

# **ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ КАК МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И КАЧЕСТВА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ**

**Петров Дмитрий Владимирович**

*аспирант Самарского государственного университета путей сообщения,*

*Россия, г. Самара;*

**Андрончев Иван Константинович**

*д.т.н, доцент Самарского государственного университета путей сообщения,*

*Россия, г. Самара;*

**Новоселов Алексей Игоревич.**

*аспирант Самарского государственного университета путей сообщения,*

*Россия, г. Самара;*

## **Аннотация**

Внедрение любой новой комплексной ИТ системы на предприятии – сложный процесс, в ходе которого требуется как управленческий консалтинг специалистов предприятия с ре-инжинирингом бизнес-процессов, сбором требований с учетом особенностей предприятия и подготовкой данных, так и проведение доработок и интеграции новой системы с существующими системами, обучение персонала и постоянная поддержка.

## **Ключевые слова**

Надежность, качество, процессы, производство, цифровизация.

## **Введение**

Предлагаемая система является инновационным отечественным программным продуктом, создаваемым как цифровая платформа и экосистема умных сервисов для управления предприятием - принципиально отличающимся от имеющихся на рынке зарубежных и отечественных аналогов. Ее отличие состоит в том, что в ее основе лежит теория интересубъектной надежности, которая является новым знанием в области надежности и качества сложных систем. Управление надежностью и качеством производственных процессов путем диагностирования отдельных операций в реальном масштабе времени с помощью информационно-коммуникативных средств и применения цифровых технологий является новым шагом в теории надежности. Научные положения интересубъектной надежности и качества обсуждались и получили одобрение на ежегодных международных форумах «Надежность и качество» в 2014, 2015, 2016, 2017

годах в г. Пенза [1-3]. Теория разрабатывается двумя коллективами ученых и практиков на стыке надежности и систем управления сложными системами.

Цифровая платформа искусственного интеллекта (ИИ) надежности и качества предназначена для создания распределенных интеллектуальных систем, построенных как «системы систем», каждая из которых является автономной – способной в автоматическом режиме реагировать на события в среде, строить и пересматривать планы в зависимости от изменившихся условий. Одновременно с этим системы взаимодействуют друг с другом для согласования планов и контроля их исполнения. Эко-система таких умных сервисов надежности и качества – это нового типа программная среда, допускающая многообразие различных программ и сервисов, которые могут интегрироваться, подключаться внешними разработчиками и т.д.

Эко-система для управления производственными процессами ПАО Кузнецов предусматривает взаимодействие и кооперацию такого рода автономных интеллектуальных систем (АИС), предназначенных для сквозного стратегического (укрупненного) планирования заказов на производство в общем пуле ресурсов, оперативного планирования производства цехах и других подключаемых сервисов. Разрабатываемая цифровая ИИ платформа и эко-система умных сервисов создаются на основе баз знаний и мультиагентных технологий для поддержки принятия решений как в части адаптивного планирования ресурсов, так и финансово-экономического анализа деятельности предприятия в реальном времени.

Целью внедрения эко-системы является повышение надежности и качества производственных процессов для повышения экономической эффективности деятельности предприятия за счет обеспечения сквозного планирования и контроля производства изделий по заказам в общем пуле ресурсов предприятия в заданные бюджеты и сроки.

Функциональные возможности предлагаемой системы позволят обеспечить стратегическое и оперативное планирование ресурсов предприятия от уровня производства в целом на длительный горизонт до уровня каждого исполнителя на каждый день и час и связать их с финансово-экономическими показателями, фактами исполнения работ и оценками качества, что позволит непрерывно держать состояние производства в актуальном виде, гибко перестраивать планы и с опережением прогнозировать, выявлять и разрешать проблемные ситуации в реальном времени.

При этом создаваемая система строится с использованием цифровой ИИ платформы, открытой для подключения новых умных сервисов для извлечения знаний из данных, машинного обучения и ряда других, а также имеющихся традиционных корпоративных систем.

Перспективы развития системы связаны с созданием облачной отраслевой цифровой платформы и эко-системы умных сервисов для управления группой предприятий, объединяющей заказчика, производителя изделий и поставщиков материалов и комплектующих.

