



УДК 004.9

© 2021 г. **А.Н. Шендалев**, канд. экон. наук,
О.А. Шендалева, канд. техн. наук
(Омский государственный университет путей сообщения)

ПРИМЕНЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКОГО ПОДХОДА К АЛГОРИТМИЗАЦИИ АНАЛИЗА РИСКОВ МАЛЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

В статье рассматриваются вопросы снижения технологических рисков предприятия. Для решения этой проблемы предложена модель оценки рисков на основе анализа информации о времени и условий эксплуатации технических средств. Разработан алгоритм анализа технологических рисков и сформулированы рекомендации для дальнейшей эксплуатации объекта.

Ключевые слова: модель оценки рисков, алгоритм идентификации рисков состояний, управление рисками.

DOI: 10.22250/isu.2021.69.39-52

Введение

Сложившийся на сегодняшний день подход к эксплуатации промышленного оборудования на малых и средних предприятиях предполагает использование ресурса оборудования в максимально возможном объеме. Данный подход позволяет максимизировать экономический эффект от использования отдельных единиц оборудования. Реализация такого требования фактически приводит к ситуации, когда процессы, значимые для технического состояния производства, такие как планово-предупредительное обслуживание оборудования, узлов и агрегатов, регламентная замена старогодных узлов и деталей технических средств и подобные им, оказываются экономически нецелесообразными и исключаются из перечня производственных процессов [1, 2].

С одной стороны, подобный подход обеспечивает максимальное использование ресурса оборудования и объектов инфраструктуры, а также по-

тенциальное увеличение межремонтных периодов. С другой стороны, наряду с положительными эффектами, имеется еще и ряд потенциально отрицательных вероятностных эффектов:

с течением времени повышается вероятность выхода оборудования из строя непосредственно в ходе эксплуатации и, как следствие, остановки технологического процесса или отдельной его фазы, причем вероятность может повышаться как в условиях эксплуатации технических средств, так и в условиях их консервации;

возможны срыв точности поставок и связанная с этим необходимость увеличения межоперационных запасов;

есть вероятность порчи материалов и комплектующих, находящихся на обработке;

вероятно снижение эксплуатационных характеристик оборудования – таких как точность, мощность и др.

Иначе говоря, практика подобной эксплуатации характеризуется высокой степенью технологических рисков. Поэтому существующий подход обязательно должен быть дополнен процессом идентификации, оценки и анализа технических рисков и разработки планов корректирующих и предупреждающих действий. Данный процесс должен охватывать действия, связанные с оценкой эксплуатационных параметров, учитывать качественные характеристики окружающей среды, состояние оборудования, периодичность его обслуживания и иные параметры, обуславливающие возникновение риска отказа технического средства, расчет значений рисков по конкретным объектам и генерацию рекомендаций по дальнейшей эксплуатации технических средств.

Важно отметить, что данный процесс необходимо осуществлять в режиме реального времени [3, 4]. Говоря иначе, для надлежащей эксплуатации технических средств в сложившейся практике организации производства необходим алгоритм оценки рисков, который может быть воплощен в виде программного средства.

В связи с вышесказанным разработка модели и алгоритма описания и оценки технологических рисков адаптированной для возможностей малых промышленных предприятий, является актуальной задачей. Целью данной статьи является разработка алгоритма оценки рисков эксплуатации промышленного оборудования. Новизна предложенного алгоритма заключается в одновременном использовании экспертных оценок и количественных значений, учитывающих сроки и интенсивность эксплуатации технических средств, не требующих высокотратной системы учета и анализа.

1. Идентификация рисков технических средств

Моделирование процессов эксплуатации технических средств широко рассматривается в современной литературе как основной способ определения эксплуатационных параметров, предпочтительных режимов эксплуатации и технического обслуживания, включая интервалы планово-предупредительных ремонтов, а также установления параметров предельных режимов эксплуатации. На основе результатов моделирования разрабатываются прикладные алгоритмы эксплуатации технических средств, том числе при наступлении рисков событий. Вопросам моделирования технологических процессов посвящен ряд статей [5 – 7], в которых разработаны математические модели высокой степени точности и детализации для различных отраслей и видов деятельности.

