

Бережливое техническое обслуживание: основные подходы и методы реализации

И.Н. Антоненко, канд. техн. наук, начальник отдела
E-mail: antonenko@spectec.ru
ООО «НПП СпецТек»

Применение принципов бережливого производства позволяет повысить эффективность технического обслуживания. Одно из ключевых положений состоит в том, чтобы выполнять правильные работы. Для этого необходимо выявить работы, не добавляющие ценность, и исключить из программы либо изменить их. Следует применять такие методы, как оптимизация программы планового обслуживания (ОППО) или надежно-ориентированное техническое обслуживание (НОТО). Второе положение состоит в том, чтобы выполнять работы правильно. В этом случае надо применять такие инструменты, как стандартные операционные процедуры и показатели эффективности.

Ключевые слова: бережливое производство, техническое обслуживание, надежность оборудования.

Antonenko I.N. Lean maintenance: basic approaches and implementation methods
Company «SpetsTek»

The application of lean manufacturing principles allows you to increase the of maintenance efficiency. One of the key provisions is to do the right works. To do this, it is necessary to identify works that do not add value, and exclude them from the work program or change them. Methods such as planned maintenance optimization (PMO) or reliability-centered maintenance (RCM) should be used here. The second position is to perform the works right. Tools such as standard operating procedures and performance indicators should be used here.

Key words: lean manufacturing, maintenance, equipment reliability.

Бережливое производство (БП) применяется в разных отраслях, на предприятиях разного масштаба и принадлежности, в том числе в молочной промышленности [1]. Исходными положениями концепции БП являются:

- понятие «ценность» — полезность продукции с точки зрения потребителя, находящая отражение в цене продаж и рыночном спросе;
- «потери» — любое действие на всех уровнях организации, потребляющее ресурсы, но не создающее ценность;
- представление о трех видах деятельности при создании ценности:

1. действия, необходимые и добавляющие ценность;
2. действия, необходимые, но не добавляющие ценность;
3. действия, ненужные и не добавляющие ценность.

Деятельность второго и третьего вида относят к потерям. Решения, которые принимаются в рамках БП, должны быть направлены на то, чтобы поддержать деятельность первого вида, второго — оптимизировать и минимизировать, деятельность третьего вида устранить.

В ГОСТ Р 56020–2020 «Бережливое производство. Основные положения и словарь» перечислены семь основных видов потерь: перепроизводство, избыток запасов, транспортировка, задержки, дополнительная обработка, перемещения, дефекты. Организация на основе своего опыта может определить дополнительные виды потерь.

Эффективность БП многократно подтверждена практикой, поэтому не удивительно, что принципы БП находят применение и в сферах деятельности, смежных с материальным производством, в том числе в техническом обслуживании и ремонте производственных активов. Здесь и далее под производственным активом понимается единица технологического оборудования, машина, компонент, запасная часть машины или оборудования, объект недвижимости в целом или его инженерная система, используемые для производства продукции.

ПРИНИМАЕМОСТЬ БП К РЕМОНТНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Согласно ГОСТ 18322–2016 «Межгосударственный стандарт. Система технического обслуживания и ремонта техники», техническое обслуживание и ремонт (ТОиР) — это комплекс технологических операций и организационных действий по поддержанию или восстановлению работоспособности или исправности актива. В концепции бережливого производства ТОиР относится к упомянутому выше второму виду деятельности. Оценка эффективности ТОиР оказалась непростой задачей. В общем виде эффективность — это отношение полезного результата к объему затраченных ресурсов. И если со знаменателем этой дроби принципиальных проблем не возникает, то определение результата ТОиР сталкивается с методическими и практическими проблемами. Отсюда возникла идея применить подходы бережливого производства к задаче оценки эффективности и улучшения ТОиР.

Согласно исследованию консалтинговой компании «Т.А. Соок», в среднем почти половина (45 %) деятельности по техническому обслуживанию и ремонту бесполезна [2]. Для целей исследования наблюдаемые виды ремонтной деятельности были классифицированы как «добавляющие ценность» и «не добавляющие ценность». Добавляет ценность непосредственное выполнение ТОиР, а не добавляют ее операции, приводящие к потерям времени, отведенного на ТОиР. В этой концепции «продукцией» является работоспособность и исправность актива, а ее потребителем — владелец актива, т.е. предприятие.

