

УДК 338.32

**Пасюта Антон Павлович,**  
руководитель сервиса технических программ обучения,  
ПАО «Трубная металлургическая компания»  
г. Москва, Российская Федерация

**Мухортов Максим Александрович,**  
Заместитель главного механика по обслуживанию и ремонту ПС,  
АО «Волжский трубный завод»  
г. Волжский, Российская Федерация

**Пельмская Ирина Сергеевна,**  
кандидат экономических наук, доцент,  
кафедра экономики и управления на металлургических и машиностроительных  
предприятиях,  
Институт экономики и управления,  
ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента  
России Б.Н. Ельцина»  
г. Екатеринбург, Российская Федерация

## **ПРИМЕНЕНИЕ ИНСТРУМЕНТОВ ПРЕДИКТИВНОЙ АНАЛИТИКИ В ОРГАНИЗАЦИИ И ПРОВЕДЕНИИ РЕМОНТОВ**

### *Аннотация:*

В статье исследован процессный подход к организации технического обслуживания оборудования на промышленном предприятии. Целью работы является изучение современных инструментов помощи в принятии управленческих решений прогнозирования работы оборудования для повышения эффективности бизнес-процессов предприятия. Исследование примеров реализации технологии предиктивной аналитики на отечественных и иностранных предприятиях показывает, что повышение экономических показателей может быть связано с эффективностью принятия управленческих решений.

### *Ключевые слова:*

Процессный подход, цифровые двойники, принятие управленческих решений, повышение эффективности, интернет вещей.

Современная среда бизнеса вынуждает компании повышать эффективности процессов, положительно влияющих на финансовый результат. Требования рынка вынуждают производителей ускорять технологический процесс, сокращая время выполнения вспомогательных операций и действий, не добавляющих ценности. К таким действиям в первую очередь относится техническое обслуживание и ремонт оборудования. В таких условиях принятие решения об остановке оборудования не может опираться только на регламенты и годовые графики. Обслуживание оборудования по состоянию дает возможность сократить себестоимость продукции и увеличить производительность цеха.

Большинство промышленных предприятий используют базовые механизмы контроля, предоставленные производителями оборудования. Потенциал таких средств ограничен, поскольку они не позволяют проанализировать дополнительные факторы, влияющие на состояние оборудования, и заранее спрогнозировать критическую ситуацию. Таким образом, инженерно-технические работники ремонтного и обслуживающего персонала получают множество данных, которые не могут быть связаны между собой. В итоге реакция на

аварийную остановку оборудования следует только после его отказа, что приводит к дополнительным расходам. Прогнозная аналитика средствами машинного обучения и искусственного интеллекта проводит непрерывный анализ больших данных, выполняет визуализацию данных о состоянии оборудования на текущий момент и прогнозирует сценарии возникновения отказов оборудования. В результате сокращаются внеплановые простои, оптимизируются работы по техническому обслуживанию и ремонту оборудования, а управляющий персонал получает углубленный анализ причин отказов оборудования.

Таким образом, для эффективного управления таким предприятием необходимо формирование концепции интеллектуальной поддержки принятия решений в управлении сложными взаимодействующими бизнес-процессами. Она должна быть основана на принципах управления знаниями, опираться на онтологический анализ бизнес-процессов. Использование базы знаний позволяет накапливать и применять в проблемных ситуациях знания и опыт экспертов по управлению бизнес-процессами компании.

В результате работы интеллектуальной системы предоставляются качественные или количественные рекомендации по принятию решения. Предлагаемая система должна поддерживать заданный уровень адекватности и актуальности рекомендаций в соответствии с текущими внешними условиями. Для этого в ней предусмотрен режим адаптации решений к текущей ситуации с применением правил адаптации, составленных на основе знаний и опыта экспертов в области управления в проблемных ситуациях. Прецеденты проблемных ситуаций, содержащие адаптированные решения, сохраняются в онтологической базе знаний как новые прецеденты, что обеспечивает обучение базы знаний. Экспертами производится контроль эффективности принятых решений и ввод оценок эффективности в описание прецедентов базы знаний. Таким образом, интеллектуальная система выполняет формирование альтернатив решений, поиск возможных вариантов решений и оценку альтернатив, а также представление рекомендаций пользователям.

В современных условиях динамичности рынка, обострения конкуренции, комплексности управления бизнес-процессами к системам поддержки принятия решений (СППР) предъявляются следующие требования:

- анализ и интеграция множества внешних и внутренних источников производственной и финансовой информации;
- повышение оперативности анализа эффективности бизнес-процессов и прогнозирование их развития;
- расширение сферы лиц, участвующих в подготовке и принятии управленческих решений;
- автоматизация извлечения знаний о закономерностях в развитии ситуаций для принятия своевременных решений и др.

