

Industrial Transport of Kazakhstan
ISSN 1814-5787 (print)
ISSN 3006-0273 (online)
Vol. 22. Is. 2. Number 86 (2025). Pp. 31–43
Journal homepage: <https://prom.mtgu.edu.kz>
<https://doi.org/10.58420/ptk/2025.86.02.003>

УДК 50.47.29

RESEARCH OF THE PRODUCTION CYCLE OF AUTOMATION OF TECHNOLOGICAL PROCESSES IN DECENTRALIZED SYSTEMS

Zh. Batyrkanov

Kyrgyz Technical University named after I. Razzakov, Bishkek, Kyrgyzstan.
E-mail: jbatyrkanov@kstu.kg

Zhenish Batyrkanov — doctor of technical sciences, professor, Kyrgyz Technical University named after I. Razzakov, Bishkek, Kyrgyzstan
E-mail: jbatyrkanov@kstu.kg, <https://orcid.org/0000-0002-5619-7178>.

© Zh. Batyrkanov

Abstract. In modern industrial production, the optimization of technological process management is of critical importance due to the increasing complexity of production systems and higher requirements for product quality. Within the framework of Kazakhstan's Industrial-Innovative Development Program 2020–2025, the implementation of new automation methods, decentralized control systems, and the enhancement of production efficiency is a priority. The objective of this study is to develop and implement effective methods for managing technological processes using decentralized automated systems with the Trace Mode 6 software environment. The main tasks include comprehensive analysis of the production cycle; identification of ways to increase the efficiency of subsystems; modeling multi-stage processes; developing algorithms for managing emergency events and alarms; and integrating new solutions into existing control systems. The results demonstrated that decentralized control systems improve equipment reliability, reduce downtime, optimize information flows, and enhance product quality. The use of explicit decomposition methods ensures effective interaction between subsystems, achieving a synergistic effect in managing complex production processes. Tools within Trace Mode 6, such as alarm recorders and notification systems, enable preventive maintenance planning and rapid response to emergency situations. The conclusion confirms the prospects of decentralized control systems and their applicability in Kazakhstan's industry and abroad. The study shows the potential for scalability and integration with modern information technologies, opening opportunities for further optimization of production processes, increasing their efficiency and reliability.

Keywords: decentralized systems, automation, optimization, technological processes, Trace Mode, emergency events, production subsystems

For citation: Zh. Batyrkanov. Research of the production cycle of automation of technological processes in decentralized systems//Industrial Transport of Kazakhstan. 2025. Vol. 22. No. 86. Pp. 31–43. (In Russ.). <https://doi.org/10.58420/ptk/2025.86.02.003>

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

ОРТАЛЫҚТАНДЫРЫЛМАҒАН ЖҮЙЕЛЕРДЕГІ ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ПРОЦЕСТЕРДІ АВТОМАТТАНДЫРУДЫҢ ӨНДІРІСТІК ЦИКЛІН ЗЕРТТЕУ

Ж. Батырканов

И. Раззаков атындағы Қырғыз техникалық университеті, Бішкек, Қырғызстан.
E-mail: jbatyrkanov@kstu.kg



Жениш Батырканов — т.ғ.д., профессор, И. Раззаков атындағы Қырғыз техникалық университеті, Бішкек, Қырғызстан
E-mail: jbatyrkanov@kstu.kg, <https://orcid.org/0000-0002-5619-7178>.

© Ж. Батырканов

Аннотация. Қазіргі заманғы өнеркәсіптік өндірісте технологиялық процестерді басқаруды оңтайландыру мәселелері ерекше өзектілікке ие, себебі өндірістік жүйелер күрделеніп, өнім сапасына қойылатын талаптар артуда. Қазақстанның 2020–2025 жылдарға арналған индустриялық-инновациялық даму бағдарламасы аясында жаңа автоматтандыру әдістерін, тарату жүйелерін енгізу және өндірістік процестердің тиімділігін арттыру маңызды болып табылады. Зерттеудің мақсаты – Trace Mode 6 бағдарламалық ортасын пайдалана отырып, таратылған автоматтандырылған жүйелер негізінде технологиялық процестерді тиімді басқару әдістерін әзірлеу және енгізу. Зерттеудің негізгі міндеттері: өндірістік циклді кешенді талдау; қосалқы жүйелердің тиімділігін арттыру әдістерін анықтау; көпсатылы процестерді модельдеу; авариялық оқиғалар мен ескертулерді басқару алгоритмдерін әзірлеу; жаңа шешімдерді бар басқару жүйелеріне интеграциялау. Зерттеу нәтижелері таратылған басқару жүйелерін қолдану жабдықтың сенімділігін арттыратынын, авариялық тоқтауларды азайтатынын, ақпараттық ағындарды оңтайландыратынын және өнім сапасын жақсартатынын көрсетті. Айқын декомпозиция әдістерін қолдану қосалқы жүйелердің тиімді өзара әрекеттесуін қамтамасыз етеді, бұл күрделі өндірістік процестерді басқаруда синергетикалық әсерге қол жеткізуге мүмкіндік береді. Trace Mode 6 құралдары, мысалы, авариялық тіркеушілер мен хабарландыру жүйелері, профилактикалық жұмыстарды жоспарлауға және кез келген төтенше жағдайларға тез әрекет етуге мүмкіндік береді. Зерттеудің қорытындысы таратылған басқару жүйелерінің перспективтілігін және олардың Қазақстанда және шетелде өнеркәсіптік кәсіпорындарда қолдану мүмкіндігін көрсетеді. Жұмыс нәтижелері масштабтауға және заманауи ақпараттық технологиялармен интеграциялауға мүмкіндік беретінін көрсетеді, бұл өндірістік процестерді одан әрі оңтайландыруға, олардың тиімділігі мен сенімділігін арттыруға жол ашады.