В данных работах анализируется не только функционирование объектов в проектных параметрах [5], но и эксплуатация технических средств при наступлении неблагоприятных внешних условий [7, 8], использовании режимов эксплуатации не соответствующих паспортным значениям, что позволяет объективно оценивать риски наступления неблагоприятных событий, и, как следствие, планировать корректирующие и предупреждающие действия, направленные на обеспечение бесперебойного функционирования технических средств организации. Однако данные модели основываются на сочетании программных, обновляющихся в режиме реального времени, с использованием корпоративных баз данных и аппаратных комплексов диагностики подвижного состава и технических средств. Примером реализации такой модели являются системы, использованные в ОАО «РЖД», РАО «ЕЭС России» и др. [9]. Также мониторинг открытых источников показал наличие систем управления рисками на базе имитационных моделей в ряде крупных компаний – таких как ПАО «Роснефть», «Норникель» и др., причем стоимость этих систем оценивается в десятки миллионов рублей. Более того, при использовании систем планирования и управления рисками используется широкий спектр факторов, воздействующих на структурные подразделения вертикально-интегрированных компаний, расположенных в разных географических, урбанистических, климатических и иных условиях.

Однако использование таких моделей и алгоритмов на их основе в условиях малых предприятий является экономически необоснованным, в силу высоких затрат на создание, поддержание и актуализацию программно-аппаратных комплексов. Связано это с сочетанием большого количества факторов, влияющих на проявление риска, и сравнительно малого числа устройств, подверженных этим рискам. Также малые предприятия исполь-

зуют преимущественно универсальное оборудование, эксплуатируемое до отказного состояния, что затрудняет выбор значений нормального режима эксплуатации и моментов наступления риска. Наконец, проявление технологических рисков для крупной компании не означает остановку деятельности или наступление финансового кризиса, в то время как для малых предприятий технологический риск неразрывно связан с кризисным состоянием. Следовательно, применяемые системы анализа и прогнозирования риска являются избыточными для малых и средних промышленных предприятий.

Статистический анализ понятия технологического риска как категории оценки технического состояния имеет ряд существенных особенностей, которые необходимо учесть при разработке модели оценки риска [10, 11]:

1) риск является прямым следствием эксплуатации, а также неблагоприятных событий, возникающих в процессе эксплуатации технического средства на промышленном предприятии. Превышение сроков бесперебойной работы, воздействие на риск неблагоприятных факторов приводит к увеличению риска;

2) реализация алгоритма оценки риска не предполагает одномоментную оценку. Алгоритм имеет характер циклического повторения, где полученные результаты меняются во времени;

3) данный алгоритм не распространяется на стохастические риски – такие как форс-мажор, а также не риски экономической природы.

Исходя из особенностей, указанных выше, идентификация и анализ рисков основываются на актуализации сведений об условиях и интенсивности эксплуатации технических средств. Данные этой базы всегда должны поддерживаться в актуальном состоянии и обновляться. На основе оценок технического состояния объекта проводится его идентификация, т.е. определяется принадлежность к одному из классов риска, а затем по заданному алгоритму оцениваются все риски.

Результатом реализации и использования модели оценки рисков является:

идентификация рисков средства на основе сравнения условий эксплуатации объекта с соответствующими объекту требованиями безопасности;

уточнение информации об основных опасностях;

разработка рекомендаций по обоснованию или изменению нормативных требований, по вопросам лицензирования, определения частоты проверок состояния объекта и его безопасности;

совершенствование руководств по эксплуатации и техническому об-

служиванию, планов локализации опасностей;

оценка эффекта изменений в организационной структуре, способах практической работы и в техническом обслуживании в отношении показателей безопасности.

При идентификации рисков промышленного оборудования следует рассматривать обобщенную временную модель динамики уровня риска отказа технического средства. Авторы предложили временную графическую модель, приведенную на рис. 1.

