, кислых компонентов, ароматических веществ и других загрязнений, негативно влияющих на эксплуатационные характеристики топлива и масел. В пищевой промышленности рафинация растительных масел служит для удаления фосфолипидов, свободных жирных кислот, красящих и ароматических соединений, обеспечивая безопасность и стабильность продукта. В химических и фармацевтических производствах рафинация необходима для получения веществ высокой чистоты, соответствующих строгим нормативным требованиям. На уровне аппаратов рафинация реализуется в виде последовательности стадий, каждая из которых выполняет определённую функцию. На грубой стадии механической очистки удаляются твёрдые включения и крупные частицы. Нейтрализация обеспечивает связывание кислых компонентов щёлочью или другим реагентом. Адсорбционная очистка и обесцвечивание устраняют высокомолекулярные соединения и вещества, влияющие на цвет и запах. Ректификация и дезодорация удаляют летучие и пахучие компоненты. Наконец, тонкая фильтрация и полировка формируют окончательные показатели прозрачности и стабильности продукта.

Несмотря на видимую технологическую развитость, рафинация остается сложным и недостаточно формализованным объектом управления. Такая ситуация обусловлена рядом причин. Во-первых, процессы массообмена и теплопереноса, определяющие отделение примесей, обладают нелинейным характером и существенно зависят от локальных параметров внутри аппарата. Во-вторых, исходное сырье, подаваемое на рафинацию, имеет изменчивый состав, который подвержен влиянию сезонных, географо-климатических и технологических факторов. Кроме того, ряд показателей качества продукта, например, концентрация примесей, кислотное число,

цвет и запах, не могут быть измерены непрерывно и непосредственно. Их определение возможно только в лабораторной среде. Традиционная схема управления опирается на периодический отбор проб и проведение лабораторных анализов. Время между отбором пробы и получением результата зачастую составляет от нескольких часов до суток. За этот период технологический процесс успевает пройти через множество переходных состояний, а изменения режима, вызванные корректирующими действиями оператора, уже не связаны с тем состоянием, которое было зафиксировано анализом. В результате система управления вынуждена работать с большим запасом по качеству: параметры поддерживаются на более жёстком уровне, чем требуется, чтобы компенсировать информационную неопределённость. Это приводит к избыточным затратам пара, электроэнергии и реагентов, а также к недоиспользованию потенциальных возможностей технологического оборудования.

Одним из возможных решений может стать внедрение широко распространенных онлайн-аналитических приборов, которые позволяют измерять состав и свойства продукта в режиме реального времени. Однако, такие устройства, особенно для сложных смесей с большим количеством компонентов, обладают высокой стоимостью, нуждаются в сложном обслуживании и показывают ограниченную надежность в условиях тяжелой промышленной эксплуатации. Многие анализаторы чувствительны к загрязнению оптических трактов, нуждаются в регулярной калибровке и не всегда выдерживают длительную работу при высокой температуре и давлении. Поэтому во многих случаях предприятия сознательно отказываются от полного перехода на онлайн-анализ, ограничиваясь точечным применением таких устройств на наиболее критичных участках. В этих условиях всё больший интерес представляет концепция виртуального анализатора. Под виртуальным анализатором понимают математическую модель, которая по текущим значениям измеряемых технологических параметров вычисляет значения трудноизмеряемых показателей качества. Иначе говоря, виртуальный анализатор играет роль программного аналога физического прибора, опираясь не на прямые физические измерения, а на выявленные в данных статистические и физико-химические закономерности. Он не требует обслуживания, связанного с заменой реактивов и оптических элементов, и может быть внедрён на существующем оборудовании без серьёзных капитальных затрат [4-6].