Идеи в этом направлении выдвигались и раньше. В частности, в работе [3] была дана классификация потерь применительно к ТОиР, которая в несколько измененном виде представлена ниже. Учитывая содержание видов потерь и перефразируя известное высказывание Питера Друкера, можно предложить следующие подходы к устранению потерь, связанных с ТОиР: выполнять правильную работу и выполнять ее правильно.

Виды и содержание потерь при ТОиР

Перепроизводство	Выполнение технического обслуживания чаще, чем нужно, выполнение дублирующих или ненужных работ
Избыток запасов	Невостребованные, устаревшие или редко используемые запчасти и материалы, а также их неучтенные запасы
Транспортировка	Потери времени на перемещение инструментов, запчастей, материалов или самого оборудования к месту ремонта
Задержки	Ожидание инструктажа и выдачи наряда, ожидание отключений, транспортировки инструментов и запчастей
Дополнительная обработка	Отбраковка неисправных запчастей, лишние операции из-за несоответствующих инструментов или оснастки
Перемещения	Перемещения ремонтников между объектами, а также в поисках документации, запчастей, материалов, инструмента
Дефекты	Устранение отказов, вызванных недостаточным обслуживанием, повторные ремонты из-за некачественного их выполнения

ВЫПОЛНЯТЬ ПРАВИЛЬНУЮ РАБОТУ

Единственным основанием для выполнения работы по ТОиР является предупреждение или устранение отказа. Иными словами, каждая работа по обслуживанию данного актива должна быть связана с конкретным видом его отказа и направлена на его предупреждение или устранение. Только такая работа создает ценность. В то же время известны следующие виды работ, приносящих потери:

- ненужная, не связанная ни с одним возможным видом отказа;
- неэффективная, которая хотя и связана с видом отказа, но ее стоимость больше, чем тяжесть последствий предупреждаемого отказа;
- неприменимая, не влияющая на вероятность или последствия отказа;
- дублирующая другую работу, предупреждающую тот же отказ;
- избыточная или недостаточная работа, которая выполняется чаще или реже, чем необходимо для предупреждения отказа.

Зачастую работы, не создающие ценность, входят в состав типовой программы профилактического обслуживания, рекомендованной производителем оборудования. Тому могут быть объективные и субъективные причины.

1. Предположения производителя об условиях эксплуатации на вашем предприятии ошибочны, и, как следствие, ошибочна оценка вероятности отказа и установленная интенсивность предупредительного обслуживания.

2. Стремясь к тому, чтобы его оборудование имело на рынке репутацию надежного, производитель исходит из наилучших условий эксплуатации. Это приводит к избыточной программе обслуживания.

3. Рекомендации производителя не учитывают последствия отказа вашего оборудования в том эксплуатационном контексте, в котором оно используется, и, как следствие, он исходит из ошибочной оценки соотношения затрат на предупредительные работы и последствий отказа. Это приводит к неэффективным работам.

4. Даже если производитель учел эксплуатационный контекст, со временем он может измениться: например, изменились требования к производительности и безот-

казности в связи с изменением планового объема производства, цена недовыпуска продукции (из-за изменения рыночной конъюнктуры), что привело к изменению экономической целесообразности предупредительных работ.

5. Если производитель продает запасные части, необходимые для профилактического обслуживания, это может привести к конфликту интересов. Производитель, руководствуясь собственной выгодой, будет устанавливать меньший срок службы запчастей, чем они могут служить с учетом фактического износа.

6. Периодичность профилактики или замены определяется исходя из наработки на отказ или срока службы актива. Чтобы их определить, в идеале необходимо взять представительную совокупность однотипных активов и протестировать их на отказ в моделируемой рабочей среде, но это дорого и долго. Поэтому, как правило, производитель располагает скудными тестовыми данными. Для подстраховки он занижает значение наработки на отказ или срока службы часто до 50 %, а иногда в 3 или 4 раза [4]. Это приводит к избыточным работам в программе обслуживания, которые выполняются чаще, чем нужно для предупреждения отказа.