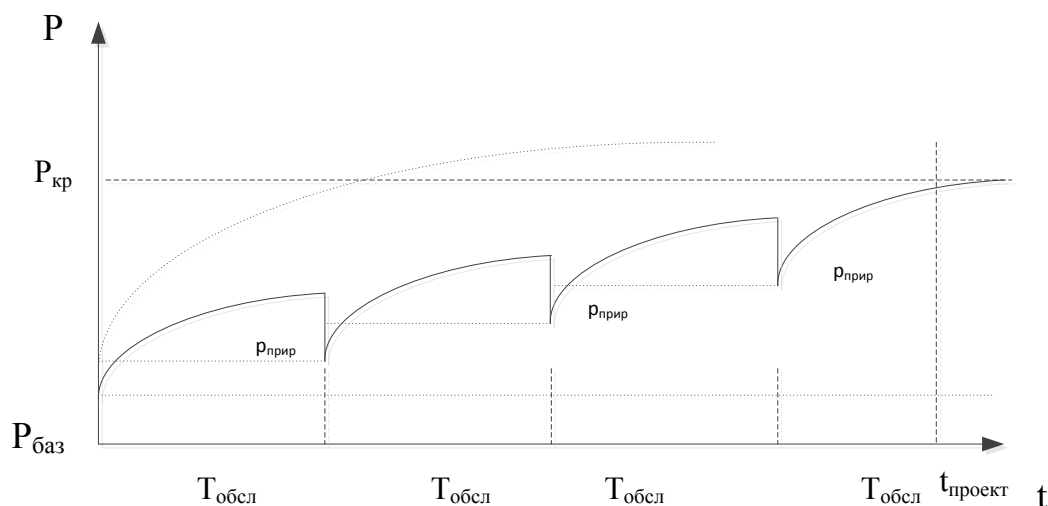


Рис. 1. Динамика технологического риска в процессе эксплуатации технического средства.

По оси абсцисс на рисунке отложена временная ось, характеризующая срок службы единицы оборудования. По оси ординат отложена вероятность наступления рискованного события с неким $P_{кр}$ – вероятностным значением отказа технического средства, которое принимается за недопустимое и при котором обязательна реализация корректирующих и предупреждающих действий. Для каждой введенной единицы оборудования существует значение $P_{баз}$, которое характеризует наступление рискованного события в силу форс-мажорных обстоятельств, а также нарушения режимов эксплуатации. Данная величина является фактически неизменной в течение всего срока эксплуатации. По мере эксплуатации технического средства происходит постепенное накопление износа, что выражается в виде нарастания вероятности наступления риска в форме логарифмической зависимости. Техническое обслуживание и ремонт позволяют снизить данную вероятность до значения $(P_{баз} + P_{прир})$. Значение $P_{прир}$ характеризует увеличение вероятности отказа технического средства в силу естественного износа узлов и деталей. В случае нарушения режимов технического обслуживания и ремонта общая зависимость сокращается [12], однако динамика увеличения отказа вероятности технического средства ускоряется, что отражено на рисунке в виде зависимости, пе-

ресекающей со значением $P_{кр}$ много раньше значения $t_{проект}$.

Конкретные значения вероятностей, зависят от исследуемой единицы оборудования. Анализируя статистические зависимости срока службы и вероятности появления отказа по множеству однотипных единиц оборудования, с заданной доверительной вероятностью можно сформировать гистограмму распределения рисков значений по времени в каждой группе оборудования.

2. Алгоритм идентификации технических средств

Учитывая приведенные особенности статистического анализа риска и представленной динамики кривой вероятности его проявления, можно представить алгоритм идентификации рисков технических средств в виде, приведенном на рис. 2.