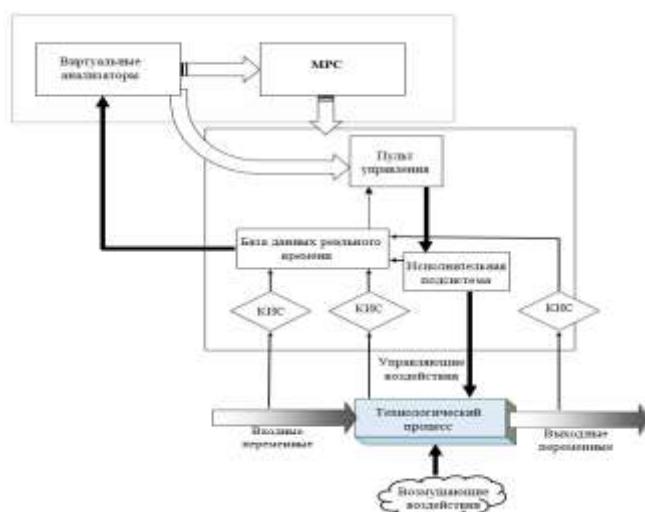


Рис.1. Схема взаимодействия АСУ ТП и ВА.

Обсуждение

Технологические данные, собираемые в промышленности, обладают большим количеством особенностей. Они содержат шум, возникающий из-за ограниченной точности датчиков и помех. Нередко присутствуют пропуски измерений вследствие сбоев связи, остановов оборудования или ошибок персонала. Многие параметры тесно коррелированы между собой, что затрудняет применение классических методов регрессии. Кроме того, данные часто имеют неопределенность по времени: точное соответствие между моментом отбора пробы для лабораторного анализа и текущими значениями технологических параметров не всегда известно. Именно эти факторы обуславливают необходимость разработки специальных методов обработки информации, ориентированных на реальные промышленные условия.

Для корректного построения модели виртуального анализатора важно понимать физико-химическую сущность процесса рафинации и типичные механизмы отделения примесей. На стадии ректификации разделение компонентов осуществляется за счёт различия их летучести. Пространственное распределение температур и концентраций по высоте колонны определяет, в какой степени каждый компонент переходит в паровую или жидкую фазу. При этом на каждой тарелке или в каждом слое насадочной колонны реализуются процессы массообмена между паровой и жидкой фазами.

Массообмен описывается зависимостью потока вещества через межфазную поверхность от разности концентраций в объёме и на поверхности. В простейшей форме этот поток можно представить, как произведение коэффициента массоотдачи, удельной поверхности контакта фаз и движущей силы процесса. Коэффициент массоотдачи, в свою очередь, определяется гидродинамическим режимом, а также физическими свойствами жидкости и пара. Наличие пенных, дисперсных или струйных режимов существенно влияет на эффективность массообмена. Испарение примесей, конденсация паров, передача тепла от греющих поверхностей к жидкости и от горячих паров к холодным потокам создают сложное распределение температур. Изменение температуры на несколько градусов может сместить равновесие фазового распределения и существенно повлиять на состав продукта. Таким образом, температурные профили в аппаратах рафинации являются важнейшими факторами, определяющими качество конечного продукта, и должны быть включены в модель виртуального анализатора.

Основным компонентом масложировой рафинации является щелочной раствор (NaOH), основными параметрами которого являются концентрация щелочного раствора, температура и время обработки. Этот компонент помогает очистить жир от свободных жирных кислот, фосфолипидов и других вредных примесей. Сырьё, поступающее на рафинацию, зачастую представляет собой многокомпонентную смесь с неустойчивым составом. В случае растительных масел его свойства зависят от сорта и происхождения семян, условий их хранения, применяемых агротехнологий. Поэтому любые модели, построенные на предположении о постоянстве состава, неизбежно будут сталкиваться с ограничениями при переходе от одного типа сырья к другому. Виртуальный анализатор должен быть достаточно гибким, чтобы не разрушаться при изменении статистических характеристик входных данных.