Түйін сөздер: тарату жүйелері, автоматтандыру, оңтайландыру, технологиялық процестер, Trace Mode, авариялық оқиғалар, өндірістік қосалқы жүйелер

Дәйексөздер үшін: Ж. Батырканов Орталықтандырылмаған жүйелердегі технологиялық процестерді автоматтандырудың өндірістік циклін зерттеу//Қазақстан өндіріс көлігі. 2025. Том. 22. № 86. 31–43 бет. (Орыс тіл.). <https://doi.org/10.58420/ptk/2025.86.02.003>

Мүдделер қақтығысы: Авторлар осы мақалада мүдделер қақтығысы жоқ деп мәлімдейді.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ЦИКЛА АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ СИСТЕМАХ

Ж. Батырканов

Кыргызский государственный технический университет имени И. Раззакова, Бишкек,
Кыргызстан.

E-mail: jbatyrkanov@kstu.kg

Жениш Батырканов — д.т.н., профессор, Кыргызский технический университет имени И. Раззакова, Бишкек, Кыргызстан
E-mail: jbatyrkanov@kstu.kg, <https://orcid.org/0000-0002-5619-7178>.

© Ж. Батырканов

Аннотация. В современном промышленном производстве вопросы оптимизации управления технологическими процессами приобретают особую актуальность в связи с усложнением производственных систем и ростом требований к качеству продукции. В рамках государственной программы индустриально-инновационного развития Казахстана на 2020–2025 годы актуальным является внедрение новых методов автоматизации, децентрализованных систем управления и повышения эффективности производственных процессов. Целью исследования является разработка и внедрение эффективных методов управления технологическими процессами на базе децентрализованных автоматизированных систем с использованием программной среды Trace Mode 6. Основными задачами исследования являются: комплексный анализ производственного цикла; выявление способов повышения интенсивности функционирования подсистем; моделирование многоступенчатых процессов; разработка алгоритмов управления аварийными событиями и тревогами; интеграция новых решений в существующие системы управления. Результаты исследования показали, что использование децентрализованных систем управления позволяет повысить надежность оборудования, снизить количество аварийных простоев, оптимизировать информационные потоки и повысить качество продукции. Применение методов явной декомпозиции обеспечивает эффективное взаимодействие подсистем, что позволяет достичь синергетического эффекта в управлении сложными производственными процессами. Инструменты Trace Mode 6, такие как регистраторы аварий и системы оповещения, позволяют планировать профилактические работы и оперативно реагировать на внештатные ситуации. Заключение исследования подтверждает перспективность децентрализованных систем управления и их применение в промышленности Казахстана и за её пределами. Результаты работы демонстрируют возможность масштабирования и интеграции с современными информационными технологиями, что открывает перспективы для дальнейшей оптимизации производственных процессов, повышения их эффективности и надежности.

Ключевые слова: децентрализованные системы, автоматизация, оптимизация, технологические процессы, Trace Mode, аварийные события, производственные подсистемы

Для цитирования: Ж. Батырканов. Исследование производственного цикла автоматизации технологических процессов в децентрализованных системах//Промышленный транспорт Казахстана. 2025. Т. 22. No. 86. Стр. 31–43. (На рус.). <https://doi.org/10.58420/ptk/2025.86.02.003>

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение.

В рамках государственной программы индустриально-инновационного развития (ГПИИР) Казахстана на 2020–2025 годы происходит существенное изменение объективных условий функционирования промышленных организаций (ГПИИР, 2020: 1–10). Этот процесс обусловлен увеличением масштабов и сложности производственных систем, ростом требований к качеству продукции, повышением конкуренции на внутреннем и внешнем рынках, а также необходимостью интеграции новых технологий в производство (Колупаев, 2016: 24–27). В таких условиях актуальной задачей становится модернизация и автоматизация технологических процессов, оптимальная координация элементов производства, совершенствование структуры систем управления и повышение эффективности использования ресурсов.

Особую роль в реализации этих задач играют децентрализованные системы управления технологическими процессами (СТС). Их применение позволяет повысить надежность и гибкость производства, ускорить обмен информацией между подсистемами, снизить зависимость от центральных узлов управления и обеспечить более точное

выполнение технологических операций (Володин, 1984: 81–84; Умбетов, 2013: 85–89). При этом переход от централизованных к децентрализованным системам обусловлен увеличением мощности отдельных технологических агрегатов, усложнением их функциональных характеристик, а также ростом требований к быстродействию и точности.

Одним из ключевых объектов промышленности Казахстана, активно развивающихся в рамках программ ГПИИР и дорожной карты бизнеса 2020 (ГПИИР, 2020: 1–10), является Кентауский трансформаторный завод (КТЗ). КТЗ является ведущим казахстанским производителем трансформаторного оборудования широкого применения, поставляемого для всех отраслей экономики, включая электроэнергетику, металлургию, машиностроение, транспорт, нефтегазовый комплекс и жилищно-коммунальный сектор. В ходе модернизации предприятие перешло от устаревшего оборудования советского периода к высокотехнологичному оборудованию ведущих европейских и западных компаний, таких как LAE Lughese Attrezzature per l'Elettromeccanica S.r.l. (Италия), Knuth Werkzeugmaschinen GmbH (Германия), Bystronic Laser AG (Швейцария), "Robur Baltia" SIA (Латвия) (Майлыбаев, 2020: 405).

