

Интеллектуальные системы управления производственным процессом в нефтехимической отрасли

Аксёнов А.Н.

студент

Уфимский университет науки и технологий
Уфа, Россия

e-mail: Aksenov-89@yandex.ru

Гиндуллина Т.К.

к.т.н., доцент

Уфимский университет науки и технологий
Уфа, Россия

e-mail: Tamara_ugatu@mail.ru

Аннотация

1

В статье рассматриваются возможности повышения эффективности управления производственными процессами на нефтехимических предприятиях с применением интеллектуальных систем автоматизации. Введение описывает текущее состояние автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП), которые обеспечивают автоматический контроль и оперативное управление важными параметрами производства, минимизируя человеческий фактор и ошибки. Акцент сделан на необходимости перехода к поточным анализаторам для оперативного контроля физико-химических свойств продукции, заменяя лабораторные анализы. В основной части статьи анализируются три технологические установки действующего нефтеперерабатывающего завода, где контроль качества продукции, например содержание серы, проводится ограниченное количество раз в сутки. Предлагается внедрение поточных анализаторов для осуществления анализа в реальном времени и сокращения времени на устранение отклонений. Основное внимание уделено внедрению интеллектуальной системы автоматизированного управления на основе нейросети, которая позволит автоматически определять и устранять причины отклонений, а также самообучаться на действиях персонала в нестандартных ситуациях. Нейросеть также сможет осуществлять точные управляющие воздействия на параметры процесса в зависимости от величины отклонений контролируемых показателей.

Ключевые слова: автоматизация управления; интеллектуальные системы; нейросети; нефтехимическая промышленность; поточные анализаторы; automation control; intelligent

systems; neural networks; petrochemical industry; online analyzers.

1. Введение

Одной из главных задач нефтехимической отрасли является управление процессами с высокой динамичностью, требующими постоянного контроля, анализа и принятия решений в режиме реального времени. В частности, при переработке нефти в различные фракции необходимо поддерживать стабильные параметры для повышения эффективности и минимизации потерь. Для решения этих задач используются автоматизированные системы управления технологическим процессом (АСУТП), которые обеспечивают постоянный мониторинг и оптимизацию производственных процессов.

Применение таких систем в нефтехимической промышленности позволяет автоматизировать управление сложными технологическими процессами, что ведет к повышению общей эффективности работы предприятий, снижению энергозатрат и улучшению их конкурентоспособности. АСУТП интегрируют управление всеми компонентами производственного цикла, обеспечивая стабильное функционирование оборудования и предотвращая возможные сбои [1].

АСУТП на нефтехимических предприятиях выполняют ряд важных функций, таких как:

- мониторинг и контроль работы оборудования на установках НПЗ;
- учет времени работы оборудования и расходов сырья и энергоресурсов (воды, пара, газа, электроэнергии т.д.);
- автоматическое регулирование режимов работы оборудования;
- долгосрочное хранение данных;

Труды X Международной научной конференции "Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений", 12-14 ноября, Уфа-Баку-Чандигарх, 2024

Интеллектуальные системы управления производственным процессом в нефтехимической отрасли

- диагностика состояния оборудования АСУТП;
- создание отчётов о производственном процессе.

Одно из главных преимуществ АСУТП — это возможность автоматической корректировки параметров в реальном времени. Системы быстро адаптируются к изменениям, таким как колебания состава сырья или давления, анализируя данные и предлагая оптимальные решения для улучшения производственных процессов. Это способствует увеличению производительности и снижению расходов на производство [2].

АСУТП также эффективно учитывают различные факторы и ограничения, чтобы обеспечить оптимальные условия для работы оборудования. Они могут анализировать широкий спектр параметров, таких как состав сырья, температура и давление, для принятия взаимосвязанных решений, направленных на повышение эффективности производства.

Дополнительным преимуществом использования таких систем является снижение влияния человеческого фактора. Автоматизация процессов минимизирует необходимость ручного вмешательства, что снижает вероятность ошибок и позволяет избежать сбоев, связанных с ошибками людей [3].

С учетом множества взаимосвязанных технологий, применяемых на предприятиях, а также возросших требований к безопасности, сегодня особенно важно повысить эффективность как отдельных установок, так и всего комплекса оборудования без изменения технологии. Это можно достичь благодаря комплексному подходу, включающему экономические, организационные и ИТ-решения.