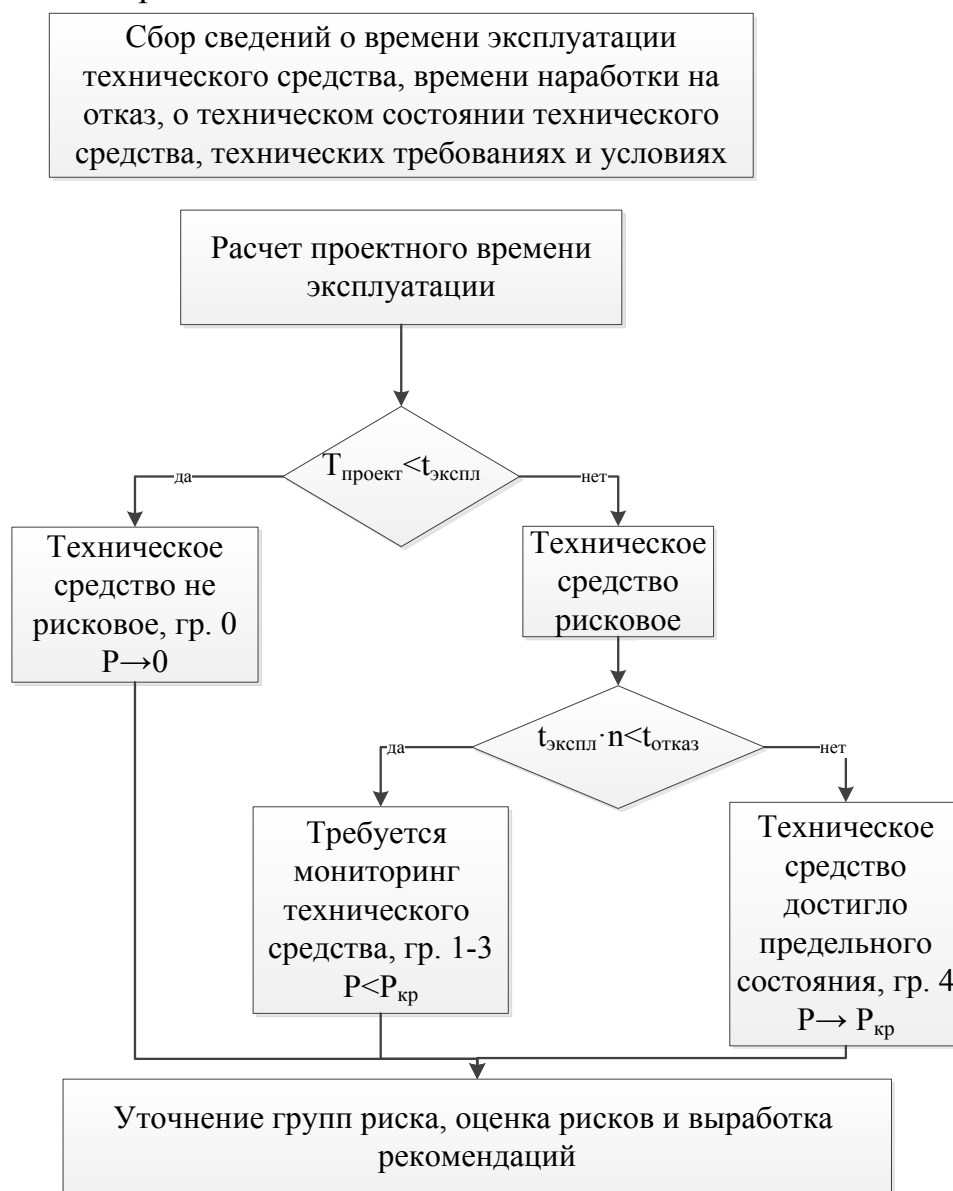


Рис. 2. Алгоритм идентификации рисков технических средств.

Данный алгоритм в разрезе обобщенных данных технического обслуживания и ремонта получен на основании анализа технического состояния малых предприятий Омского региона. Использование этого алгоритма позволяет выделить рискованные группы технических средств.

В качестве оборудования первой группы рассматриваются полностью годные технические средства, вторая группа включает оборудование, прошедшее систематическое техническое обслуживание. Третья группа – это оборудование, в эксплуатации которого уже происходили внеплановые отказы, либо оборудование со сверхнормативными сроками технического обслуживания. Четвертая группа – оборудование в истории эксплуатации которого имеются сведения о систематических отказах либо о явной неисправности отдельных узлов.

Набор исходных данных для реализации модели формируется по видам технических средств и представляет собой систематически обновляемую базу данных о режимах эксплуатации оборудования. Вид базы данных приведен в табл. 1.

Таблица 1

Наименование технического средства	Нормативный срок службы	Фактический срок службы	Продолжительность эксплуатации до текущего нормативного ремонта				Запас прочности
			Вид ремонта 1		Вид ремонта 2		
			норма	Факт.	норма	факт.	

Однако не следует забывать, что, помимо соблюдения/несоблюдения графика технического обслуживания и ремонта, на техническую готовность (безрисковость) технического средства влияют еще параметры, связанные с:

- а) продолжительностью ремонта;
- б) видами осуществляемых работ на единице оборудования;
- в) наличие/отсутствие ограничений в эксплуатации, связанных с обслуживанием в предыдущие периоды;
- г) наличие плановых и внеплановых ремонтов, остановок для обслуживания;
- д) квалификацией работников.

Поэтому целесообразно алгоритм, приведенный в [17], дополнить следующим набором действий (рис. 3).

На взгляд авторов, одно нарушение, связанное с изменением эксплуатации технического оборудования, является основанием для детального мониторинга. Причем, как показывает практика, наличие многократных отклонений в эксплуатации требует введения технологических ограничений, обеспечивающих нормальную эксплуатацию технического средства.