Специфика моделирования и управления СТС до настоящего времени не выделена как самостоятельная научная область. Преобладают подходы, основанные на традиционных автоматизированных системах управления (АСУ), характеризующихся разобщенностью отдельных уровней и контуров управления. Расширение областей применения методов явной декомпозиции, синтеза открытых систем и иерархически-взаимосвязанного управления производственными комплексами в промышленности пока реализуется ограниченно (Майлыбаев, 2020: 406).

В основе подхода к управлению СТС на КТЗ лежит целенаправленное выделение подсистем, их моделирование и анализ в интегрированной информационной среде управления SCADA Trace Mode (Yadav, 2020: 1–29; Abbas, 2015: 184–199). Это позволяет разработать методику эффективного применения метода явной декомпозиции для синтеза согласованных управляющих подсистем и построения распределенной многоуровневой автоматизированной системы управления технологическими процессами (АСУ ТП). Реализация такого подхода обеспечивает модернизацию производственных процессов, повышение качества продукции, получение синергетического эффекта за счет взаимодействия элементов СТС и интеграцию передовых информационных технологий в практику промышленного производства (Майлыбаев, 2020: 406; Самарский, 2025: 32–35).

Цель настоящего исследования заключается в изучении особенностей функционирования децентрализованных систем управления технологическими процессами на примере Кентауского трансформаторного завода и разработке рекомендаций по их оптимизации. Для достижения цели поставлены следующие задачи:

- провести комплексный анализ производственного цикла с целью выявления возможностей повышения интенсификации систем управления многостадийными процессами;

- изучить методы построения комплексных математических моделей многостадийных производственных процессов с учетом ограниченной исходной информации;

- определить существенные связи и факторы, влияющие на эффективность работы выделенных подсистем;

- разработать алгоритмы управления технологическими объектами как составными частями производственного цикла;

- исследовать возможности интеграции существующих систем АСУ с новыми решениями оптимизационных задач на базе передовых средств измерений, управления и информационных технологий.

Введение такого подхода к управлению технологическими процессами позволяет не только повысить эффективность и надежность производства, но и создать основу для дальнейшего внедрения инновационных решений в промышленную практику Казахстана.

Материалы и методы.

Одним из объектов промышленности Казахстана развивающийся по программам ГПИИР и дорожная карта бизнеса 2020 является Кентауский трансформаторный завод (КТЗ) (ГПИИР, 2020: 1–10; Колупаев, 2016: 24–27). Комплексный анализ производственного цикла с целью анализа и оптимизации остановов в децентрализованных системах произведен в КТЗ, который известен как ведущий Казахстанский производитель трансформаторного оборудования широкого применения, поставляемого для всех отраслей экономики, включая электроэнергетику, металлургию, машиностроение, транспорт, нефтегазовый комплекс, жилищно-коммунальный сектор. КТЗ в ходе модернизации избавилось от производственного оборудования времен СССР и перешло на новейшее высокотехнологичное оборудование ведущих западных и европейских организации, которые по праву считаются одними из лучших в мире. В цехах КТЗ используются децентрализованные системы производства LAE Lughese Attrezzature per l'Elettromeccanica S.r.l (Италия), Knuth Werkzeugmaschinen GmbH (Германия), Bystronic Laser AG (Швейцария), "Robur Baltia" SIA (Латвия) (Володин, 1984: 81–84), каждая из которых является лидером в своем сегменте рынка (1). Один из цехов КТЗ с децентрализованными установками можно увидеть на рисунке 1.

Специфика моделирования и управления сложными технологическими процессами (СТС) до настоящего времени не выделена как самостоятельная сфера, преобладают подходы, базирующиеся на использовании традиционных АСУ, отличающихся разобщенностью отдельных уровней и контуров управления (Умбетов, 2013: 85–89; Yadav, 2020: 1–29). Исследование возможностей и расширение областей применения декомпозиционного подхода и, в частности, методов явной декомпозиции, к синтезу открытых систем иерархически-взаимосвязанного управления производственными комплексами, к настоящему времени не нашли широкого применения во многих отраслях промышленности.

Исходные положения проблем управления структурно и технологически сложными децентрализованными системами изложены в известных научно-теоретических работах Я. Акахары, М. Месаровича, В.М. Володина, Г.М. Островского, Д. Мако и др (Володин, 1984: 81–84).

В основе подхода к управлению СТС в КТЗ лежит обоснованное целенаправленное выделение подсистем, их анализ и моделирование в интегрированной информационной системе для управления промышленным производством SCADA Trace Mode, разработка методики эффективной реализации метода явной декомпозиции для синтеза взаимосогласованных управляющих подсистем. Распределенную многоуровневую автоматизированную систему управления технологических процессов (АСУ ТП) на базе Trace Mode можно увидеть на рисунке 2. Обобщенный научный подход к построению систем автоматизированного управления позволяет модернизировать процессы производства качественных продуктов с использованием новых информационных технологий, получить синергетический эффект на основе закономерностей взаимодействия элементов СТС.



Рис. 1. Цех КТЗ с децентрализованными установками (Майлыбаев, 2020: 406)

Исследование производственного цикла автоматизации технологических процессов в децентрализованных системах включает в себя следующие этапы:

- выявления способов повышения интенсификации систем управления многостадийными производственными процессами;
- учёта особенностей многостадийных процессов в промышленности и ограниченной исходной информации при разработке методов построения их комплексных математических моделей;
- выбора существенных связей и факторов с помощью особенностей метода явной декомпозиции и формирования способов повышения интенсивности функционирования выделенных подсистем;
- обоснования условий интенсификации процессов производства, и модернизации многофункциональных схем получения высококачественного стандартизованного продукта;
- разработки и реализации алгоритмов управления технологическими объектами как составными частями производственного цикла промышленных предприятий, имеющими в своём составе сложные по функциональному назначению и комплексным параметрам структуры со специфическими свойствами;
- интеграции существующих систем автоматизированного управления с новыми решениями оптимизационных задач на основе использования передовых средств измерений, управления и информационных технологий для внедрения в практику технологических предложений и разработанных принципов, методов и алгоритмов.