Для перехода к системам, которые позволяют автоматически управлять технологическими процессами, предприятиям необходимо внедрение решений для определения физико-химических свойств продукции в режиме реального времени. Одним из таких решений является использование поточных анализаторов на технологических установках вместо лабораторных анализов. Хотя лабораторные анализы обладают высокой точностью, они выполняются не столь часто, что может приводить к задержкам в реакции на изменения технологического процесса, таких как смена режимов работы оборудования [4].

2. Интеграция интеллектуальных систем управления и поточных анализаторов в производственные процессы нефтехимической отрасли

Рассмотрим для примера три технологические установки одного из нефтеперерабатывающих заводов России.

Анализ таблиц аналитического контроля (рисунки № 1,2,3) показывает, что на сегодняшний день анализ

товарных продуктов по одному из основных показателей качества проводится всего 3 раза в сутки [5].

Установка Гидроочистки дизельного топлива:

№ п/п	НАИМЕНОВАНИЕ СТАДИИ ПРОЦЕССА, АНАЛИЗИРУЕМЫЙ ПРОДУКТ	МЕСТО ОТБОРА ПРОБЫ, МЕСТО УСТАНОВКИ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ, КОДЕР ПОЗИЦИЯ НА СХЕМЕ	КОНТРОЛИРУЕМЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ	НОРМАТИВНЫЕ ДОКУМЕНТЫ НА МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ (ИСПЫТАНИЙ, КОНТРОЛИ АНАЛИЗОВ)	НОРМА	ЧАСТОТА КОНТРОЛЯ	КТО КОНТРОЛИРУЕТ
1	2	3	4	5	6	7	8
29	Дистиллят дизельный	После X-23 (после клапана)	1. Фракционный состав: - 10% об. перегревается при температуре	ГОСТ 2177-99	Не норм	3 раза в сутки	УКС-ЦЭЛ
	Гидроочищенный дизельный топливный при производстве дизельного ЕВРО активного сорта А, (В,С,Д) и мексиканского сорта Е (F) экологического класса К-3, К-4, К-5 ГОСТ 32511-2013	регулятора уровня К-1, у (Е-4), X-24 (после клапана-регулятора уровня К-2, у (Е-5))	-50 %об. перегревается при температуре, °С -90 % об. перегревается при температуре, °С -95% (по объему) перегревается при температуре, °С При температуре 250 °С перегревается, % об При температуре 350 °С перегревается, % об		Не норм Не норм Не выше 360 65 85		
			2. Массовая доля серы, мг/кг, для топлива К3	ГОСТ 32139-2019	Не более 350	3 раза в сутки	УКС-ЦЭЛ
			К4	ГОСТ ИСО 20884-2016 или ГОСТ Р 52660-2006 (ИЗД ИСО 20884)	Не более 50		
			К5	ГОСТ ИСО 21600-2013	Не более 10.9		
			3. Коррозия медной пластинки (3ч при 50°С), оцененная по шкале	ГОСТ 6156-75	Класс 1	3 раза в сутки	УКС-ЦЭЛ
			4. Температура вспышки в закрытом тигле, °С		Не ниже 55	3 раза в сутки	УКС-ЦЭЛ

Рис. 1. Аналитический контроль технологического процесса гидроочистки дизельного топлива

№ п/п	ВОЗМОЖНЫЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ИНЦИДЕНТЫ, АВАРИЙНЫЕ СИТУАЦИИ	ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ, ПРЕВЫШЕНИЕ (СНИЖЕНИЕ) КОТОРЫХ МОЖЕТ ПРИВЕСТИ К АВАРИИ	ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ НЕПОЛАДОК, АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ	ДЕЙСТВИЯ ПЕРСОНАЛА ПО ПРЕДУПРЕЖДЕНИЮ И УСТРАНЕНИЮ
1	2	3	4	5
1.	Повышение содержания серы в стабилизированном гидрогенерате	Не выше 420 °С менее 12000 км³/час на каждый поток менее 65%об.	1 Низкая температура в реакторах 2 Повышение циркуляции ВСТ 3 Повышение концентрации водорода в циркулирующем ВСТ 4 Протек в теплообменниках ГСС и ГПС 5 Повышение сырья для топлива в линии отключки от диз. топлива.	Проверить показания приборов температуры. Повысить температуру в реакторе. Проверить показания расходомера и увеличить циркуляцию ВСТ, снизить производительность установки до нормы. Проверить концентрацию водорода в циркулирующем ВСТ, повысить концентрацию водорода. Проверить содержание серы в гидрогенерате на выходе из Р-1а,2а и из Р-3а,4а. При наличии пропуска блок остановить на ремонт теплообменника. Проверить закрытие ручной арматуры на линиях циркуляции очищенного диз. топлива.

