

УДК 05.02.22

**МЕТОДИКА ОЦЕНКИ РИСКОВ ПРОЦЕССА НАЛАДКИ
ОБОРУДОВАНИЯ В МЕЛКОСЕРИЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ**

© 2024 Е.А. Колеганова, А.И. Хаймович, А.М. Ковалева

Самарский национальный исследовательский университет имени академика
С.П. Королева, г. Самара, Россия

Статья поступила в редакцию 17.05.2024

В статье предложена методика оценки рисков процесса наладки металлообрабатывающего оборудования на высокотехнологичном мелкосерийном производстве. Риски отклонений от регламента наладки, влияющие на время подготовки к выполнению технологической операции, оценивались с помощью цепей Маркова. Методика позволяет определить вероятностные коэффициенты доступности системы, дефицита производительности, отказов и надежности системы. Разработана программа, позволяющая автоматизировать эти расчеты.

Ключевые слова: система управления рисками, цепи Маркова, наладка, доступность системы.

DOI: 10.37313/1990-5378-2024-26-4-57-66

EDN: CQKOTP

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-19-00765,
<https://rscf.ru/project/24-19-00765/>*

ПРОБЛЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ

Производство в аэрокосмической отрасли характеризуется широким ассортиментом деталей в относительно небольших количествах, что ведет к частой смене изготавливаемых деталей, высокой трудоемкостью, повышенными требованиями к готовому изделию при ограниченном бюджете.

Для такого типа производства существенно влияние внешних и внутренних факторов, порождающих неопределенность, которая связана с организацией новых технологических процессов в изменяющихся условиях. Неопределенность в параметрах производственных процессов, в требуемых характеристиках качества деталей, трудозатратах могут привести к значительным финансовым потерям и задержкам в сроках выполнения заказа, если нет адекватной оценки рисков и плана реагирования. Часто в связи с большим количеством переналадок и слабо прогнозируемым временем наладки оборудование бывает недоступно для начала операции, что срывает сроки ее выполнения. В этой связи разработка системы управления рисками с учетом специфики мелкосерийного производства становится насущной задачей для повышения эффективности производства. Для оценки

рисков на производствах часто привлекаются эксперты. Однако практика показала, что их оценка не всегда адекватна и зависит от опыта и квалификации эксперта. В контексте решения этой проблемы ставится задача автоматизации анализа статистических данных для оказания помощи в работе эксперта и, в частности, определении доступности оборудования в условиях постоянных переналадок

Если обратиться к известным практикам, то для массового и крупносерийного производства разработаны такие стандарты управления, методы и подходы, как бережливое производство [1], теория ограничений Голдрата [2], система управления POLCA [3], Кайдзен и т.д. [4-6], часть принципов которых можно применить также для мелкосерийного и единичного производства. Однако общая методология по снижению неопределенности, системы управления рисками для таких производств на данный момент времени отсутствует. Поскольку переналадка на массовом и крупносерийном производствах занимает малую долю времени производственного цикла, в исследованиях она подробно не рассматривается, в том числе для мелкосерийного производства эта проблема является актуальной.

Для эффективной оценки рисков в мелкосерийном производстве аэрокосмической отрасли необходимо разработать специализированные инструменты и методики управления. Анализ возможных сценариев рисков, определение стратегий и мероприятий по их снижению помогут минимизировать возможные убытки и обеспечить стабильность производственного

*Колеганова Екатерина Александровна, аспирант.
E-mail: koleganova.e@yandex.ru*

Хаймович Александр Исаакович, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой технологий производства двигателей. E-mail: berill_satara@bk.ru

*Ковалева Анастасия Михайловна, аспирант.
E-mail: kovaleva.am@ssau.ru*

процесса. Поэтому дальнейшее исследование в этой области позволит развить эффективные инструменты и подходы к управлению рисками в мелкосерийном производстве в аэрокосмической отрасли.

Цель исследования - разработка методики для вероятностной оценки готовности оборудования к производственному процессу при запуске нового изделия.

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ РИСКАМИ

Процесс реализации технологической операции можно разделить на этапы с целью анализа рисков каждого этапа.

К этим этапам относятся:

-организационный этап – комплекс работ и процессов, которые направлены на подготовку к