7. Возможно, актив или его компоненты подверглись техническому перевооружению, и в программе технического обслуживания не в полной мере это учтено.

8. Возможно, работники различных служб выполняют дублирующие работы. Наибольшая вероятность дублирования характерна для инспекций и проверок, которые выполняются операторами, механической службой, энергослужбой на одном и том же оборудовании и часто для предупреждения одних и тех же отказов.

Известны два основных способа формирования правильной программы работ: оптимизация программы планового обслуживания (ОППО), или Planned Maintenance Optimization (PMO) [5], и надежность-ориентированное техническое обслуживание (НОТО), или Reliability-Centered Maintenance (RCM) [6]. Первый способ используется эксплуатирующей организацией для улучшения существующей программы обслуживания. Второй используется как производителем оборудования для разработки первичной программы работ, так и эксплуатирующей организацией для пересмотра программы обслуживания.

Суть первого способа в том, чтобы провести анализ программы работ и далее:

- удалить ненужные, дублирующие и неэффективные работы;
- изменить содержание работ, которые оказались неприменимыми;
- изменить периодичность избыточных и недостаточных работ;
- добавить работы, предупреждающие отказы, упущенные производителем;
- провести модернизацию или замену оборудования в случае, если не удалось подобрать эффективную и применимую предупредительную работу.

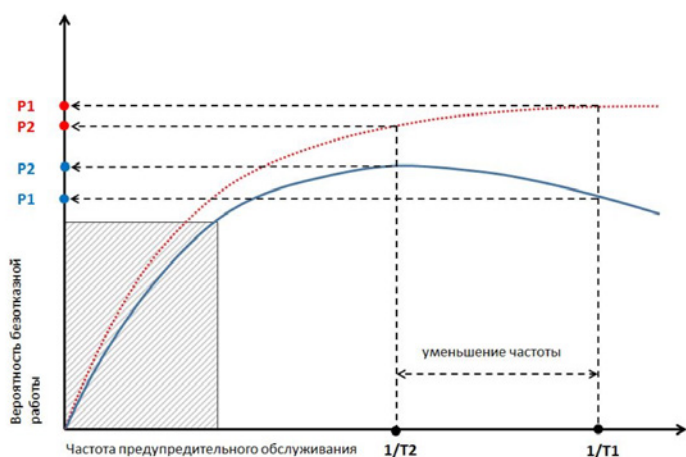
Ненужные, дублирующие и избыточные работы не только не приносят ценности, они ее уменьшают, приводя к остановкам на их выполнение. Они могут привести и к нарушению работоспособности оборудования, поскольку каждая работа создает предпосылки ошибок персонала, которые, в свою очередь, ведут к отказам и простоям. С другой стороны, при недостаточном обслуживании актив отказывает раньше, чем наступает срок

его обслуживания, назначается внеплановый ремонт, который обычно обходится дороже планового. Типичный результат выполнения ОППО следующий: оставить как есть — 13 %; удалить — 19 %; увеличить интервал обслуживания — 30 %; новые работы — 13 %; сократить интервал — 25 %.

Особую сложность представляет задача увеличения интервала (уменьшения частоты) обслуживания. На опасных производственных объектах она требует привлечения органов технического надзора и производителя оборудования (впрочем, как и другие задачи ОППО). Кроме того, сама по себе она нуждается в данных, которые далеко не всегда имеются в наличии. Поясним это на примере.

На рисунке точечной кривой представлена зависимость вероятности безотказной работы на интервале T от частоты работ, предупреждающих деградационные отказы. Очевидно, что с увеличением частоты обслуживания с некоторого момента вероятность безотказной работы увеличивается незначительно и стремится к величине, связанной с эксплуатационными отказами. Сплошной кривой показана та же зависимость с учетом возможных ошибок персонала при выполнении предупредительных работ, и здесь с увеличением частоты обслуживания вероятность безотказной работы даже уменьшается, поскольку растет частота ошибок персонала. Пусть в исходной программе обслуживания предусмотрена частота работ $1/T_1$. Тогда, если уменьшить ее почти в 2 раза до величины $1/T_2$, то вероятность безотказной работы теоретически уменьшится от P_1 до P_2 на весьма малую величину, без существенного влияния на надежность. А с учетом ошибок персонала она, наоборот, даже увеличится от P_1 до P_2 .