Рис. 2. Возможные инциденты, аварийные ситуации, способы их предупреждения и устранения (технологический процесс гидроочистки дизельного топлива)

Установка каталитического риформинга:

№ п/п	НАИМЕНОВАНИЕ СТАДИИ ПРОЦЕССА, АНАЛИЗИРУЕМЫЙ ПРОДУКТ	МЕСТО ОТБОРА ПРОБЫ, МЕСТО УСТАНОВКИ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ, КОДЕР ПОЗИЦИЯ НА СХЕМЕ	КОНТРОЛИРУЕМЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ	НОРМАТИВНЫЕ ДОКУМЕНТЫ НА МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ (ИСПЫТАНИЙ, КОНТРОЛИ АНАЛИЗОВ)	НОРМА	ЧАСТОТА КОНТРОЛЯ	КТО КОНТРОЛИРУЕТ
1	2	3	4	5	6	7	8
5	Бензин платформ	ХК-5	1.Плотность, кг/м³ 2. Фракционный состав: начало кипения, °С 3. Остаточное число по НК 4. Остаточное число по ИМ 5. Насыщенность на водный пар 6. Содержание ароматических углеводородов, % об. - парафинов - олефинов - ароматических - в т.ч. бензола	ГОСТ 1900 ГОСТ 4177 ГОСТ 111 ГОСТ 8226 ГОСТ 8121 ГОСТ 32527	Не норм Не выше 90,0-96,0 нормаль Не норм	1 раз в сутки 3 раза в сутки 3 раза в сутки 3 раза в сутки 3 раза в сутки 1 раз в неделю	ИД-УКС ИД-УКС ИД-УКС ИД-УКС ИД-УКС ИД-УКС

Рис. 3. Аналитический контроль технологического процесса каталитического риформинга

№ п/п	ВОЗМОЖНЫЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ИНЦИДЕНТЫ, АВАРИЙНЫЕ СИТУАЦИИ	ПРЕДЕЛЬНО-ДОПУСТИМЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ, ПРЕВЫШЕНИЕ КОТОРЫХ МОЖЕТ ПРИВЕСТИ К АВАРИИ	ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ НЕПОЛАДOK, АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ	ДЕЙСТВИЯ ПЕРСОНАЛА ПО ПРЕДУПРЕЖДЕНИЮ И УСТРАНЕНИЮ
1	2	3	4	5
1	Понижение октанового числа бензина	По заданию Соотношение ВСТ: сырье не менее 1000:1	1. Низкая температура в реакторах 2. Пониженная циркуляция ВСТ 3. Пропуск в теплообменниках, попадание ГСС в ГПС (пропуск сильфоновых уплотнений плавающей головки, грубок)	Проверить показания приборов температуры, повысить температуру в реакторах. Проверить показания расходомера и увеличить циркуляцию ВСТ или снизить загрузку сырья. Остановить установку для ремонта теплообменников.

Рис. 4. Возможные инциденты, аварийные ситуации, способы их предупреждения и устранения (технологический процесс каталитического риформинга)