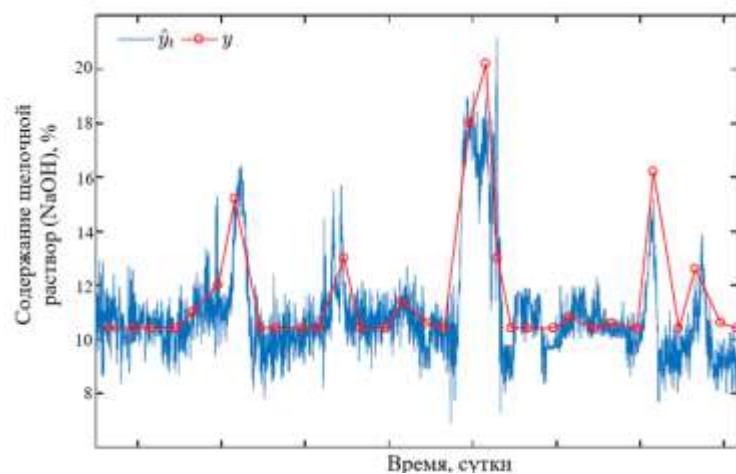


Рис.2. Выход модели ВА для оценки содержания щелочной раствор (NaOH) в выходном продукте и результаты лабораторных анализов.

Эти особенности подводят к необходимости использования методов, совместно учитывающих нелинейность зависимостей, неопределенность параметров и изменчивость сырья. Для этого в работе применяется комбинация статистических и интеллектуальных подходов [7].

Информационная среда процесса рафинации образуется данными от датчиков температуры, давления, расхода, уровня, анализаторов состава, а также данными лабораторных измерений качества продукта. Непрерывные технологические параметры обычно регистрируются с шагом от нескольких секунд до нескольких минут. Лабораторные данные поступают с интервалами в несколько часов и относятся к определённым точкам технологической цепочки.

Первым этапом работы с такими данными является их предварительная обработка. Необходимо удалить явные выбросы, обусловленные сбоем измерительных каналов, некорректной работой датчиков или ошибками оператора. Для этого используют робастные методы сглаживания и статистические критерии, позволяющие выявлять значения, не вписывающиеся в ожидаемый диапазон. После удаления выбросов требуется восстановить недостающие фрагменты временных рядов. Для интерполяции применяются комбинации методов: от простых аппроксимирующих полиномов до моделей авторегрессии, позволяющих учитывать динамику изменения параметров.

Следующий важный шаг связан с анализом корреляционной структуры данных. Практика показывает, что многие технологические параметры сильно связаны между собой. Например, температуры разных уровней колонны нередко изменяются согласованно. Аналогично, расход паровой фазы и давление на верхних тарелках могут быть функционально взаимосвязаны. При прямом использовании таких данных в регрессионном моделировании возникает проблема мультиколлинеарности, приводящая к неустойчивости оценок коэффициентов и ухудшению предсказательной способности модели. Для устранения этой проблемы применяются методы анализа главных компонент и регрессии частичных наименьших квадратов. Они позволяют представить исходные переменные в виде ограниченного числа латентных факторов, несущих основную информацию об объекте.

Особое внимание уделяется вопросу временной согласованности данных. Лабораторный анализ не проводится непрерывно, а момент отбора пробы нередко

фиксируется с некоторой погрешностью. Более того, само продвижение продукта по установке занимает определённое время, так что измеренные технологические параметры в момент t могут влиять на значение показателя качества, относящееся к моменту $t + \tau$, где τ – неизвестная или непостоянная задержка. Для корректного обучения модели необходимо оценить величину этой задержки и учесть её в структуре входных данных.

Для решения задачи оценки задержек применяется алгоритм максимизации правдоподобия, известный как ЕМ-алгоритм. Он позволяет чередовать два шага: на первом шаге, исходя из текущих параметров модели, оценивается наиболее вероятное распределение задержек между технологическими и лабораторными данными, а на втором шаге производится пересчёт параметров модели по обновлённым данным. Эта итерационная процедура продолжается до тех пор, пока изменение функции правдоподобия не станет достаточно малым, что свидетельствует о достижении локального максимума.