#### **Актуальность поставленной задачи**

Публичное акционерное общество «Кузнецов» - является ведущим предприятием в России по разработке, производству, техническому сопровождению в эксплуатации и ремонту газотурбинных авиационных, жидкостных ракетных двигателей, газотурбинных установок для наземного использования в газовой отрасли, энергетике.

К основным видам деятельности компании относятся:

*Производство ракетных двигателей для ракет-носителей «Союз», «Союз-2».* В этой отрасли ОАО «Кузнецов» занимает монопольное положение. Спрос на продукцию в этой отрасли целиком зависит от госзаказа, в частности, от государственной программы освоения космоса.

Двигатели, выпускаемые заводом, серийно ставились на ракеты-носители «Союз», в том числе на тот, который вывел на орбиту корабль «Восток» с первым в мире космонавтом Юрием Гагариным.

*Ремонт двигателей для стратегической авиации ВВС России (Ту-95, Ту-22М3, Ту-160).* В этом сегменте ОАО «Моторостроитель» является также монополистом. Этот вид деятельности является одним из важнейших для предприятия в силу больших темпов роста госзаказа на эти услуги.

*Производство и техническое обслуживание газоперекачивающих двигателей.* Этот рынок характеризуется достаточно сильной и усиливающейся конкуренцией. В этом сегменте осуществляют деятельность, помимо ОАО «Кузнецов», НПО «Сатурн», ОАО «Пермские моторы», ОАО «Казанское моторостроительное производственное объединение». Хотя номенклатура производимых двигателей различается (по мощности), в целом компании являются прямыми конкурентами. Этот рынок полностью ориентирован на потребности единственного заказчика — РАО «Газпром». Одним из преимуществ ОАО «Кузнецов» является давняя история сотрудничества с газовой отраслью — трубопроводная система страны оснащается двигателями ОАО «Кузнецов» с 1976 года.

*Производство и ремонт блочно-модульных электростанций (БМЭ) для производства электроэнергии и тепла мощности 10 и 25 МВт.* Этот вид деятельности является относительно новым для ОАО «Кузнецов». БМЭ поступают на ТЭЦ РАО «ЕЭС России».

В ходе управления предприятием руководство и специалисты сталкиваются со следующими проблемами:

- корпоративные системы автоматизируют учетный контур предприятия, но не поддерживают управление ресурсами в реальном времени, не позволяя с опережением планировать и оптимизировать производство, выявлять или прогнозировать «узкие места» и принимать решения по их разрешению;
- данные корпоративных систем разрознены и не увязаны в единую систему, что не позволяет получить достоверную картину производства заказов;
- планирование выпуска изделий ведется укрупненно и с редкой коррекцией планов, не позволяя руководству видеть реальный прогресс за каждый день – план на год составляется и затем ежемесячно корректируется вручную;
- при составлении годового плана состав изделий, технологические процессы и трудоемкость изготовления известны приблизительно, трудно учесть реальную пропускную способность оборудования и квалификации и доступности рабочих, нет развертки планов до исполнителей;
- отсутствует накапливаемая и корректируемая база знаний типовых изделий и классификаторов работ, норм трудоемкости и требований к компетенциям исполнителей, существующие техпроцессы и нормы устарели;
- доминируют принципы устаревшей экономики «общего котла», не позволяющей планировать и оценивать реальную прибыль по каждому изделию и подразделению – не ясно сколько времени каждый рабочий отработал на каждом изделии.
- если планы по отдельным заказам еще можно составить, то наложить эти планы на общий пул ресурсов с целью выявления и разрешения конфликтов – крайне сложно и трудоемко для ручной работы, а постоянная актуализации плана в реальном времени по событиям не представляется в принципе возможной;
- существующий подход к управлению производством не обеспечивает требуемой прозрачности, управляемости, оперативности и гибкости в использовании ресурсов;
- сложно просчитать риски при производстве заказов с учетом изменений поставок входящих деталей, стоимости материалов и т.д.;

- имеется разрыв между «техникой» и «экономикой» в проектах, план и факт «не бьются», трудно сопоставлять планы и результаты и делать выводы;
- если сложно контролировать рост расхождений между планом и фактом, то возникают проблемные ситуации и штрафы за срыв сроков;
- отсутствует мотивация сотрудников к росту производительности труда и повышению эффективности деятельности предприятия и т.д. [1]

В условиях отсутствия прозрачности планов и результатов руководители подразделений обычно обращаются к руководству только тогда, когда уже возникла проблема, которую они решить не могут – и как правило требуют дополнительного финансирования, но уже все ресурсы исчерпаны.