Установка гидроочистки бензина

№ п/п	НАИМЕНОВАНИЕ СТАДИИ ПРОЦЕССА АНАЛИЗИРУЕМЫЙ ПРОДУКТ	МЕСТО ОТБОРА ПРОБА: ПРЕДМЕТЫ УСТАНОВКИ, СРЕДСТВА, НЕПОДАВЛЕННЫЕ ПОДЕРЖИВАЮЩИЕ НА СМЗ	КОНТРОЛИРУЕМЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ	НОРМАТИВНЫЕ ДОКУМЕНТЫ НА КТО КОНТРОЛИРУЕТ	НОРМА	ЧАСТОТА КОНТРОЛЯ	КТО КОНТРОЛИРУЕТ
				ГОСТ Р 51069-97			
13.	Фракция бензиновая гидроочистки - бензиновая фракция ЦН-42 С***	Выход в носок ЦН-26	1. Фракционный состав -начало кипения, °С -концы кипения, °С 2. Содержание микропримесей серы, ррм 3. Содержание микропримесей, ррм 4. Плотность при 15°С, кг/м³ 5. Плотность при 20°С, кг/м³ 6. Углеводородный состав: -содержание парафинов C ₁ -C ₄ , % масс. -содержание парафинов C ₅ , % масс. -содержание ароматических углеводородов, % масс. -содержание н-пентана, % масс.	ГОСТ 2177-99 с изменениями и поправок ГОСТ 13380-81 с Изм. №1,2 EN ISO 12937-2000 ГОСТ Р 51069-97 ГОСТ 3900-2022 с поправками ГОСТ Р 52714-2018 или ГОСТ 24676-2017 с поправками	не менее 25 не более 74 не более 1,0 не более 0,0 не нормируется не менее 640 не более 4,0 не более 1,0 не более 3,0 50-60	3 раза в сутки 3 раза в сутки 3 раза в сутки 3 раз в сутки 1 раз в сутки 1 раз в сутки	УЗК-ЦАП УЗК-ЦАП УЗК-ЦАП УЗК-ЦАП УЗК-ЦАП

Рис. 5. Аналитический контроль технологического процесса гидроочистки бензина

№ п/п	ВОЗМОЖНЫЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ИНЦИДЕНТЫ, АВАРИЙНЫЕ СИТУАЦИИ	ПРЕДЕЛЬНО-ДОПУСТИМЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ, ПРЕВЫШЕНИЕ КОТОРЫХ МОЖЕТ ПРИВЕСТИ К АВАРИИ	ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ НЕПОЛАДOK, АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ	ДЕЙСТВИЯ ПЕРСОНАЛА ПО ПРЕДУПРЕЖДЕНИЮ И УСТРАНЕНИЮ
1.	Понижение содержания серы в бензиновой фракции	Не более 1 мкг	1. Низкая температура в реакторе 2. Пониженная циркуляция ВСТ менее 7500 м³/ч 3. Понижение концентрации водорода в циркуляционном ВСТ менее 10 %об. 4. Попадание в теплообменники ГСС в ГПС 5. Открытие задвижки на линии циркуляции	Проверить показания приборов температуры. Повысить температуру в реакторе. Проверить показания расходомера и увеличить циркуляцию ВСТ, снизить пропускную способность установки на сырье. Увеличить время очистки водорода в сорбционной колонне ВСТ. Проверить содержание серы в гидроочищаемом на выходе из Р-2 (сырой бенз) и из Р-5 (сырой бенз). При выходе продукта более 3 мкг/т остановить установку. Проверить герметичность задвижки по линии циркуляции на выходе насосов ЦН-1,4 и Г-10 и из Х-24 и В-2 (сырой бенз), на выходе насосов ЦН-1,2 и Г-7 и из В-6 и В-3 (сырой бенз).

Рис. 6. Возможные инциденты, аварийные ситуации, способы их предупреждения и устранения (технологический процесс гидроочистки бензина)

Физически процесс анализа качества выпускаемого продукта выглядит следующим образом: 2 человека из числа технологического персонала, обслуживающего установку один раз в рабочую смену производят отбор анализа получаемого продукта и направляют ёмкость с отобраным продуктом в заводскую лабораторию. В лаборатории продукт подвергается анализу, результаты которого направляются по электронной корпоративной почте начальнику производственной установки. В зависимости от результатов анализа принимается решение: продолжать выпуск товарного продукта с заданными параметрами, скорректировать параметры процесса и продолжать выпуск товарного продукта, либо направить выпускаемую продукцию на повторную переработку, если продукт перестал удовлетворять заданным параметрам по качеству (в частности, превышено содержание серы). Последний вариант является самым негативным сценарием, он реализуется только если требуемым параметрам по качеству перестал соответствовать целый резервуар

Интеллектуальные системы управления производственным процессом в нефтехимической отрасли

(продукт перед отгрузкой потребителям накапливается в резервуаре и до каких-то пределов возможно разбавление кондиционного продукта некондиционным, качество контролируется анализами), поэтому между руководителями технологической установки и товарного парка поддерживается постоянная связь, как видно из мнемосхемы процесса (рисунок № 7).