Проблема в том, чтобы знать, из какой исходной точки этой вероятностной зависимости начинается оптимизация программы обслуживания. Если эта точка значительно левее, то, сократив частоту обслуживания, можно попасть в опасную зону (покрыта штриховкой), где вероятность безотказной работы резко падает. Группе анализа нужны данные об отказах в этой зоне, но именно здесь она сталкивается с так называемым парадоксом Резникова [7]: программа профилактического обслуживания препятствует сбору данных об этих отказах, поскольку она их предупреждает. Данные о самых критичных отказах особенно ценны, но именно их будет совсем мало, а будет много данных о некритичных отказах, которые не помогут принять решение.



Связь вероятности безотказной работы и частоты профилактики

Следовательно, если возможны катастрофические последствия отказа, то на свой страх и риск сокращать частоту обслуживания недопустимо. В этом случае разумно будет запустить программу исследования возраста. Ее составляющими могут быть:

- диагностика технического состояния узла, который был снят и заменен или подлежит профилактическому обслуживанию;
- мониторинг технического состояния оборудования в реальном времени;
- внесение в программу работ регулярных проверок технического состояния.

На этой основе можно осуществить переход от профилактики с фиксированным интервалом к стратегии обслуживания по состоянию, которая и даст в итоге желаемое уменьшение частоты предупредительных работ. Другие рекомендации по увеличению межремонтного интервала приведены в [4].

Несмотря на некоторые сложности, реализация оптимизации программы планового обслуживания не встречает существенных препятствий. Его можно реализовать, если на предприятии внедрена информационная система управления техническим обслуживанием и ремонтами (ИСУ ТОиР) и в ней ведется корректный и полный учет результатов выполнения работ, регистрируются дефекты, отказы, простои. Такая система реализуется на основе специального программного обеспечения, такого как программный комплекс TRIM [8].

История отказов и выполненных работ совершенно необходима, чтобы выявить дублирующие, неприменимые, недостаточные и неэффективные работы, а также пропущенные производителем отказы. Если дополнить ОППО процедурой Failure Mode and Effects Analysis (FMEA, анализ видов и последствий отказов) и создать в ИСУ ТОиР соответствующие классификаторы отказов, их причин и последствий, то на этой основе можно выявлять ненужные работы. Здесь ОППО соприкасается с НОТО.

Эффективность ОППО доказана практикой. Показательными результатами, например, являются сокращение занятости ремонтного персонала на 16 %, снижение простоев оборудования, вызванных отказами, сокращение количества дефектов на 18 % [9] или сокращение на 25 % объема рутинных работ [10]. Последнее также привело к сокращению на 25 % объема ремонтов по отказу, что дало основание утверждать: отмененные профилактические работы фактически вызвали, а не предотвращали отказы.

С другой стороны, потенциал ОППО изначально ограничен рамками существующей программы работ. В ряде случаев требуются пересмотр самого подхода к предупреждению данного вида отказа, изменение стратегии ТОиР в рамках второго способа формирования программы работ — НОТО.

НОТО требует отдельного рассмотрения [11], поэтому здесь кратко отметим следующее. По большому счету, существуют три стратегии технической эксплуатации и соответствующие им стратегии ТОиР: эксплуатация до отказа, до нормативного ресурса, до предотказного состояния.

Стратегия ТОиР — это, по сути, система правил для определения момента начала и объема ТОиР. Базовые стратегии ТОиР представлены в таблице. Возможны также комбинированные стратегии. Формирование программы обслуживания в рамках НОТО обеспечивает комплексное применение указанных стратегий обслуживания в зависи-

Стратегии ТОиР

Стратегия	Начало	Объем
Реактивное обслуживание	Событие отказа	По последствиям отказа
Профилактическое обслуживание	Момент исчерпания нормативного ресурса	По регламенту
Обслуживание по фактическому состоянию	Момент наступления предотказного состояния	По фактическому состоянию
Прогнозное обслуживание	Прогнозируемый момент наступления предотказного состояния	По прогнозируемому состоянию с коррекцией по факту

мости от последствий возможных отказов и с учетом механизма их возникновения. Каждая из стратегий не считается изначально плохой или самой лучшей, речь идет лишь о рациональном определении границ применения каждой из них.