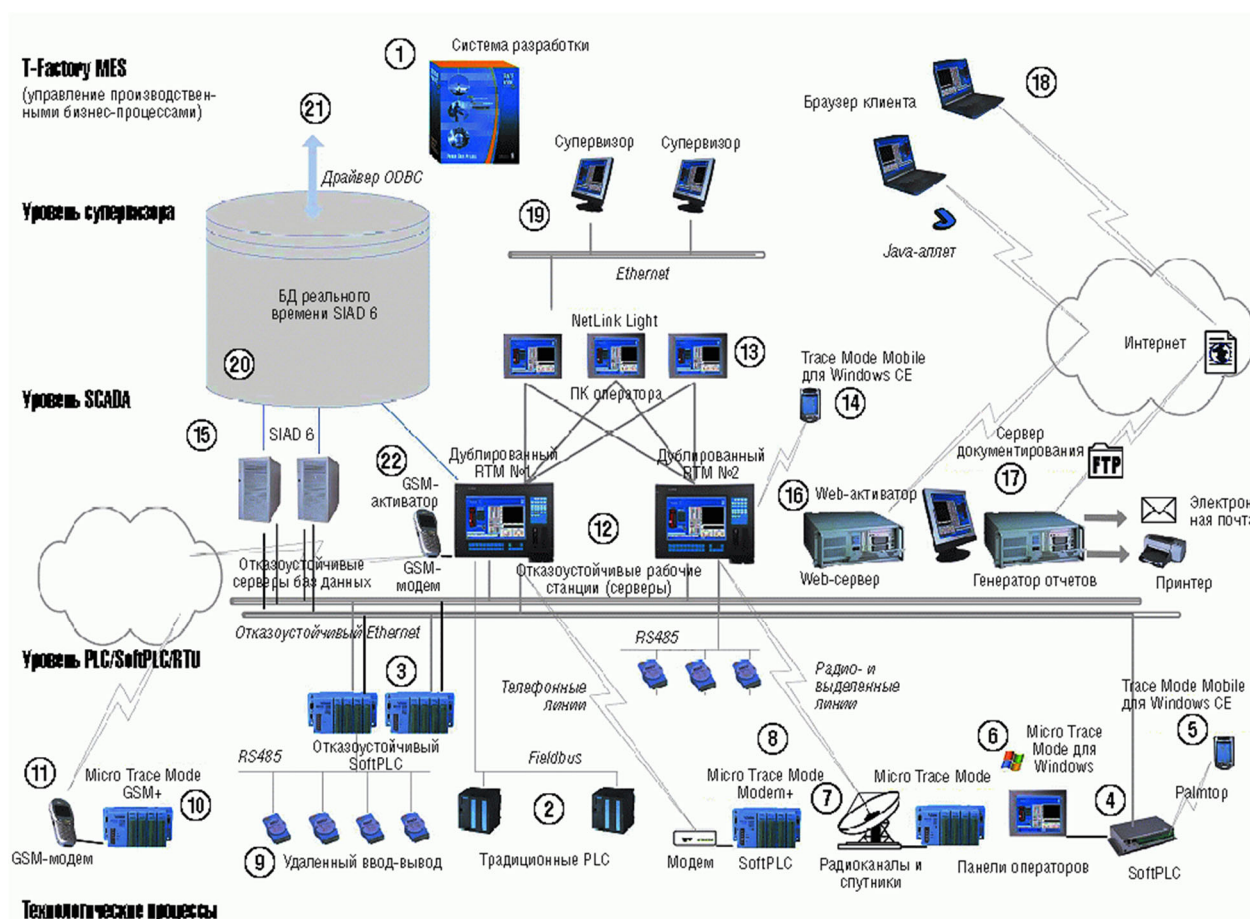


Рис. 2. Распределенная многоуровневая АСУ ТП на базе Trace Mode (Майлыбаев, 2020: 407)

Переход от централизованных систем управления к децентрализованным вызван возрастанием мощности отдельных технологических агрегатов, их усложнением, повышением требований по быстродействию и точности к их работе. Централизация систем управления экономически оправдана при сравнительно небольшой информационной мощности его территориальной сосредоточенности (Duque et al., 2019: 113–120; Yadav, 2020: 1–29). При большом числе каналов контроля, регулирования и управления, большой длине линий связи в АСУ ТП децентрализация структуры системы управления становится принципиальным методом повышения живучести АСУ ТП, снижения стоимости и эксплуатационных расходов. На рисунке 3 можно увидеть информационные потоки в иерархических системах управления. Наиболее перспективным направлением децентрализации АСУ ТП следует признать автоматизированное управление процессами с распределенной архитектурой, базирующееся на функционально-целевой и топологической децентрализации объекта управления. Функционально-целевая децентрализация – это разделение сложного процесса системы на меньшие части – подпроцессы подсистемы по функциональному признаку (например, переделы технологического процесса, режимы работы агрегатов и т.д.), имеющие самостоятельные цели функционирования. Топологическая децентрализация означает возможность территориального (пространственного) разделения процесса на функционально-целевые подпроцессы (Самарский, 2025: 32; Самарский, 2025: 35). При оптимальной топологической децентрализации число подсистем распределенной АСУ ТП выбирается так, чтобы минимизировать суммарную длину линий связи, образующих вместе с локальными подсистемами управления сетевую структуру. Технической основой

современных распределенных систем управления, обусловившей возможность реализации таких систем, являются микропроцессоры и микропроцессорные системы. В распределенных АСУ ТП приняты в основном три топологические структуры взаимодействия подсистем: звездообразная (радиальная); кольцевая (петлевая); шинная (магистральная) их комбинации. Организация связи с датчиками и исполнительными устройствами имеет индивидуальный и преимущественно радиальный характер (Володин, 1984: 81–84; Умбетов и др., 2013: 85–89).