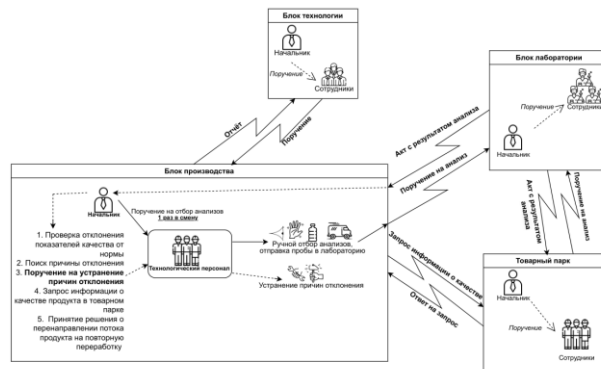


Рис. 7. Мнемосхема процесса производства товарного продукта с ручным отбором анализов и без интеллектуальной системы автоматизированного управления

При этом следует иметь ввиду, что производственный процесс протекает непрерывно, следовательно возможна ситуация, при которой результат проведённого в лаборатории анализа показал, что произошло отклонение от нормы какого-либо контролируемого показателя качества и продукт уже не отвечает необходимым требованиям, а он в это время транспортируется в резервуар товарного парка. Учитывая то, что анализ качества продукта проводится лишь 3 раза за сутки, возможна ситуация, при которой установка будет 8 часов выпускать некондиционный продукт (при самом неблагоприятном раскладе), что может привести к браку накопленной в резервуаре продукции. В таком случае продукт установки необходимо будет отправить на циркуляцию (до тех пор пока показатели качества после корректировки режима не придут в норму), а отбракованный резервуар отправить на повторную переработку. Естественно данный сценарий неминуемо приведёт к убыткам предприятия в виде недополученной прибыли. Для более эффективного проведения технологического процесса целесообразно оснащение линий откачки готовой продукции поточными анализаторами. Такие анализаторы на сегодняшний день представлены на рынке в большом количестве. Например, для анализа содержания общей серы в нефтепродукте может быть применён метод пиролитофлуоресценции, реализованный в автоматических поточных анализаторах фирмы ANTEK. Особенностью данных анализирующих устройств является возможность проведения анализов продукта в режиме реального времени. При этом время анализа составляет от 1 до 5 минут [6]. То есть при ухудшении качественных характеристик готового продукта (в

частности, при превышении значения содержания серы выше допустимого) анализатор сразу даст об этом знать, что позволит значительно минимизировать количество выпущенной некондиционной продукции и более своевременно принять решение о корректировках протекания технологического процесса.

Анализ возможных инцидентов, аварийных ситуаций, способов их предупреждения и устранения (рисунки № 2,4,6) показывает, что в среднем существует от трёх до пяти причин превышения содержания в продукте контролируемого показателя. Для удобства и упрощения понимания алгоритма поиска причины отклонения и действий по её устранению представим таблицу такого поиска в следующем обобщенном виде (Таблица 1):

Таблица 1 - Алгоритм поиска причины отклонения и действий по её устранению

№ п/п	Возможные инциденты, аварийные ситуации	Предельно-допустимые значения параметров, превышение (снижение) которых может привести к аварии / выпуску некондиционного продукта	Причины возникновения отклонений	Действия по устранению
1	Превышение содержания контролируемого показателя в продукте	Не более регламентного значения	Причина 1 Причина 2 Причина 3 Причина 4	Действие 1 Действие 2 Действие 3 Действие 4

Несмотря на разные технологические процессы, общий принцип действия персонала в случае обнаружения отклонения контролируемых показателей товарного продукта от предельно-допустимых значений схож, и в общем виде дерево решений для технологического персонала может быть представлено в виде дерева на рисунке № 8.