Для бережливого обслуживания чрезвычайно важно рациональное сочетание стратегий. Эксперты Национального института стандартов и технологий США (NIST) сравнивали две группы предприятий, которые больше всего (в среднем 81,5 % работ) и меньше всего (в среднем 14,5 %) используют реактивное обслуживание [12]. Оказалось, что у первой группы больше простоев почти в 3,28 раза, дефектов продукции — в 16 раз, потерянных продаж из-за дефектов продукции, вызванных техническим обслуживанием, — в 2,81 раза и из-за простоев в ремонтах — в 2,37 раза больше, чем у второй группы, которая практикует в основном предупредительное обслуживание.

Далее рассматривалась группа, которая менее всего использует реактивное обслуживание (до 50 % работ). Для оценки эффективности перехода от профилактического обслуживания к прогнозному ее ранжировали по объему прогнозного обслуживания и разбили на верхнюю (в среднем 44 % прогнозного обслуживания) и нижнюю (в среднем 9 %, т.е. в основном профилактическое). В нижней группе выявлено больше простоев на плановом обслуживании на 18 %, вызванных отказами — на 21 %, дефектов продукции — больше в 7,8 раза, потерянных продаж из-за простоев в ремонтах — на 21 %.

Часто бывает, что организации завершают крупномасштабные проекты по совершенствованию программ технического обслуживания с использованием подхода ОППО или НОТО, а потом не занимаются их улучшением несколько лет или более. Затем они начинают новый аналогичный проект, чтобы исправить накопившиеся за эти годы проблемы в программе ТОиР. Однако на тот момент эти проблемы уже стали причиной неоправданных затрат или потери производительности.

Разумнее реализовать непрерывное улучшение программы ТОиР в рамках повседневной деятельности. Существуют четыре основных триггера, которые должны инициировать проверку программы ТОиР и ее возможный пересмотр:

- неожиданный отказ оборудования;
- реконструкция оборудования;
- изменения условий эксплуатации или эксплуатационного контекста;
- изменения внешней среды.

Этим триггерам должны отвечать разработанные документированные процессы непрерывного улучшения. Кроме того, должна быть предусмотрена процедура периодического формального пересмотра.

ВЫПОЛНЯТЬ РАБОТУ ПРАВИЛЬНО

Выполнить работу правильно — значит, выполнить ее с первого раза без дефектов и переделок, не теряя времени на выяснения, что нужно сделать, как, когда это можно сделать, какие нужны ресурсы (инструменты, оснастка, запчасти, квалификация персонала), и на поиск и доставку необходимых ресурсов к месту выполнения работ.

По статистике [13] в ремонтной деятельности 30 % времени теряется на транспортировку и перемещения, еще 30–40 % — на задержки, и в итоге время непосредственного выполнения работ зачастую составляет 35–40 %.

Основу правильного выполнения работ формируют стандартные операционные процедуры (СОП). Разработка СОП не так проста, как кажется, и может быть предметом отдельного рассмотрения. А вообще, СОП полезны во многих отношениях. Во-первых, они позволяют отделить знания о техническом обслуживании от конкретного работника и сделать их достоянием компании. Владелец таинственной записной книжки, конечно, будет обеспокоен, что потеряет свой вес, когда его знания станут общими. Избежать конфликта поможет ориентация такого специалиста на оптимизационные задачи, которые часто не формализуемы и имеют более высокий порядок сложности, чем поиск и хранение информации. Во-вторых, СОП создают основу для последующего анализа коренных причин отказов (Root cause analysis, RCA). Без них невозможно уверенно идентифицировать коренную причину отказа, поскольку точно неизвестно, какие именно работы по техническому обслуживанию выполнялись, как и когда. В-третьих, не проведя стандартизацию работ, невозможно будет определить мероприятия по их улучшению. И, кроме того, наличие СОП помогает централизованно внедрять изменения в дизайн работ по ТОиР. Наконец, они создают организационную основу для того, чтобы все необходимые работы по ТОиР были не только выполнены, но и выполнены одинаковым образом разными работниками.