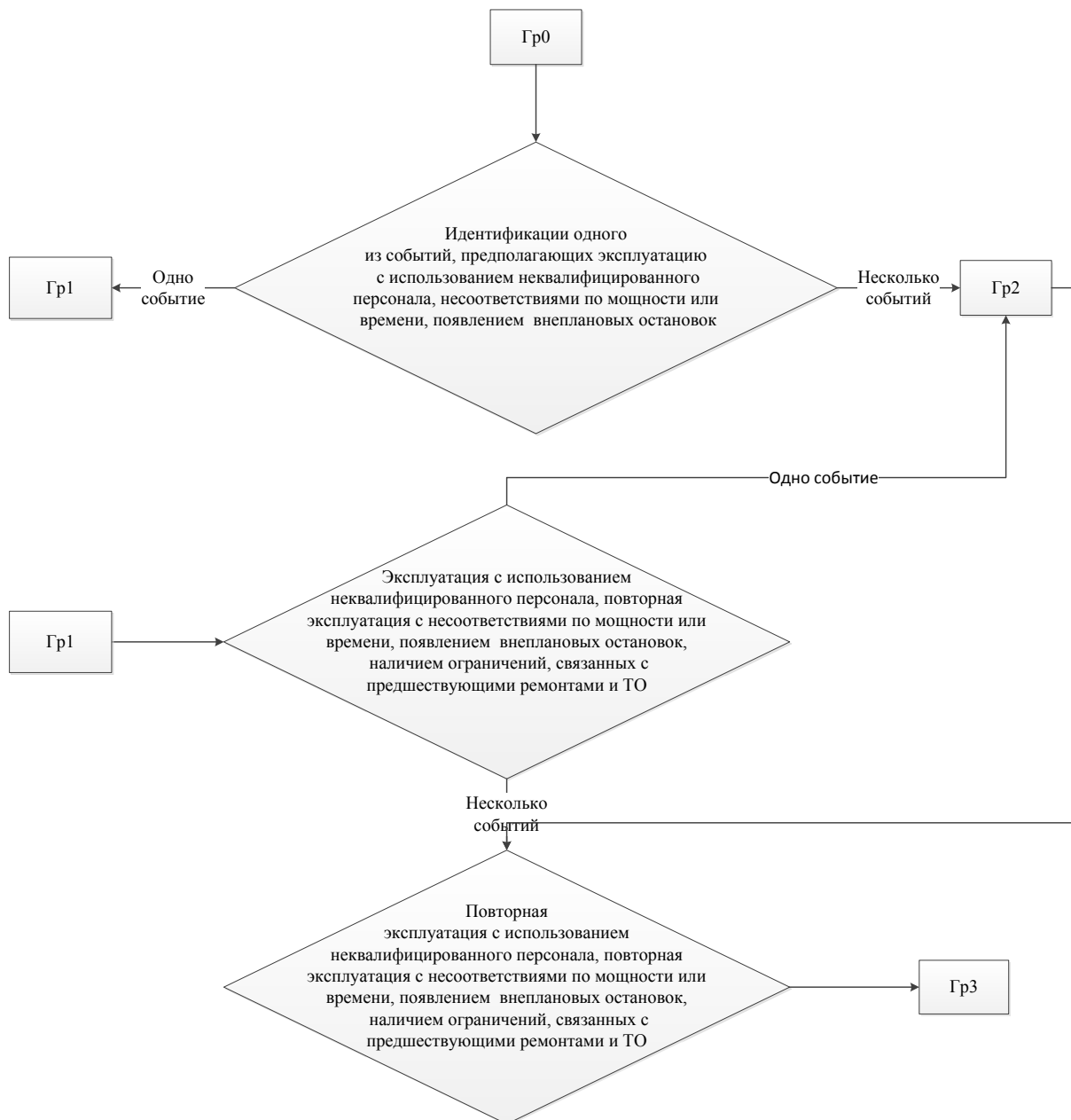


Рис. 3. Алгоритм учета факторов эксплуатации.

3. Определение основных показателей рисков технических средств на основе статистического подхода

Оценка нормативного времени эксплуатации нового оборудования определяется как нормативно установленное значение срока службы технического средства (по видам технических средств). Нормативное время эксплуатации для объектов, чей срок службы превысил свою норму, можно определить исходя их имеющихся статистических данных о времени работы до отказа

$$t_{\text{проект}} = \frac{t_{\text{отказ}}}{k}, \quad (1)$$

где $t_{\text{проект}}$ – нормативное время эксплуатации до условного предельного со-

стояния технического средства; $t_{отказ}$ – среднее время межотказного периода; k – коэффициент запаса.

Значение $t_{отказ}$ определяется эмпирически на базе статистики организации, эксплуатирующей технические средств, либо основываясь на положениях нормативной документации (ГОСТ 21354-87, РД 10-249-98 и др.). Проводимый на базе предприятий региона анализ показал, что коэффициент запаса k следует принимать в диапазоне [1,1 ; 1,3]. Значение коэффициента определяется опытным путем и зависит от количества внеплановых ремонтов, проведенных для данного типа оборудования. В случаях, если проводились только плановые ремонты, рекомендуется принимать $k = 1,1$. Для технических средств, которые ремонтировались неоднократно, а стоимость внеплановых ремонтов была значительной, показатель коэффициента запаса будет максимальным.