Как следствие, возникают трудности с выполнением заказов в срок и обеспечением требуемого качества работ, предприятие имеет высокую себестоимость работ и недополучает прибыль, создаются риски выполнения крупных оборонных заказов.

Но главная проблема управления производством при этом состоит в том, что, с одной стороны, к выполнению государственного оборонного заказа предъявляются жесткие требования (например, нельзя закупать вперед комплектующие), но с другой - такой госзаказ в реальности часто запаздывает, не позволяя предприятию маневрировать по бюджету и срокам.

В этой связи критически важно для предприятия получить возможность заранее рассчитывать и планировать все производственные циклы с учетом ограничений на имеющиеся производственные мощности и кадровые ресурсы с точностью до человека и до часа дня, причем с учетом особенностей производимых изделий и применяемых технологических процессов, и на этой основе определять «узкие места» и предпринимать меры по их разрешению, формируя реалистичные сроки выпуска продукции.[2]

Кроме того, важно иметь возможность «накладывать» планы по гражданским проектам, которых у предприятия становится все больше, на планы по госзаказу, и видеть возможности для маневра по ресурсам и срокам для разрешения конфликтов, определяя последовательность работ, выравнивая перегрузку и недогрузку в подразделениях, уточняя число смен и численность рабочих и т.д.

Наконец, на этапе исполнения ранее построенных и согласованных планов, как правило, часто возникают непредвиденные события, вызывающие рассогласование планов и фактов, что требует непрерывной согласованной адаптивной корректировки планов, чтобы постоянно держать состояние предприятия по каждому заказу на контроле.

Внедренные в настоящее время на предприятии системы планирования не учитывают сложности производства, не обеспечивают гибкого распределения ресурсов в общем пуле заказов, не дают возможность с опережением считать плановую и фактическую себестоимость каждого изделия, а также не поддерживают адаптивный режим работы по событиям в реальном времени.

Решение требуемой сложной задачи требуется разработки специальных методов и средств адаптивного планирования, способных учитывать особенности предприятия.

### **Технические решения**

Предлагается классический и пост - классический подходы к внедрению системы.

**Классический подход** подразумевает собой выкуп лицензий с постановкой их на баланс предприятия, а также выполнение работ по управленческому консалтингу и программным доработкам, интеграции и формированию структуры базы знаний (посторение онтологии предприятия) и начальному наполнению. Общий срок реализации проекта – **12 месяцев**, общая стоимость – **4,8 млн. руб.** (стоимость лицензий и доработок, стоимость которых может изменяться по ходу системного обследования предприятия и уточнения задания на доработки). Стоимость послегарантийного технического обслуживания составляет **0,45 млн. руб. в год**. Дорожная карта проекта отображена в Приложении 1. Подробное технико-экономическое описание проекта представлено в Приложении 2. Комплектность поставки, стоимость лицензий системы и формула расчета стоимости послегарантийного обслуживания при классическом подходе к промышленному [3,4].

**Пост - классический подход** предполагает подписку на право пользования лицензиями без постановки на баланс предприятия. Ежемесячный платеж по подписке на весь комплекс системы составит 72 тыс. руб. или около 0,87 млн. руб. в год. Доработка системы осуществляется по схеме T&M (Time & Material). Стоимость доработок определяется из расчета общего объема доработок в часах и стоимости одного часа работы разработчика. После оплаты восьмого года подписки заказчик имеет право получить в собственность на баланс лицензии и перейти к оплате послегарантийного обслуживания или эксплуатировать свою версию без ограничений или любой оплаты. Подробное технико-экономическое описание проекта представлено в Приложении 5. Стоимости подписок на лицензии приведены в Приложении 6.