При этом операции, связанные с поиском причины отклонения контролируемого показателя и устранением найденной причины вполне могут быть автоматизированы за счёт разработки интеллектуальных систем автоматизированного управления. Такая система будет способна производить анализ поступающей информации, и на основе такого анализа либо осуществлять полноценные управляющие воздействия, направленные на устранение причин, вызвавших отклонение (регулирование температуры, расхода и т.д.), либо выдавать технологическому персоналу сообщения о необходимых действиях (см. мнемосхему процесса после реинжиниринга на рисунке № 9).

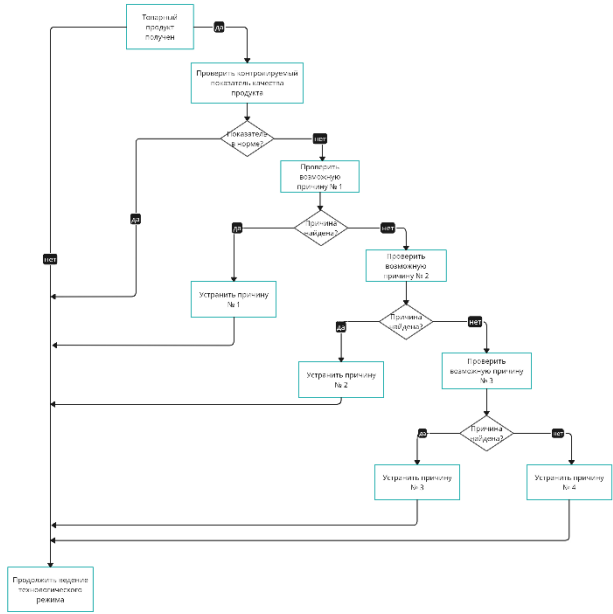


Рис. 8. Дерево решений для технологического персонала при проверке контролируемого показателя качества продукта

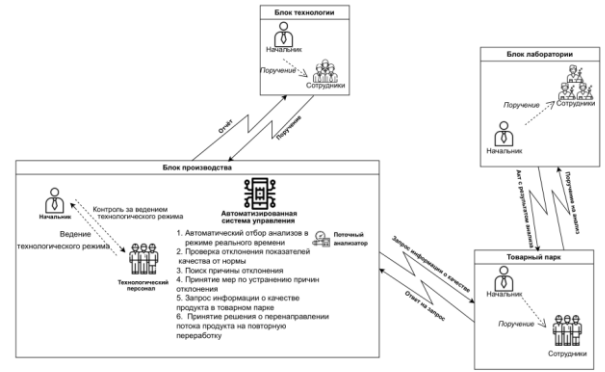


Рис. 9. Мнемосхема бизнес-процесса производства товарного продукта после интеграции интеллектуальной системы автоматизированного управления

Преимуществом внедрения подобной системы управления является полное исключение влияния человеческого фактора либо его значительная минимизация.

Ниже на рисунках 10,11 представлены BPMN-модели бизнес-процессов производства товарного продукта в существующем виде (с ручным отбором анализов 3 раза в сутки и без интеллектуальной системы автоматизированного управления) и после интеграции интеллектуальной системы автоматизированного управления.