Время межотказного периода фиксируется по типам отказов и характеризует время прохождения между двумя типами отказов. В случае, если техническое средство новое и ранее отказов не наблюдалось, значение $t_{отказ}$ следует принять как фактическое время эксплуатации. Также нужно учитывать, что под отказами понимается событие, приведшее к остановке технологического процесса либо существенному падению мощности.

Для идентификации технических средств, которые могут достичь условного предельного состояния, следует воспользоваться формулой:

$$P = \frac{t_{экспл}}{t_{проект} \cdot n}, \quad (2)$$

где P – вероятность достижения условного предельного состояния; $t_{экспл}$ – фактическое время эксплуатации; $t_{проект}$ – нормативное время эксплуатации; n – запас прочности.

Значение запаса прочности определяется либо на базе нормативной документации, упоминавшийся выше, либо на базе опытно-статистических данных. Условно, для промышленных предприятий значение n можно принять в интервале 2-10. Значение запаса прочности зависит от множества факторов – от надежности, заложенной при его проектировании, условий эксплуатации, от настоящего технического состояния и др.

Некоторую сложность для расчета будут представлять технические средства, исчерпавшие свой нормативный срок эксплуатации. Проблема заключается в том (руководствуясь приведенными формулами), что данные технические средства будут гарантированно рассматриваться как рискованные. Авторы предлагают в таком случае руководствоваться подходом, когда для технических средств, находящихся в удовлетворительном техническом

состоянии, нормативный срок эксплуатации определяется на базе остаточного ресурса. Значение вероятности отказа для подобных технических средств следует представить в виде:

$$P_{отк} = \frac{t_{экспл}}{t_{проект} \cdot n} \cdot \frac{t_{отказ.ср}}{t_{отказ.факт}}, \quad (3)$$

где $t_{отказ.факт}$ – фактическое время отказа; $t_{отказ.ср}$ – среднее время отказа по данному типу технических средств и виду отказа.

Полученное значение вероятности отказа необходимо сравнить с критическим уровнем $P_{кр}$, значение которого устанавливается руководством организации на первоначальном этапе эксплуатации системы управления риском, а по мере накопления статистических данных – на основании результатов предшествующего периода. Проведя мониторинг [2, 7 – 9], авторы делают вывод, что критическое значение должно находиться в интервале 3-5%.

Реализация подобного алгоритма позволяет сформировать укрупненные группы оборудования и сформулировать текущие оценки риска. Для разработки корректирующих и предупреждающих действий необходимо анализировать временную динамику. Для этого распределение рисков следует рассматривать с точки зрения изменений. На основании проведенного исследования, авторы делают вывод, что функционирование технических средств без воздействия случайных событий (существенно изменяющих картину рисков) не меняет существенно форму распределения. Случайные события при их значимости должны изменить форму распределения, как следствие форма распределения должна поменяться либо произойти значимое смещение. На основании сопоставления характеристик распределения с табличными значениями можно будет оценить обоснованность изменения оценок риска.

Предлагаемый алгоритм модели идентификации рисков позволяет отсеять нерискованные технические средства, а также в зависимости от эксплуатационного состояния технических средств разделять объекты на рискованные и нерискованные (нуждающиеся в мониторинге либо допущенные к эксплуатации и/или хранению без ограничений).

Для выработки рекомендаций, помимо оценки значения риска, нужно определить критичность рисков. Необходимость данного действия вызвана потребностью формирования плана реагирования на возможные риски.

Для оценки убытков предлагается использовать шкалу идентификации последствий рисков технических средств (табл. 2).

Таблица 2

Уровень последствий	Значение коэффициента тяжести	Последствия по видам риска
Катастрофический	20 – 16	Гибель одного или более человек или тяжкие телесные повреждения 5 или более человек, связанных с функционированием технического средства предприятия; оборудование повреждено до степени исключения из инвентарного парка; нанесен критический ущерб объекту инфраструктуры.
Критический	15 – 11	Тяжкие телесные повреждения до 5 человек связанные с функционированием технического средства предприятия; повреждение оборудования, требующее проведения капитального ремонта для восстановления его работоспособности; ущерб объекту инфраструктуры существенного значения; потеря партии продукции, срыв поставки продукции.
Несущественный	10 – 6	Вред средней тяжести, нанесенный здоровью сотрудника; повреждение оборудования предприятия, требующее проведения регламентного ремонта для восстановления его работоспособности; ущерб объекту ведомого значения; срыв сроков поставок.
Незначительный	5 – 1	Легкий вред здоровью сотрудника; повреждение оборудования предприятия, требующее проведение текущего ремонта для восстановления его работоспособности; незначительный ущерб объекту инфраструктуры.