Следующей проблемой является ограниченность объёма обучающей выборки. Поскольку лабораторные измерения производятся редко, число доступных точек, по которым можно сопоставить реальные значения качества и набор технологических параметров, оказывается ограниченным. Это затрудняет обучение сложных нелинейных моделей, способных к адекватной аппроксимации процесса. Для преодоления этой трудности применяется методика доформирования выборки. Она заключается в том, что на основе существующих наблюдений и известных физических закономерностей генерируются дополнительные синтетические точки данных, заполняющие «пробелы» в пространстве рабочих режимов.

После выполнения всех указанных процедур формируется окончательный набор данных для обучения виртуального анализатора. В качестве базового метода регрессии используется PLS-подход, который позволяет построить линейное отображение из пространства входных переменных в пространство показателей качества через небольшое число латентных факторов. Однако вследствие сильной нелинейности реальных зависимостей одной лишь линейной модели оказывается недостаточно. Поэтому на следующем этапе на остатках линейной регрессии обучается нелинейная корректирующая модель, реализующая дополнительное преобразование входных факторов. В качестве такой модели могут использоваться нейронные сети или алгоритм ACE, осуществляющий поиск монотонных преобразований переменных, максимизирующих коэффициент корреляции между входами и выходом.

Результаты

В результате получается гибридный виртуальный анализатор, в котором линейная часть отвечает за глобальную структуру зависимости, а нелинейная корректирующая часть – за тонкую настройку модели в областях, где проявляются сложные эффекты.

Применение разработанной методики к данным реальной рафинационной установки показало её высокую эффективность. После предварительной обработки удалось существенно уменьшить дисперсию шумов в измерительных каналах, восстановить непрерывность основных временных рядов и получить согласованный набор данных для последующего анализа.

Использование ЕМ-алгоритма позволило уточнить задержки между технологическими параметрами и результатами лабораторных анализов. Если исходно разброс оценок задержки составлял несколько десятков минут, то после нескольких итераций алгоритма удалось сузить интервал неопределённости до величины, сопоставимой с временным шагом дискретизации. Это обеспечило корректное сопоставление входных и выходных данных и создало условия для получения устойчивых регрессионных коэффициентов.

PLS-модель, построенная на основе очищенных и согласованных данных, показала высокую объясняющую способность. Небольшое число латентных факторов описывало большую часть дисперсии входных и выходных переменных. Однако оставшиеся ошибки прогноза свидетельствовали о наличии нелинейных зависимостей, которые не могут быть полностью учтены в рамках линейной модели. Добавление нелинейной корректирующей компоненты, основанной на преобразованиях ACE, позволило значительно уменьшить среднеквадратическую и среднюю абсолютную ошибку предсказаний [8,9].

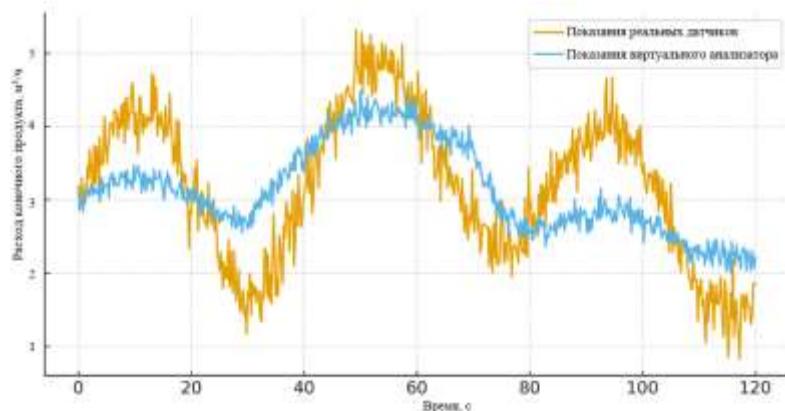


Рис.3. Результаты обучения модели PLS нейронной сети.