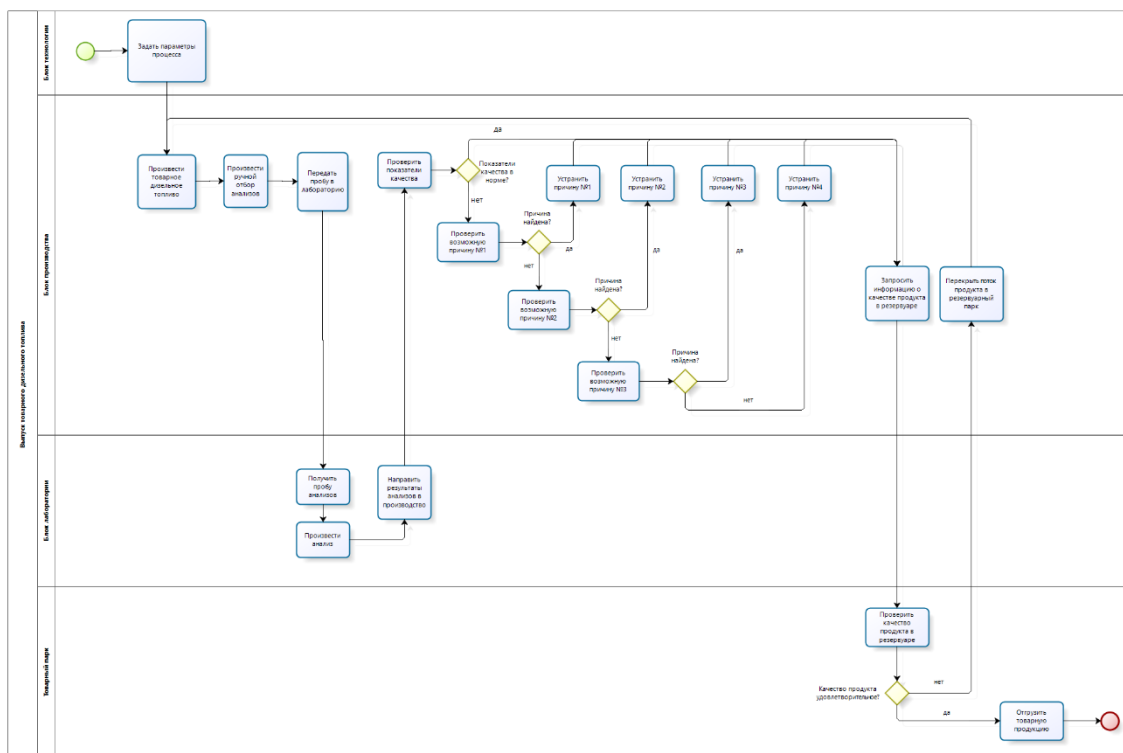


Рис. 10. BPMN-модель бизнес-процесса производства товарного продукта с ручным отбором анализов и без интеллектуальной системы автоматизированного управления