Основной целью проведения различных анализов данных является поиск шаблонов и закономерностей, чтобы предсказать, что может произойти в будущем.

На начальном этапе построения системы автоматической аналитики требуется проверить достаточность количества данных базе и их непредвзятость в плане процедур сбора. Исследователи определяют отношение к экстремальным значениям или выбросам и выбирают модели, которые будут использоваться. Необходимым параметром при сборе и анализе данных является определение временных рядов. Временные ряды можно определить как набор значений, полученных в последовательные моменты времени, часто с равными интервалами между ними. Существуют разные периоды, такие как годовой, ежеквартальный, ежемесячный, еженедельный и ежедневный. Выбор временного ряда зависит от специфики работы оборудования и частоты обновления фиксируемых параметров.

При попытке предсказать будущее событие могут применяться различные модели, такие как скользящее среднее, регрессия, авторегрессия и т. п. Применение той или иной модели может зависеть от специфики работы предприятия и оборудования.

Быстрое принятие решений невозможно без визуализации полученных результатов. Концепции и наборы данных намного более понятны, если представлять их в виде графиков,

рисунков или дополнения видеоизображения инфографикой. Основные этапы внедрения предиктивной аналитики представлены на рисунке 1.

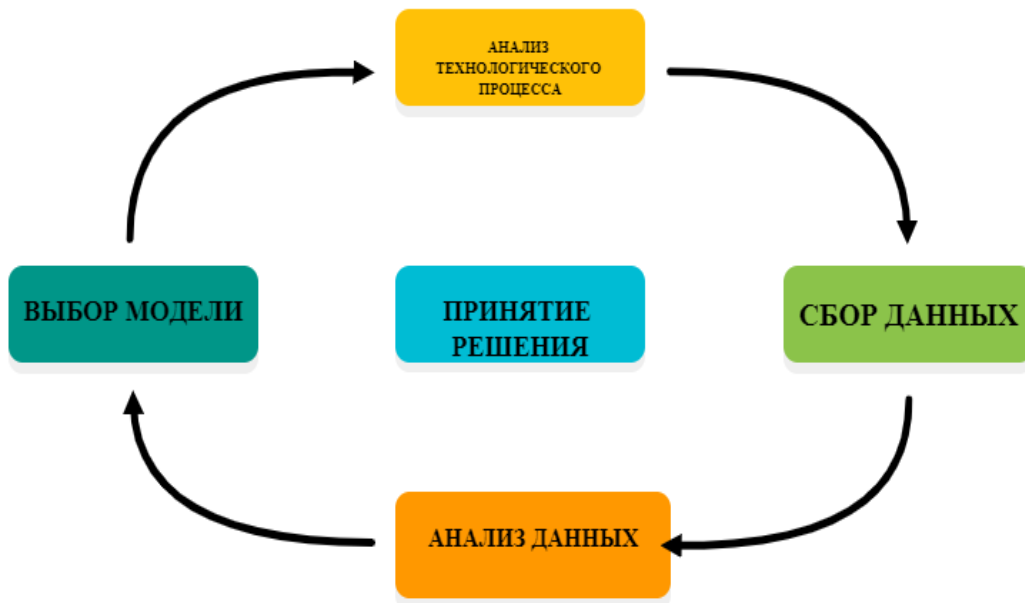


Рисунок 1 – Этапы внедрения предиктивной аналитики на промышленном предприятии

Применение интеллектуальной системы прогнозирования событий и помощи в принятии решений на производстве позволяет добиться экономически значимых результатов:

- прогнозирование влияния воздействий факторов на параметры продукции;
- прогнозирование отказов оборудования - переход от обслуживания по регламенту к обслуживанию по состоянию;
- прогнозирование производства продукции и потребления энергии и ресурсов;
- онлайн упреждающие оповещения о будущих внештатных ситуациях.

Зачастую данные о протекании технологического процесса используются не эффективно, в то время как они должны быть направлены на оптимизацию операционных процессов и повышения технико-экономических показателей производства. Оптимизацию может быть выполнена на любом типе производства с достаточным уровнем автоматизации, организованным сбором и длительным хранением информации. Для этого успешно применяются интеллектуальные системы, которые проводят анализ состояния технологического процесса в реальном времени, прогнозируют дальнейшее протекание процесса, определяют уровень оптимальности и, при необходимости, изменяют управляющие параметры или дают рекомендации диспетчеру.