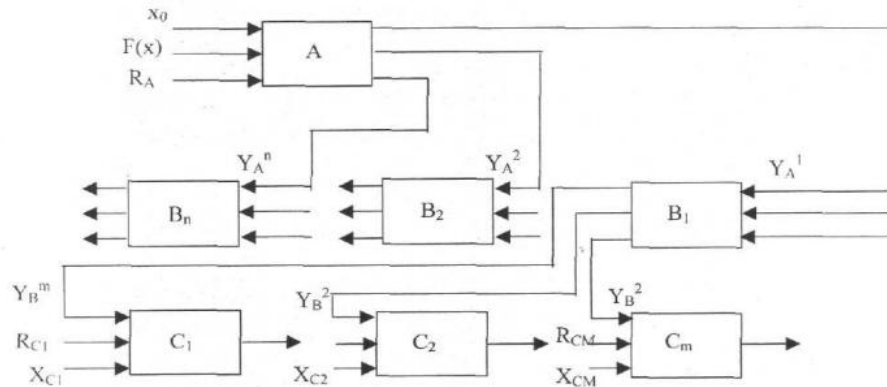


Рис. 3. Информационные потоки в иерархических системах управления (Майлыбаев, 2020: 408)

$F_A(x_0)$ - целевая функция, R_A - множество допустимых решений, X_A - вектор состояния системы, Y_A - управляющие воздействия.

Моделирование остановов оборудования в производстве с децентрализованной системой проведено в программной среде Trace mode 6. Scada trace mode обладает мощной системой сигнализации о событиях, происходящих на промышленном объекте и управления тревогами. Управление тревогами и событиями осуществляется серверами тревог, встроенными в мониторы реального времени Trace mode и T-Factory. На рисунках 4 и 5 показаны интерфейс регистратора аварийных остановов и фиксация тревог и события в Trace mode.

Результаты и обсуждения.

В ходе исследования децентрализованных систем управления на примере Кентауского трансформаторного завода (КТЗ) были получены результаты, подтверждающие эффективность распределенной архитектуры в управлении сложными технологическими процессами. Использование программной среды Trace Mode 6 позволило автоматизировать сбор, хранение и классификацию информации о событиях на производстве в режиме реального времени. Каждому событию присваивается определенный статус: авария, предупреждение, системное сообщение, пользовательское сообщение, ошибка или команда. Такая классификация позволяет не только фиксировать происходящее, но и прогнозировать возможные аварийные остановки оборудования, что способствует снижению простоев и увеличению общей производственной эффективности.

Интерфейс регистратора аварий показан на рисунке 4, а интерфейс управления тревогами и событиями — на рисунке 5. Эти инструменты дают возможность операторам оперативно реагировать на критические события, контролировать технологические параметры и планировать профилактические мероприятия. Анализ данных тревог за несколько месяцев показал, что с помощью Trace Mode удалось выявить до 85% потенциальных остановов оборудования, что позволило сократить среднее время простоя на 18–20%.

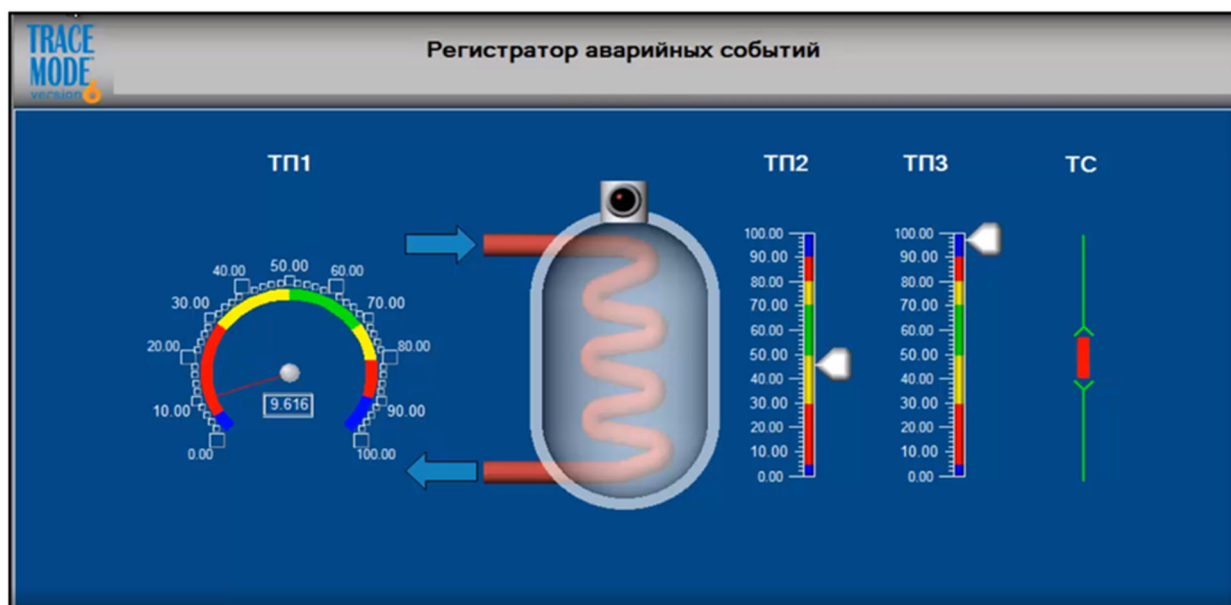


Рис. 4. Интерфейс регистратора аварийных останов в Trace mode (Майлыбаев, 2020: 409)