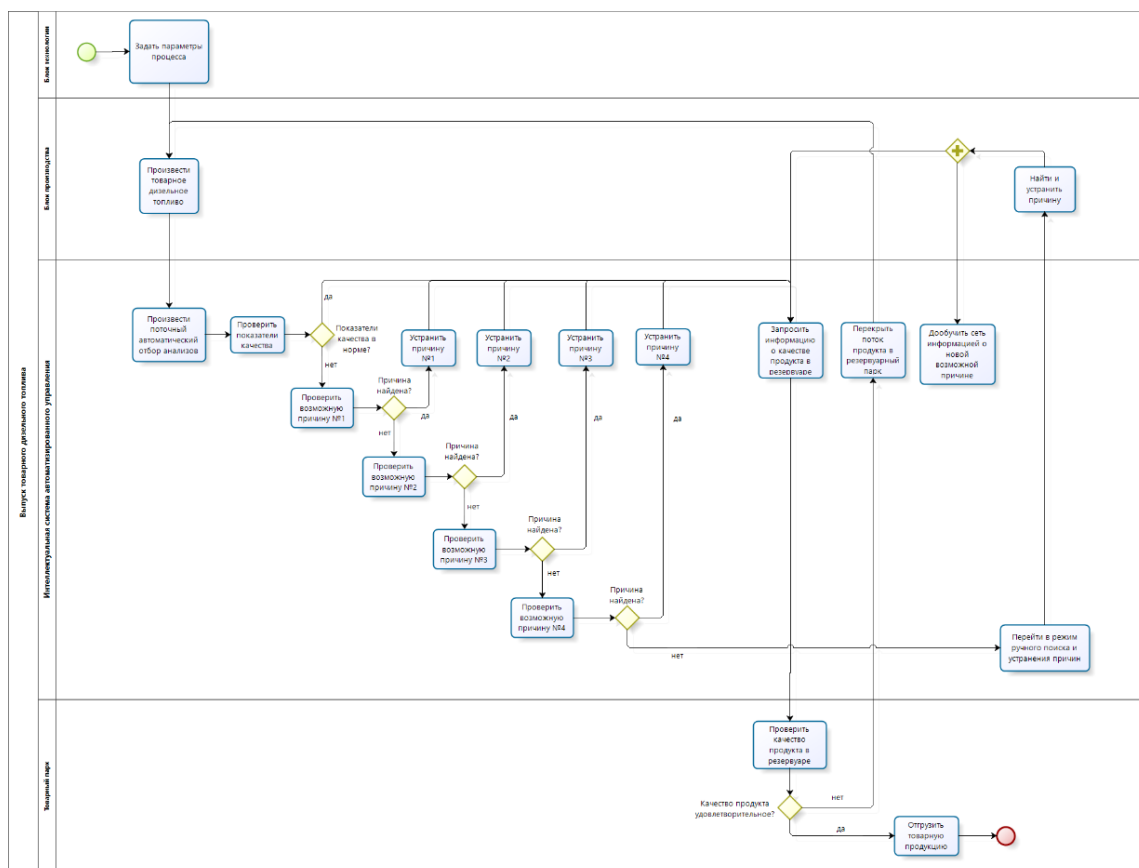


Рис. 11. BPMN-модель бизнес-процесса производства товарного продукта после интеграции интеллектуальной системы автоматизированного управления

Видно, что установка поточных анализаторов позволяет значительно снизить, а в некоторых случаях и совсем исключить нагрузку на блок лаборатории. А функции блока производства после интеграции системы автоматизированного управления сводятся непосредственно к производству продукта, исключаются лишние операции, устранение причин отклонения контролируемых показателей в ручном режиме происходит лишь в критических ситуациях, когда интеллектуальная система автоматизированного управления встречает новую причину, которая не встречалась ранее. При этом предполагается, что в основе данной системы будет лежать нейросеть, предварительно обученная на определённом наборе параметров, содержащем возможные причины отклонений и возможные действия по их устранению. Однозначным плюсом такой системы, в которой управляющие воздействия осуществляются на основе решений нейросети является то, что она является самообучаемой. То есть новые причины отклонений и действия, предпринятые персоналом в ручном режиме для их устранения, записываются в датасет и учитываются нейросетью в последующем. Помимо этого, нейросеть позволит осуществлять тонкие управляющие воздействия на регулируемые показатели, коррелирующие с величиной отклонения контролируемых показателей. Например, изменение температуры (давления, расхода и т.д.) на величину, соответствующую в процентном отношении превышению контролируемого показателя продукта выше допустимого.

3. Заключение

В статье рассмотрены способы повышения эффективности управления технологическими процессами нефтеперерабатывающих заводов. Основные результаты:

- Проблема недостаточного контроля качества продукции выявлена в связи с редкими лабораторными анализами (три раза в сутки).
- Предложено оснащение установок поточными анализаторами для анализа в реальном времени и сокращения объема некондиционной продукции.
- Интеллектуальная система на основе нейросети может автоматически выявлять причины отклонений и корректировать процессы.

- Система самообучается, запоминая действия персонала в случае новых отклонений.
- Нейросеть обеспечивает точное управление процессом, снижая влияние человеческого фактора и улучшая производственные показатели.

Список используемых источников

1. Мухаметдинова С.Г., Коршунов А.И., Вахрушева Н.О. Направления совершенствования АСУ ТП в нефтегазодобывающей отрасли // Интеллектуальные системы в производстве. 2021. Том 19. № 3. С. 25-34.
2. Лежнин Д.В. Опыт создания моделей технологических процессов для предприятий нефтехимической промышленности // Информатизация и системы управления в промышленности; URL: <https://isup.ru/articles/50/7504/> (дата обращения: 30.09.2024).
3. Макаров Д.С. Интеллектуальные системы управления в нефтеперерабатывающей промышленности. // Материалы XIV Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум»; URL: <https://scienceforum.ru/2022/article/2018028983> (дата обращения: 30.09.2024).
4. Что уже умеет искусственный интеллект в нефтехимии: опыт Сибура // Деловой портал «Управление производством»; URL: https://up-pro.ru/library/information_systems/automation_management/iskusstvennyj-intellekt-v-neftehimii/ (дата обращения: 30.09.2024).
5. Гидроочистка нефтепродуктов // Информационно-аналитический портал Neftegaz.RU; URL: <https://neftegaz.ru/tech-library/tekhnologii/141709-gidroochistka-nefteproduktov/> (дата обращения: 30.09.2024).
6. Спецификация поточного анализатора для определения содержания общей серы и/или общего азота Antek 6200; URL: <https://www.neolabllc.ru/printpdf/node/99/> (дата обращения: 30.09.2024).