В таблице 1 приведены основные виды неисправностей технологического оборудования.

Для решения данных задач с помощью средств машинного обучения создается предиктивная математическая модель технологического процесса. Она анализирует входные параметры, в реальном времени выдает прогноз протекания процесса и предложения по его оптимизации. Такую модель объединяют с АСУТП, MES и ERP-системами предприятия.

Наиболее современным направлением организации производства и обслуживания оборудования является применение цифровых и аппаратных средств отслеживания технического состояния деталей и систем оборудования. Это позволяет заблаговременно планировать остановку оборудования для технического обслуживания, прогнозировать потребность в запасных частях и обслуживающем персонале. Внедрение интеллектуальной системы прогнозирования отказов и планирования ремонтов, основанной на технологии Digital Twin («цифровой двойник») становится стратегически важным направлением для

крупных производственных предприятий. Важной особенностью цифрового двойника является то, что для задания на него входных воздействий используется информация с датчиков (сенсоров), установленных на реальном устройстве. Цифровой двойник может работать как в онлайн, так и в офлайн режимах. Информация, поступающая с реальных датчиков, сравнивается с показаниями виртуальных датчиков цифрового двойника, что позволяет выявлять аномалии и устанавливать причины их возникновения. Инструмент позволяет существенно расширить возможности облачных аналитических сервисов, используемых в концепции Промышленного Интернета Вещей (IIoT – Industrial Internet of Things).

Таблица 1 – Основные виды неисправностей технологического оборудования

	Рекомендации оптимальных рабочих режимов	Износ и разрушение подшипников	Расцентровка вала, эксцентриситет, излом	Осевые радиальные смещения вала	Загрязнения и отложения	Обрыв лопаток, заедания ротора/статора	Локальный перегрев	Повреждения обмоток, межвитковые замыкания	Старение изоляции	Поломка зубчатой передачи, трещины,	Ослабление крепления конструкции
Мельницы	x	x								x	x
Насосы	x	x	x	x	x						x
Компрессоры	x	x	x	x	x						x
Электродвигатели и генераторы		x	x	x		x	x	x	x		x
Трансформаторы	x						x	x	x		x
Теплообменники					x						
Дымососы	x	x	x	x		x					x
Конвейеры	x	x								x	x
Котельные агрегаты	x				x		x				
Турбоагрегаты	x	x	x	x		x					x

Цифровой двойник применяется на всех стадиях жизненного цикла изделия и процесса, включающих в себя разработку, изготовление и эксплуатацию. Уже на этапе эскизного проектирования с использованием ПО для имитационного моделирования возможно создание вариаций системной модели разрабатываемого изделия для оценки и выбора наилучшего технического решения. Далее на этапе технического проектирования, полученная на предыдущем этапе модель может дорабатываться и уточняться при помощи более точных системных моделей элементов, которые могут быть получены на основе результатов многовариантных численных расчетов, сконвертированных в модели пониженного порядка – ROM-модели. Данная многофизичная точная системная модель позволяет учесть и оптимизировать взаимодействие всех элементов с учетом режимов работы и воздействий окружающей среды. При переходе к этапу эксплуатации модель может быть доработана и использована для реализации обратной связи, диагностики и прогнозированием неисправностей, повышением эффективности работы.

Цифровой двойник является одним из инструментов ОФС, который позволяет промоделировать различные варианты полных и частичных отказов, работу устройств с учетом режимов их работы, воздействия окружающей среды и различной степени износа деталей. Взаимосвязь ключевых входных и выходных данных при построении математической модели процесса представлена на рисунке 2.

Ведущие компании используют численное моделирование для создания виртуальных прототипов сложных технических устройств и систем, содержащих механические, электронные и встраиваемые программные компоненты. Сегодня Интернет вещей позволяет передавать информацию от датчиков, подключенных к устройству, Цифровому двойнику в качестве граничных условий в режиме, близком к реальному времени.

Результаты моделирования с применением цифровых двойников могут быть откалиброваны на основании рабочих характеристик физического изделия или процесса. Инженерный анализ на основе технологии Цифровых двойников может использоваться для определения причин снижения производительности, оценки результатов различных стратегий управления, создания оптимальных графиков технического обслуживания. В итоге

технология Цифровых двойников может беспрецедентно повысить производительность и надежность процесса, снижая при этом эксплуатационные расходы.