Для проверки работоспособности виртуального анализатора была проведена серия испытаний на исторических данных, не участвовавших в обучении. Модель демонстрировала высокую корреляцию между прогнозируемыми и фактическими значениями показателей качества. Особенно важно, что виртуальный анализатор корректно реагировал на переходные режимы, возникавшие при изменении нагрузки, состава сырья или технологических настроек. Это свидетельствует о его способности улавливать реальные динамические закономерности процесса, а не просто запоминать конкретные комбинации параметров.

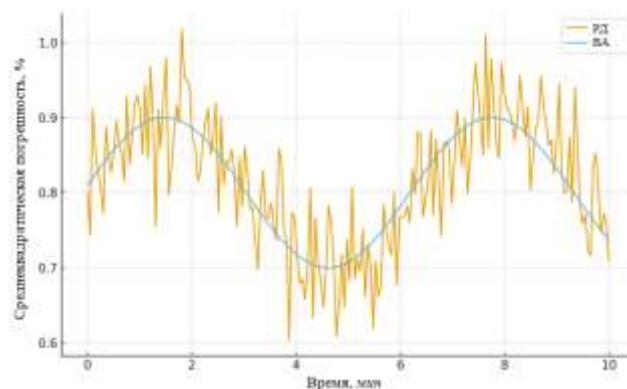


Рис.4. Сравнение результатов реального датчика и виртуального анализатора.

На завершающем этапе модель была интегрирована в систему автоматизированного управления. Виртуальный анализатор начал работать в режиме реального времени, используя данные от действующих датчиков установки. Его выводы стали использоваться сначала как подсказка для оператора, а затем – как основа для формирования управляющих воздействий в контуре оптимизации. Анализ статистики за период промышленной эксплуатации показал снижение расхода пара и других энергоресурсов, уменьшение доли продукции, не соответствующей заданным требованиям по качеству, и стабилизацию технологического режима.

Полученные результаты позволяют сделать ряд важных выводов относительно применимости виртуальных анализаторов к процессам рафинации. Во-первых, становится очевидно, что даже при относительно небольшом количестве лабораторных анализов, если подкрепить их качественной предварительной обработкой данных и использованием методов доформирования выборки, возможно построение достаточно точной модели. Это особенно важно для предприятий, где увеличение частоты лабораторных испытаний связано с существенными затратами. Во-вторых, комбинация методов линейного и нелинейного моделирования демонстрирует своё преимущество по сравнению с использованием только одного подхода. Линейная часть обеспечивает простоту интерпретации и устойчивость модели, тогда как нелинейная корректирующая компонента даёт возможность учсть сложные эффекты взаимодействия переменных. Такой гибридный подход позволяет избегать как излишней жесткости чисто линейных моделей, так и склонности к переобучению, характерной для сложных нелинейных структур при ограниченном объёме данных. В-третьих, особую роль играет учёт временных задержек по схеме ЕМ-алгоритма. Если игнорировать, то обстоятельство, что показатели качества относятся к прошлому состоянию процесса, а не к текущему, то модель начинает «размывать» связи между переменными, и её предсказательная способность резко падает. Корректная оценка задержек позволяет выстроить более естественные причинно-следственные связи между режимом работы оборудования и характеристиками продукта.

К числу ограничений предложенного подхода можно отнести необходимость регулярной переоценки параметров модели по мере накопления новых данных, особенно при существенном изменении состава сырья или конфигурации технологической схемы. Однако эта проблема характерна для любых моделей, применяемых в промышленности, и решается внедрением процедур периодического дообучения.

Заключение

В работе рассмотрен комплексный подход к созданию виртуального анализатора для процесса рафинации, позволяющего получать в режиме, близком к реальному времени, оценки показателей качества, доступных ранее только по результатам лабораторных анализов. Показано, что использование современных методов обработки данных, включающих очистку от шумов, интерполяцию пропусков, анализ коллинеарности, оценку временных задержек с помощью ЕМ-алгоритма, регрессию частичных наименьших квадратов и нелинейные преобразования, позволяет построить устойчивую и точную модель.