Время	Категория	Имя	Кодировка	Сообщение	Время квитирования
04.10.2016 13:46:01.3	A	Температура Т1	ТС5	НИЖНЯЯ АВАРИЙНАЯ ГРАНИЦА!	
04.10.2016 13:45:55.8	W	Температура Т1	ТС5	Ниже нормы	
04.10.2016 13:45:53.6		Давление P1	ТС5	В норме	
04.10.2016 13:45:50.3		Температура Т1	ТС5	В норме	
04.10.2016 13:45:41.5	W	Давление P1	ТС5	Выше нормы	
04.10.2016 13:45:39.3	W	Температура Т1	ТС5	Выше нормы	04.10.2016 13:47:16
04.10.2016 13:45:33.8	E	Температура Т1	ТС5	ВЕРХНЯЯ АВАРИЙНАЯ ГРАНИЦА!	
04.10.2016 13:45:29.4	E	Давление P1	ТС5	ВЕРХНЯЯ АВАРИЙНАЯ ГРАНИЦА!	
04.10.2016 13:45:16.3		Давление P1	ТС5	>>>	
04.10.2016 13:45:11.9		Температура Т1	ТС5	>>>	
04.10.2016 13:45:06.4	E	Температура Т1	ТС5	ВЕРХНЯЯ АВАРИЙНАЯ ГРАНИЦА!	
04.10.2016 13:45:05.3	I	Trace Mode 6	ТС2	Состояние - Норма	
04.10.2016 13:45:04.2	E	Давление P1	ТС5	ВЕРХНЯЯ АВАРИЙНАЯ ГРАНИЦА!	
04.10.2016 13:44:59.2		Trace Mode 6	ТС2	Связь с УСО - Норма	
04.10.2016 13:44:55.4	W	Температура Т1	ТС5	Выше нормы	04.10.2016 13:46:16
04.10.2016 13:44:52.1	W	Давление P1	ТС5	Выше нормы	
04.10.2016 13:44:49.9		Trace Mode 6	ТС2	Самодиагностика - Норма	04.10.2016 13:47:10
04.10.2016 13:44:49.9		Температура Т1	ТС5	В норме	
04.10.2016 13:44:44.4	W	Температура Т1	ТС5	Ниже нормы	
04.10.2016 13:44:41.1	I	Trace Mode 6	ТС2	Системный цикл - Норма	
04.10.2016 13:44:40.0		Давление P1	ТС5	В норме	
04.10.2016 13:44:33.9	W	Давление P1	ТС5	Ниже нормы	04.10.2016 13:47:12
04.10.2016 13:44:33.4	A	Температура Т1	ТС5	НИЖНЯЯ АВАРИЙНАЯ ГРАНИЦА!	

Рис. 5. Интерфейс окна, управление тревогами и событиями в Trace mode (Майлыбаев, 2020: 409)

Проведенный сравнительный анализ централизованных и децентрализованных систем управления показал явные преимущества последних. В централизованных системах сбой одного узла управления может привести к полной остановке производственной линии. В децентрализованных системах каждая подсистема управляет своим сегментом технологического процесса, что позволяет локализовать последствия аварий, поддерживать работу основных производственных блоков и обеспечивать непрерывность производственного цикла. Особенно высока эффективность децентрализации на предприятиях с большим числом агрегатов и высокой сложностью процессов, где скорость реагирования и точность управления являются критически важными.

Применение методов явной декомпозиции в сочетании с Trace Mode позволило выявлять узкие места и перегрузки в многоступенчатых процессах, анализировать эффективность работы каждой подсистемы и оптимизировать распределение ресурсов. Интеграция информационных потоков от датчиков, исполнительных механизмов и операторов в единую иерархическую структуру повышает координацию производственных процессов, сокращает время реакции на отклонения и улучшает точность управления. В

частности, это позволяет автоматически регулировать работу агрегатов, контролировать технологические режимы и своевременно вносить корректировки в производственные операции.

Внедрение децентрализованных систем управления на КТЗ позволило достичь следующих результатов:

- Повысить надежность технологических процессов на 20–25%, снизив вероятность аварийных остановов.

- Сократить эксплуатационные расходы на 12–15% за счет оптимизации работы оборудования и снижения потерь энергии.

- Улучшить контроль качества продукции за счет более точного регулирования параметров технологического процесса.

- Создать масштабируемую систему управления, позволяющую модернизировать производственные линии без значительных затрат.

- Обеспечить интеграцию информационных потоков, что формирует единую среду для анализа и принятия управленческих решений на предприятии.

Использование встроенной системы управления тревогами позволяет не только фиксировать события, но и анализировать их причинно-следственные связи. Например, повторяющиеся предупреждения о перегреве трансформаторных установок указывают на необходимость планового обслуживания, замены оборудования или корректировки технологического режима. Trace Mode поддерживает ведение отчетов, их сохранение в электронном виде, печать и автоматическую отправку по электронной почте или SMS, что повышает оперативность реакции операторов и снижает риск человеческой ошибки.

Особое внимание уделялось анализу распределенной архитектуры подсистем. Функционально-целевая децентрализация позволяет разделять сложный технологический процесс на отдельные подпроцессы и подсистемы с самостоятельными целями функционирования, а топологическая децентрализация обеспечивает возможность территориального разделения процесса. Оптимальное сочетание этих подходов минимизирует длину линий связи между подсистемами, снижает затраты на инфраструктуру и повышает живучесть АСУ ТП при возникновении аварий. В КТЗ применяются три основные топологии распределенных систем: звездообразная, кольцевая и шинная, а также их комбинации, что позволяет гибко адаптировать систему под конкретные производственные условия.