Стандартные операционные процедуры должны быть сердцевинной отлаженной частью процесса управления работами, который включает в себя:

- идентификацию работ (профилактические, реактивные), в том числе их приоритетность;
- объемное планирование (что нужно делать и как, включая необходимые навыки, инструменты, оснастку);
- календарное планирование (когда и кто должен выполнить работу);
- выполнение работы, включая выдачу наряда, инструктаж и саму работу;
- завершение работы (приемка, закрытие наряда, отчеты, записи).

Ключевую роль в этом процессе играют планировщики. Они формируют фактический план-график работ, и от них зависит, какими будут потери времени у исполнителей работ. Непонимание последнего обстоятельства приводит к ошибке. Известен такой показатель эффективности работ — «wrench time», или «инструментальное время». Он показывает процент времени, в течение которого ремонтный персонал занимается собственно ремонтом — крутит гаечный ключ, а не теряет время в перекурах, походах за инструментами или в ожиданиях инструктажа, отключений установок, доставки запчастей. Чем выше этот показатель, тем эффективнее работа.

Но с другой стороны, если ремонтник станет «крутить ключ» медленнее, то он таким способом увеличит этот по-

казатель, поскольку увеличится доля времени на выполнение работы. А реальная эффективность работ при этом упадет. И наоборот, стоит ремонтнику ускориться, как тут же упадет инструментальное время. Трудно придумать что-то более демотивирующее. Иными словами, было бы ошибкой устанавливать исполнителю работ «wrench time» в качестве показателя эффективности.

Другой показатель, который может использоваться — Maintenance Value Rate (MVR), или норма ценности технического обслуживания. Величина MVR определяется через хронометрирование всех рабочих операций ремонтной службы, добавляющих или не добавляющих ценность, путем деления времени добавления ценности на суммарное время. Здесь очевидна аналогия с показателем эффективности потока создания ценности в концепции бережливого производства (отношение времени создания ценности ко времени обработки).

Масштабные натурные исследования компании T.A. Cook [2], проведенные с 2001 по 2012 г. на предприятиях Австрии, Бельгии, Бразилии, Чешской Республики, Германии, Венгрии, Финляндии, Франции, Великобритании, Италии, Нидерландов, Швеции, Словакии и США, показали, что среднее значение MVR составляет всего 55 %, а наилучшая практика находится на уровне 79 %. Это означает, что существует потенциал улучшения до 24 %, что при 8-часовой смене (без перерывов) составляет до 2 ч на каждого работника, занятого в техническом обслуживании. Из 45 % видов деятельности, признанных не приносящими ценности, 84 % — это потерянное время, на которое может повлиять руководство предприятия, т.е. потенциал для оптимизации.

От 30 до 40 % всех потерь связаны с недостатками планирования, поэтому показатели «wrench time» или MVR должны устанавливаться именно планировщикам. К основным недостаткам планирования относятся неясный объем работы и завышение времени, необходимого для выполнения работы, из-за чего бригады заканчивают работу задолго до конца смены и переходят в режим задержки. К существенным потерям времени приводит отсутствие необходимых деталей в описании работы. Неточное планирование приводит к неопределенности момента отключений и допуска к работе, и в итоге их тоже приходится ожидать.

Однако недостаточно просто приказывать планировщикам работать лучше. Обычно на предприятии имеет место замкнутый круг: исполнители работ не используют планы, потому что не видят в них ценности, а планировщики не видят смысла в улучшении планов работ, потому что ремонтники их не используют. При этом у планировщиков, как правило, нет времени на улучшение планов, так как они проводят большую часть своего рабочего времени, отвечая на вопросы ремонтников, не имеющих на месте выполнения работ достаточно детализированных планов. Поэтому улучшение планирования должно начинаться с заявления руководства о том, что детальные планы необходимы, и вовлечения всех участников процесса управления работами в повышение качества планирования.