## **Результаты внедрения**

В ходе внедрения системы ожидается получение следующих результатов:

- Решается сложная задача автоматизации производственного планирования, оптимизации, контроля и прогнозирования работы ресурсов по заказам;
- Обеспечивается возможность формализовать и интегрировать знания предприятия об изделиях, технологических процессах, станках и рабочих;
- Достигается гибкая и оперативная реакция на непредвиденные события за счет автоматического перепланирования ресурсов в реальном времени;
- Повышается эффективность работы предприятия за счет опережающего выявления простоев или сглаживания пиков в использовании ресурсов;
- Производственные планы более точны и обоснованы - задачи планируются и реализуются на основе детального расчета, анализа и сопоставления вариантов;
- План работы является открытым к любым изменениям «на лету», учитывающим индивидуальные особенности заказов и ресурсов;
- План гораздо лучше отражает реальность – поскольку корректируется в ходе ежедневного выполнения работ по факту и путем обработки внеплановых событий;
- Обеспечивается полная прозрачность работы для руководства предприятия;
- Сокращается трудоемкость планирования, мониторинга и контроля, прогнозирования и анализа результатов работы предприятия;
- Повышается эффективность работы предприятия за счет консолидации знаний и внедрения наиболее современных принципов управления информацией
- Появляется возможность оптимизировать численность сотрудников предприятия;
- Повышается дисциплина и ответственность за результат;
- Сокращается число совещаний и непродуктивный документооборот;
- Снижение рисков, включая число опозданий и штрафов при сдаче заказов;
- Уменьшается человеческий фактор (ошибки, искажение данных и т.д.);

- Создается платформа для роста бизнеса без увеличения численности административного персонала.

В ходе подготовки ТЗ для внедрения системы будет дана первая оценка числовых значений данных показателей эффективности внедрения.

### **Вывод**

В случае успеха внедрения предлагаемая система может быть совместно доработана до уровня отраслевой цифровой платформы и экосистемы умных сервисов по профилю деятельности предприятия заказчика с использованием ИИ систем, которая объединит работу группы предприятий рассматриваемой профиля.

В частности, создаваемая платформа и системы будут обладать Базой знаний, имеющей классификацию изделий, состав технологических процессов и классификаторов задач отрасли, описание типового оборудования, компетенций рабочих и т.д. [5]

Рассмотренные выше системы в дальнейшем могут быть в качестве обязательного условия по исполнению контракта предоставлены на следующий уровень поставщикам комплектующих и материалов, чтобы видеть и синхронизировать работу поставщиков для снижения рисков нарушения поставок.

В этом случае система может быть размещена в защищенном облаке Ростелекома или другого поставщика ЦОД услуг и предлагаться участникам рынка по модели аренды как услуга SaaS (Software-as-a-Service), гарантируя доступ 24/7, архивацию данных, восстановление при сбоях и т.д.

На этом этапе рассмотренные выше подсистемы могут быть дополнены средствами машинного обучения, эволюционного моделирования и другими новыми возможностями.

### **Список литературы**

1. Энергетическая стратегия холдинга «Российские железные дороги» на период до 2015 года и на перспективу до 2030 года, утвержденная распоряжением ОАО «РЖД» от 15.12.2011 г. №2718р.

2. Стратегия научно-технологического развития холдинга «РЖД» на период до 2025 года и на перспективу до 2030 года (Белая книга), утвержденная распоряжением ОАО «РЖД» от 17.04.2018 г. №769/р.

3. НТП 24-94 Нормы технологического проектирования производства водорода методом электролиза воды.

4. ГОСТ ISO 14687-3-2016 Топливо водородное. Технические условия на продукт. Часть 3. Применение для топливных элементов с протонообменной мембраной стационарных энергоустановок.

5. Li, Y., Garg, A., Shevya, S., Li, W., Gao, L., & Lee Lam, J. S. (2022). A hybrid convolutional neural network-long short term memory for discharge capacity estimation of lithium-ion batteries. *Journal of Electrochemical Energy Conversion and Storage*, 19(3) doi:10.1115/1.4051802