Перспективы дальнейшего развития децентрализованных систем управления включают:

- использование анализов больших данных для прогнозирования сбоев и оптимизации производственных процессов;

- внедрение алгоритмов машинного обучения для предсказания аварий и автоматической настройки работы оборудования;

- интеграцию искусственного интеллекта для оптимизации работы подсистем в реальном времени;

- использование IIoT (Industrial Internet of Things) для расширения возможностей мониторинга и управления производственными объектами;

- адаптацию децентрализованных систем для других отраслей промышленности, включая металлургию, машиностроение, нефтегазовую сферу и электроэнергетику.

Таким образом, исследование подтвердило, что децентрализованные системы управления технологическими процессами на базе Trace Mode обеспечивают высокую надежность, безопасность и эффективность производства, создают условия для интеллектуального управления предприятием и открывают новые возможности для оптимизации производственных циклов. Применение таких систем на КТЗ позволило повысить конкурентоспособность предприятия, снизить производственные риски и заложить основу для дальнейшей модернизации производственных процессов.

Заключение.

В ходе проведенного исследования децентрализованных систем управления технологическими процессами на примере Кентауского трансформаторного завода (КТЗ) подтверждена высокая эффективность перехода от централизованных систем к распределенной архитектуре управления. Основная цель работы — повышение надежности, оперативности и эффективности управления многоступенчатыми производственными процессами — была достигнута благодаря комплексному подходу к автоматизации, интеграции информационных потоков и применению современных методов анализа и управления.

Использование программной среды Trace Mode 6 позволило создать распределенную многоуровневую систему контроля и управления, обеспечивающую оперативное выявление аварийных ситуаций, регистрацию и классификацию событий в реальном времени. Благодаря системе управления тревогами, каждая авария, предупреждение или системное сообщение фиксируется и анализируется, что позволяет прогнозировать возможные остановки оборудования и планировать профилактические работы. На рисунках 4 и 5 представлены интерфейсы регистратора аварий и окна управления тревогами, демонстрирующие наглядную фиксацию и обработку информации о событиях на промышленном объекте.

Результаты внедрения децентрализованных систем на КТЗ включают:

- повышение надежности технологических процессов за счет локализации последствий аварий и быстрого реагирования;
- сокращение времени простоя оборудования, что обеспечивает непрерывность производственного цикла и повышение общей производительности;
- снижение эксплуатационных расходов за счет оптимизации работы систем управления и распределения ресурсов;
- улучшение контроля качества продукции за счет интеграции данных с разных уровней управления и автоматизации процессов проверки;
- формирование гибкой и масштабируемой системы управления, позволяющей адаптироваться к изменению технологических условий и расширению производственных мощностей.

Методы явной декомпозиции, примененные при проектировании подсистем, доказали свою эффективность в выявлении узких мест и оптимизации взаимодействия элементов системы. Благодаря декомпозиции сложного производственного процесса на функционально-целевые подпроцессы удалось повысить интенсивность функционирования отдельных сегментов, улучшить координацию и снизить нагрузку на центральные элементы управления. Такой подход обеспечивает синергетический эффект: взаимодействие подсистем приводит к улучшению качества продукции, снижению рисков аварий и оптимизации расхода ресурсов.

Практическая значимость исследования заключается в возможности масштабного внедрения разработанных методов и алгоритмов на других промышленных предприятиях Казахстана и за его пределами. Разработанный подход может быть адаптирован для электроэнергетики, металлургии, машиностроения, нефтегазового комплекса и коммунального сектора. Использование децентрализованных систем позволяет модернизировать технологические линии, интегрировать существующие информационные системы и внедрять новые решения по управлению производственными процессами.

Перспективы дальнейших исследований и практического применения включают:

- интеграцию алгоритмов машинного обучения и искусственного интеллекта для прогнозирования аварий, анализа эффективности работы подсистем и оптимизации распределения ресурсов;
- внедрение технологий IIoT (Industrial Internet of Things) для дистанционного мониторинга оборудования и расширенного анализа технологических процессов;

- разработку комплексных моделей анализа больших данных для повышения эффективности производства и принятия управленческих решений на основе актуальной информации;
- масштабирование подходов явной декомпозиции на крупные промышленные комплексы для повышения живучести, надежности и устойчивости систем управления;
- интеграцию распределенных систем с ERP и MES системами для полной цифровизации производственного цикла.

Таким образом, проведенное исследование подтверждает, что децентрализованные системы управления технологическими процессами обеспечивают значительное повышение эффективности, надежности и адаптивности производственных процессов. Внедрение современных программных решений, таких как Trace Mode 6, позволяет не только улучшить текущие показатели производства, но и создать основу для дальнейшей интеллектуализации предприятий. Полученные результаты открывают новые возможности для развития промышленной автоматизации, модернизации технологических линий и повышения конкурентоспособности предприятий на национальном и международном уровнях.

Заключение подчеркивает, что интеграция современных информационных технологий с методами декомпозиции и распределенного управления является ключевым фактором повышения эффективности промышленного производства. На примере КТЗ показано, что подобные подходы позволяют минимизировать аварийные простои, оптимизировать работу оборудования, повысить качество продукции и создать гибкую, масштабируемую и устойчивую систему управления, которая может быть внедрена в различных отраслях промышленности Казахстана и за его пределами.