Значение каждой категории риска устанавливается организацией на основании экспертных оценок применительно к собственному предприятию. Например, для методик анализа рисков, применяемых в ОАО «РЖД», в качестве критичного значения принята величина в 5000 МРОТ, для незначительного риска – величина менее 500 МРОТ.

Ориентировочные значения для данной шкалы могут быть определены на основании экстраполяционного анализа статистических данных. Так, используя статистические данные за 2019 г., и экстраполируя приведенные для РЖД значения на малые и средние предприятия, можно предположить, что критическим для малого предприятия будет значение ущерба от 200 МРОТ, а незначительным – менее 20 МРОТ.

Предлагаемый алгоритм анализа второго блока и разработки рекомендаций отражен на рис. 4.

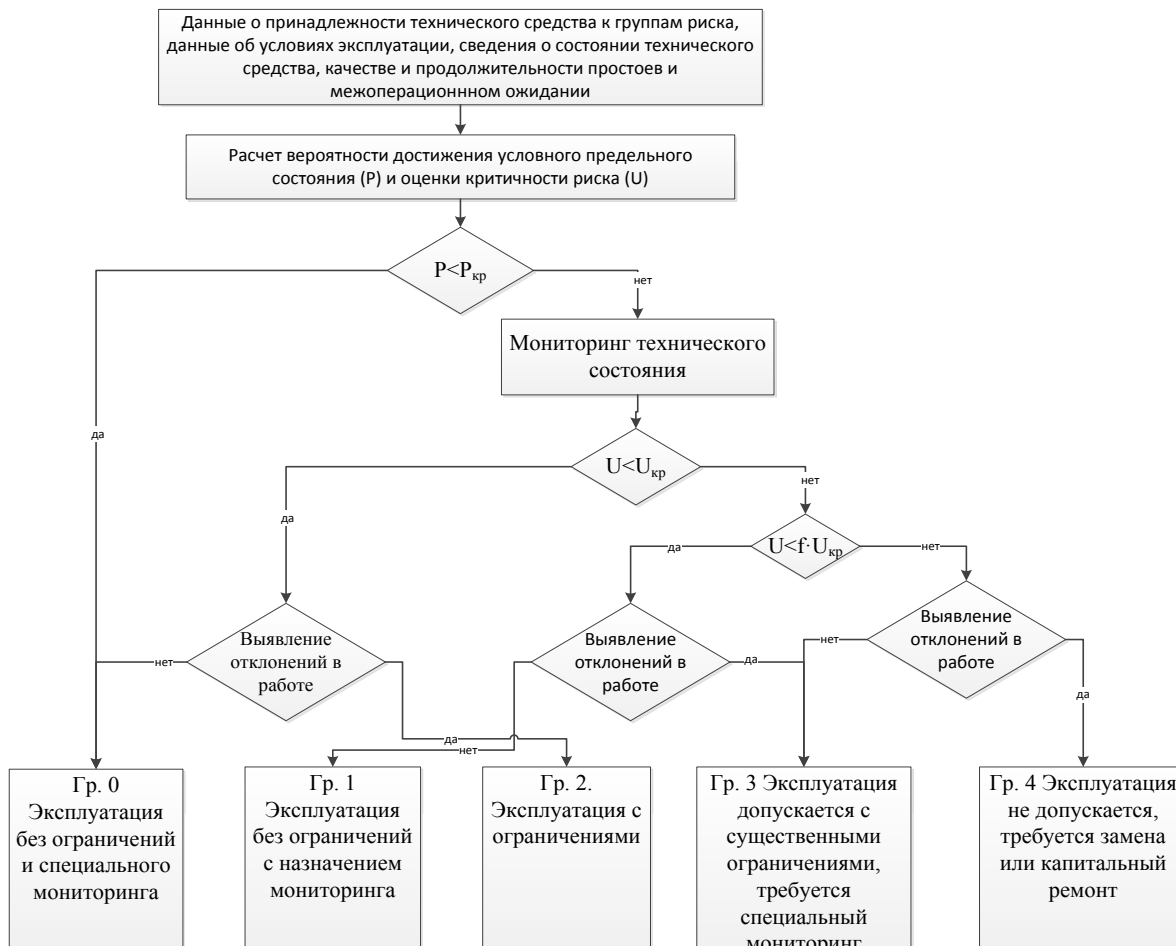


Рис. 4. Алгоритм анализа риска и выработки рекомендаций.