Техническое обслуживание и ремонт является очень важным видом деятельности по управлению активами, но далеко не единственным. Даже примерный перечень, имеющийся в стандарте ГОСТ Р 55.0.01–2014/ ИСО 55000:2014 «Управление активами. Национальная система стандартов. Общее представление, принципы и терминология», включает 25 видов деятельности. Эф-

фективность активов, в том числе их надежность, в значительной степени зависит от других этапов жизненного цикла актива, таких как проектирование, изготовление, закупка, поставка, монтаж, ввод в эксплуатацию. Ошибки и упущения на этих этапах также увеличивают интенсивность отказов, снижают готовность и производительность, повышают стоимость жизненного цикла актива.

В частности, собственная надежность актива обеспечивается его конструкцией и качеством изготовления. Эксплуатационная надежность обеспечивается правильным монтажом и установкой, включая центровку, балансировку и крепеж, а также научно обоснованной эксплуатацией, правильным и своевременным техническим обслуживанием и ремонтом. В этой связи для эффективного управления активами необходим целостный и всеобъемлющий подход, охватывающий все стадии жизненного цикла, а не только эксплуатацию. Применение принципов и методов БП может рассматриваться и в этом более широком контексте в виде концепции бережливого управления активами.



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Шестопапов, П.С.** Повышение эффективности бизнес-процессов. Менеджмент простоев производственного оборудования/ П.С.Шестопапов// Молочная промышленность. 2014. № 12. С. 16–18.
2. **Maintenance Efficiency Report 2013: International study on development of maintenance efficiency in the process industry.** Berlin: T.A. Cook & Partner Consultants GmbH, 2013. – 15 p.
3. **O'Hanlon, T.** Reliability Goes Nonfat With Lean Maintenance. URL: <https://www.efficientplantmag.com/2002/02/reliability-goes-nonfat-with-lean-maintenance/> (дата обращения 17.05.2021)
4. **Dunn, S.** 5 Questions to Ask Before You Adjust the Frequency of Your Shutdowns. URL: <https://www.assetivity.com.au/article/maintenance-management/5-questions-to-ask-before-you-adjust-the-frequency-of-your-shutdowns.html> (дата обращения 17.05.2021).
5. **Turner, S.** PM Optimisation – Maintenance Analysis of the Future. OMCS International. 2002. – 36 p.
6. **Моубрэй, Д.** Техническое обслуживание, ориентированное на надежность/ Д.Моубрэй; пер. с англ. К.А.Зырянова и В.С.Смирнова; под общей ред. К.А.Зырянова. – Екатеринбург: Зырянов К. А., 2018. – 443 с.
7. **Resnikoff, H.L.** Mathematical aspects of Reliability-Centered Maintenance. Los Altos CA: Dolby Access Press, 1978. – 95 p.
8. **Антоненко, И.Н.** Управление ремонтами и ТО в информационной системе предприятия/ И.Н.Антоненко, И.Э.Крюков// Молочная промышленность. 2009. № 8. С. 24–27.
9. **Антоненко, И.Н.** Об одной надежности задаче и ее решении в информационной системе/ И.Н.Антоненко, М.И.Беляков// Автоматизация в промышленности. 2015. № 8. С. 18–21.
10. **Dunn, S.** Managing Human Error in Maintenance. URL: <https://www.assetivity.com.au/article/maintenance-management/managing-human-error-in-maintenance.html> (дата обращения 17.05.2021).
11. **Антоненко, И.Н.** Надежностно-ориентированное техническое обслуживание// Молочная промышленность. 2020. № 10. С. 15–18.
12. **Economics of Manufacturing Machinery Maintenance. A Survey and Analysis of U.S. Costs and Benefits/Douglas S. Thomas, Brian A. Weiss.** NIST. Adv. Man. Ser. 100-34, – 52 p. (June 2020).
13. **Munson, P.** Planning to Fail? Take Your Maintenance Planning to The Next Level. URL: <https://theramreview.com/planning-to-fail-take-your-maintenance-planning-program-to-the-next-level> (дата обращения 17.05.2021).