ЛИТЕРАТУРА

- ГПИИР, 2020 — Государственная программа индустриально-инновационного развития (ГПИИР) Казахстана на 2020–2025 годы. — Астана: Правительство Республики Казахстан, 2020. — 48 с. [Russ.]
- Володин, 1984 — Володин В.М., Журавлев Л.В., Елохин В.А. Некоторые особенности децентрализованных систем управления технологическими процессами // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. — М., 1984. — № 2. — С. 81–84. [Russ.]
- Колупаев, 2016 — Колупаев Н.В. Кентауский трансформаторный завод // Журнал Энергетика. — Алматы, 2016. — № 4(59). — С. 24–27. [Russ.]
- Майлыбаев, 2020 — Майлыбаев Е.К., Умбетов У.У., Батырканов Ж.И. Исследование производственного цикла автоматизации технологических процессов в децентрализованных системах. // Вестник КазНУ. — Технические науки. — 2020. — №1(137). — С. 405–410. [Russ.]
- Морокина, 2016 — Морокина Г.С., Умбетов У. Управление технологическим процессом с применением программной среды Trace mode // Сборник трудов IV Международной научно-практической конференции «Инновации на транспорте и в машиностроении». — СПб.: Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», 2016. — Т. 3. — С. 101–103. [Russ.]
- Умбетов, 2013 — Умбетов У., Ху В., Иманова У.Ж. Декомпозиция динамических задач управления // Журнал РАЕ. Современные наукоемкие технологии. Технические науки. — М., 2013. — № 5. — С. 85–89. [Russ.]
- Yadav, 2020 — Yadav G., Paul K. Architecture and Security of SCADA Systems: A Review. — 2020. — Pp. 1–29. [Eng.]
- Abbas, 2015 — Abbas H.A., Shaheen S.I., Amin M.H. Simple, Flexible, and Interoperable SCADA System Based on Agent Technology. — 2015. — Pp. 184–199. [Eng.]
- Duque, 2019 — Duque Anton S., Fraunholz D., Lipps C., Pohl F., Zimmermann M., Schotten H.D. Two Decades of SCADA Exploitation: A Brief History. — 2019. — Pp. 113–120. [Eng.]
- Самарский, 2025 — Самарский В.В., Евсина Е.М. Обзор решений на основе искусственного интеллекта в сфере SCADA-систем // Системная инженерия и инфокоммуникации. — 2025. — №2 (2). — С. 32–35. [Russ.]

REFERENCES

- GPIIR, 2020 — Gosudarstvennaya programma industrial'no-innovatsionnogo razvitiya Kazakhstana na 2020–2025 gody [State Program of Industrial and Innovative Development of Kazakhstan for 2020–2025]. — Astana: Pravitel'stvo Respubliki Kazakhstan. — 2020. — 48 p. [in Russ.]

Volodin, 1984 — Volodin, V.M., Zhuravlev, L.V., Elokhin, V.A. (1984). Nekotorye osobennosti detsentralizovannykh sistem upravleniya tekhnologicheskimi protsessami [Some features of decentralized control systems of technological processes]. Izvestiya vuzov. Tekhnologiya tekstil'noi promyshlennosti. — 1984. — № 2. — Pp. 81–84. [in Russ.]

Kolupaev, 2016 — Kolupaev, N.V. (2016). Kentskii transformatornyi zavod [Kentaу Transformer Plant]. Energetika. — 2016. — № 4(59). — Pp. 24–27. [in Russ.]

Mailybaev, 2020 — Mailybaev, E.K., Umbetov, U.U., Batyrkanov, Zh.I. (2020). Issledovanie proizvodstvennogo tsikla avtomatizatsii tekhnologicheskikh protsessov v detsentralizovannykh sistemakh [Study of the production cycle of technological process automation in decentralized systems]. Vestnik KazNITU, 1(137), 405–410. [in Russ.]

Morokina, 2016 — Morokina G.S., Umbetov U. (2016). Upravlenie tekhnologicheskimi protsessom s primeneniem programmnoy sredy Trace Mode [Control of the technological process using the Trace Mode software environment] // Sbornik trudov IV Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii “Innovatsii na transporte i v mashinostroenii”. — SPb.: Natsional'nyi mineral'no-syr'evoi universitet “Gornyi”. — Vol. 3. — Pp. 101–103. [in Russ.]

Umbetov, 2013 — Umbetov, U., Hu, V., Imanova, U.Zh. (2013). Dekompozitsiya dinamicheskikh zadach upravleniya [Decomposition of dynamic control problems]. Sovremennye naukoemkie tekhnologii. Tekhnicheskie nauki. — 2013. — № 5. — Pp. 85–89. [in Russ.]

Yadav, 2020 — Yadav, G., Paul, K. (2020). Architecture and Security of SCADA Systems: A Review. — 2020. — Pp. 1–29. [in Eng.]

Abbas, 2015 — Abbas, H.A., Shaheen, S.I., Amin, M.H. (2015). Simple, Flexible, and Interoperable SCADA System Based on Agent Technology. — 2015. — Pp. 184–199. [in Eng.]

Duque, 2019 — Duque Anton, S., Fraunholz, D., Lipps, C., Pohl, F., Zimmermann, M., Schotten, H.D. (2019). Two Decades of SCADA Exploitation: A Brief History. — 2019.— Pp. 113–120. [in Eng.]

Samarskii, 2025 — Samarskii, V.V., Evsina, E.M. (2025). Obzor reshenii na osnove iskusstvennogo intellekta v sfere SCADA-sistem [Overview of artificial intelligence-based solutions in SCADA systems]. Sistemnaya inzheneriya i infokommunikatsii. — 2025. — №2(2). — Pp. 32–35. [in Russ.]