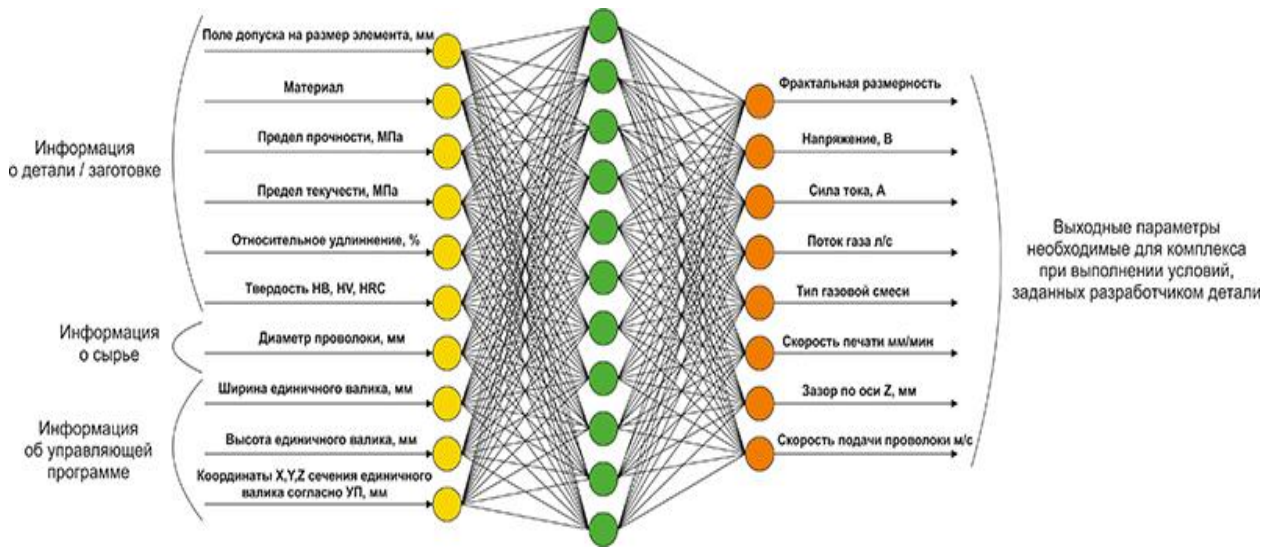


Рисунок 2 – Взаимосвязь входных и выходных параметров, влияющих на технологический процесс

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Шведин, Б.Я. Онтология проектирования - TERRA INCOGNITA? / Б.Я. Шведин // Онтология проектирования. – 2011. – №1. - С. 9-21. [5]
2. Скобелев, П.О. Онтологии деятельности для ситуационного управления предприятиями в реальном времени / П.О. Скобелев // Онтология проектирования. – 2012. – №1. - С. 6-39.
3. Черняховская, Л.Р. Поддержка принятия решений для оценки качества предоставления государственных услуг с применением онтологического анализа / Л.Р. Черняховская, В.Е. Гвоздев, А.Ф. Галиуллина // Онтология проектирования. – 2016. – №2(20). - С. 193-204. [10]
4. Черняховская, Л.Р. Разработка моделей и методов интеллектуальной поддержки принятия решений на основе онтологии организационного управления программными проектами/ Л.Р. Черняховская, А.И. Малахова // Онтология проектирования. – 2013. – №4(10). - С. 42-52.
5. URL: <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/how-digital-twins-simplify-the-iot/>

**Pasyuta Anton P.,**  
Head of technical training programs service,  
РАО «ТМК»  
Moscow, Russian Federation

**Mukhortov Maxim A.,**  
Deputy chief mechanic for maintenance and repair of lifting equipment,  
АО «VTZ»  
Volzhsky, Russian Federation

**Pelymskaya Irina S.,**  
Candidate of Economic Sciences, Associate professor,  
Department of Economics and Management at Metallurgical and Machine-Building  
Enterprises,  
Institute of economics and management  
Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin  
Yekaterinburg, Russian Federation

## **APPLICATION OF PREDICTIVE ANALYTICS TOOLS IN THE MAINTENANCE OF EQUIPMENT**

*Abstract:*

The work examines the process approach to the organization of equipment maintenance at an industrial enterprise. The purpose of the work is to study modern tools to help in making management decisions to predict the operation of equipment to improve the efficiency of business processes of the enterprise. The study of examples of the implementation of predictive analytics technology at domestic and foreign enterprises shows that the increase in economic indicators can be associated with the effectiveness of managerial decision-making.

*Keywords:*

Process approach, digital twins, management decision making, efficiency improvement, internet of things.