Интеграция разработанного виртуального анализатора в систему управления приводит к снижению энергозатрат и потерь целевого продукта, повышению

стабильности технологического режима и уменьшению зависимости от трудоёмких лабораторных анализов. Полученные результаты подтверждают, что интеллектуальные методы моделирования и анализа данных являются эффективным инструментом повышения эффективности рафинационных процессов и могут быть успешно распространены на другие виды массообменных и химико-технологических систем.

Adabiyotlar/Literatura/References:

1. Samadov E.E. Analysis Of Vegetable Oil Refining Technology // Chemical Technology, Control and Management: Vol. 2023: Iss. 1, Article 1.-pp. 5-18.
2. Samadov E.E. Developing advanced process control system for manufacturing processes using virtual analyzer // Chemical Technology, Control and Management: Vol. 2021: Iss. 6, Article 4.
3. Yusupbekov N.R., Samadov E.E. Improvement of vegetable oil refining processes // VII international scientific conference. "Development of science in the XXI century", August 03 – 04, 2023 Dortmund, Germany. pp. 66-69.
4. Дозорцев, В. М. Усовершенствованное управление технологическими процессами (APC): 10 лет в России / В. М. Дозорцев, Э. Л. Ицкович, Д. В. Кнеллер // Автоматизация в промышленности. – 2013. – № 1. – с. 12-19.
5. Мокров, Д. В. Перспективы применения виртуальных анализаторов в системах управления ресурсами производства / Д. В. Мокров, Н. Н. Бахтадзе // Проблемы управления. – 2004. – № 1. – с. 40-45.
6. Торгашов А.Ю., Гончаров А.А., Самотылова С.А. Современные методы построения систем усовершенствованного управления технологическими процессами // Вестник ДВО РАН. – 2016. – № 4 (188). – с. 102-107.
7. Samadov E.E. Instrumental and analytical implementation of a virtual analysis of the output product quality - refined vegetable oil // Chemical Technology, Control and Management: Vol. 2022: Iss. 4-5. Article 34. –pp. 183-187. (05.00.00, №12).
8. Ortikov E.E. Principles of constructing a virtual liquid flow meter / XIV International Scientific and Practical Conference "Current questions of modern science", July 11-12, 2024, Tallinn, Estonia. 44-47p. ISBN 978-92-44514-10-8, DOI <https://doi.org/10.5281/zenodo.12748604>
9. Yusupbekov N.R., Samadov E.E., Создание APC-усовершенствованной системы управления с использованием виртуального анализатора // "Fan va ishlab chiqarish integratsiyalashuvi sharoitida kimyo texnologiya, kimyo, va oziq-ovqat sanoatidagi muammolar va ularni bartaraf etish yo'llari" respublika ilmiy-amaliy konferensiya materiallari to'plami. 3-4 iyun 2022 yil. -322-325 b.

TECHSCIENCE.UZ

**TEXNIKA FANLARINING DOLZARB
MASALALARI**

Nº 12 (3)-2025

TOPICAL ISSUES OF TECHNICAL SCIENCES

**TECHSCIENCE.UZ- TEXNIKA
FANLARINING DOLZARB MASALALARI**
elektron jurnali 15.09.2023-yilda 130346-
sonli guvohnoma bilan davlat ro'yxatidan
o'tkazilgan.

Muassislar: "SCIENCEPROBLEMS TEAM"
mas'uliyati cheklangan jamiyati;
Jizzax politeknika insituti.

TAHRIRIYAT MANZILI:
Toshkent shahri, Yakkasaroy tumani, Kichik
Beshyog'och ko'chasi, 70/10-uy.
Elektron manzil:
scienceproblems.uz@gmail.com