Основной задачей анализа технических средств выступает оценка критичности рискового оборудования и технических устройств. Оценка критичности U ведется по формуле:

$$U = \frac{t_{\text{экспл}} \cdot K_u \cdot Z}{t_{\text{проект}} \cdot n}, \quad (4)$$

где K_u – коэффициент учета тяжести последствий отказа технического средства; Z – суммарные затраты на создание технического средства, включая внереализационные затраты, а также затраты на подготовительно-заключительные работы.

Значение K_u может находиться в интервале от 1 до 20 и назначается исходя из критичности событий (табл. 1).

Таким образом, предприятие имеет возможность разработки комплекса мероприятий по своевременному реагированию на изменение состояния объектов. Меры по минимизации ущербов следует подразделять на действия, направленные на уменьшение экономических, социальных и экологических ущербов.

В основе практических мер по снижению ущерба от потенциальных аварий лежат конкретные превентивные мероприятия научного, инженерно-

технического и технологического характера, осуществляемые для парирования природных и техногенных опасностей [4, 12].

Мероприятия по снижению ущербов определяются спецификой технического средства. Однако указанные мероприятия имеют общие научные, инженерно-конструкторские, технологические основы, служащие методической базой для снижения ущербов. В качестве примеров таких мер, могут быть: совершенствование технологических процессов; повышение надежности технологического оборудования и эксплуатационной надежности в целом; своевременное обновление основных фондов и пр.

Заключение

Предлагаемая модель предполагает систематическое повторение процессов идентификации рисков, последующего анализа полученных данных и разработки корректирующих и предупреждающих мероприятий. Значения вероятности наступления событий, параметры надежности и другие элементы информационной модели идентификации и оценки риска за прошедшие периоды могут быть использованы в качестве базовых для последующих периодов. Использование модели описания и оценки технологических рисков промышленного предприятия позволяет управлять рисками на основе их оценки и обоснованно регулировать фактический срок эксплуатации технических средств. Кроме того, использование предложенной информационной модели дает возможность установить приоритеты в организации ремонта технических средств, в том числе и оборудования, относящегося к группе старогодных технических средств.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Freudenburg W.R.* Perceived risk, real risk: social science and the art of probabilistic risk assessment // *Science*. – 1988. – №4875. – P. 44-49.
2. *Хазиева А.Т., Хайруллина А.Д.* Управление производственными рисками промышленного предприятия // *Электронный научный журнал*. – 2016. – № 10-3 (13). – С. 188-192.
3. *Кунин В.А.* Управление рисками промышленного предпринимательства (теория, методология, практика. – СПб.: Изд-во СПбАУЭ, 2011.
4. *Bilal M. Ayyub* Risk Analysis in Engineering and Economics. – A Chapman & Hall Book, 2014.
5. *Орлова Е.В.* Имитационное моделирование и управление рисками автотранспортного предприятия // *Проблемы анализа риска*. – 2018. – № 5. – С. 46-55.
6. *Детина Е.П., Ермак И.С.* Моделирование системного подхода к управлению технологическими и эксплуатационными рисками на объектах производства и распределения газа // *Естественные и технические науки*. – 2019. – №3. – С. 152-157.

7. *Степин Ю.П., Бледных Е.Н.* Системное моделирование, оптимизация, оценка и анализ рисков и эффективности функционирования нефтегазовых производственных систем // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. – 2020. – № 4. – С. 26-34.
8. *Гапанович В.А.* Система управления рисками крупных компаний. Практика оценки рисков в ОАО «РЖД» и направление развития // Проблемы анализа риска. – 2018. – №2(15). – С. 23-36.
9. *Магомедова Н.Ф., Эминова Э.М.* Формирование системы управления рисками на предприятиях АПК на современном этапе развития экономики // Региональные проблемы преобразования экономики. – 2020. – № 10. – С. 12-19.
10. *Махметова А.Е.* Оценка рисков в управлении качеством продукции на промышленных предприятиях // Экономика в промышленности. – 2017. – №2. – С. 147-152.
11. *Шендалев А.Н., Шендалева О.А.* Модель оценки технологических рисков предприятия // Вестник НГУ. Серия. «Информационные технологии». – 2020. – Т.18, №2. – С.76-87.
12. *Бадалова А.Г., Пановский В.Н.* Управление рисками при реализации проектов технического перевооружения промышленных предприятий // Вестник МГТУ Станкин. – 2015. – № 1 (32). – С. 117-124.

Статья представлена к публикации членом редколлегии Е.А. Шеленком.

E-mail:

Шендалев Александр Николаевич – shendalev@mail.ru;

Шендалева Ольга Анатольевна – oa_shendaleva@mail.ru.