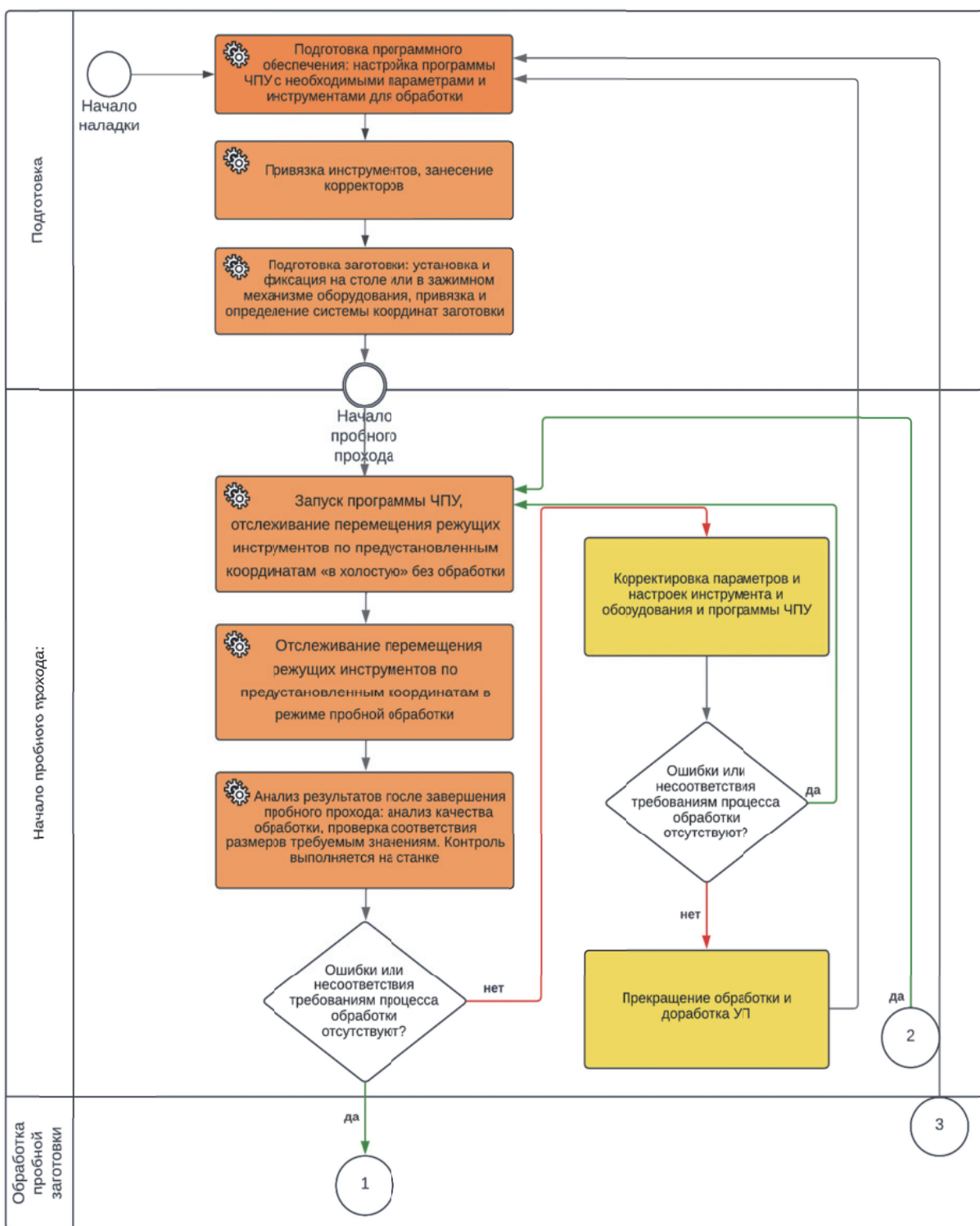


Рисунок 1 – BPMN нотация процесса наладки. Начало

следующим этапам, включая подготовку производственного процесса, техническое обслуживание, материально-техническое обеспечение, организацию оплаты труда и прочее;

- непосредственная подготовка к выполнению технологической операции (наладка) - комплекс работ и мероприятий по настройке, проверке и тестированию оборудования;

- выполнение технологической операции на оборудовании, связанное с реализацией основных, вспомогательных процессов для создания готового изделия. [7]

Для новых деталей мелкосерийного и единичного производства наиболее существенные риски связаны с этапом наладки.

В целом система управления рисками включает идентификацию, оценку рисков, планирование и осуществление реагирования [8-10]. Подход к идентификации и количественной оценке организационных рисков с помощью графоаналитического метода подробно описан в статье [11].

Далее излагается методика оценки рисков этапа наладки. Регламент наладки оборудования на выполнение технологической

операции в формате BPMN представлен на рисунках 1 и 2.

Обычно на производстве наладка оборудования представляет собой регламентированный процесс. Вместе с тем ввиду воздействия внешних и внутренних факторов, связанных с новизной объекта наладки, возникают риски несоответствия фактического процесса наладки регламентированному. Такие риски возникают с определенной интенсивностью и на реагирование на них необходимо затратить время. Этот факт необходимо учитывать при расчете общего времени на наладку. Однако, если заложить слишком большой запас времени на реагирование, производство перестает быть эффективным. В этой связи возникает потребность в расчете оптимального запаса времени реагирования на риски в процессе наладки для условий единичного или мелкосерийного производства.

Проблему анализа рисков на производстве исследовали такие авторы как Титоренко Е.Ю., Ермолаева Е.О., Сурков И.В., Трофимова Н.Б., Трофимов И.Е., Джонсон Дж., Монтгомери Д., Рэй Т., Чжан Янь, Ли Синъюн, Болдин А. И., Гуревич С. Г. И другие.

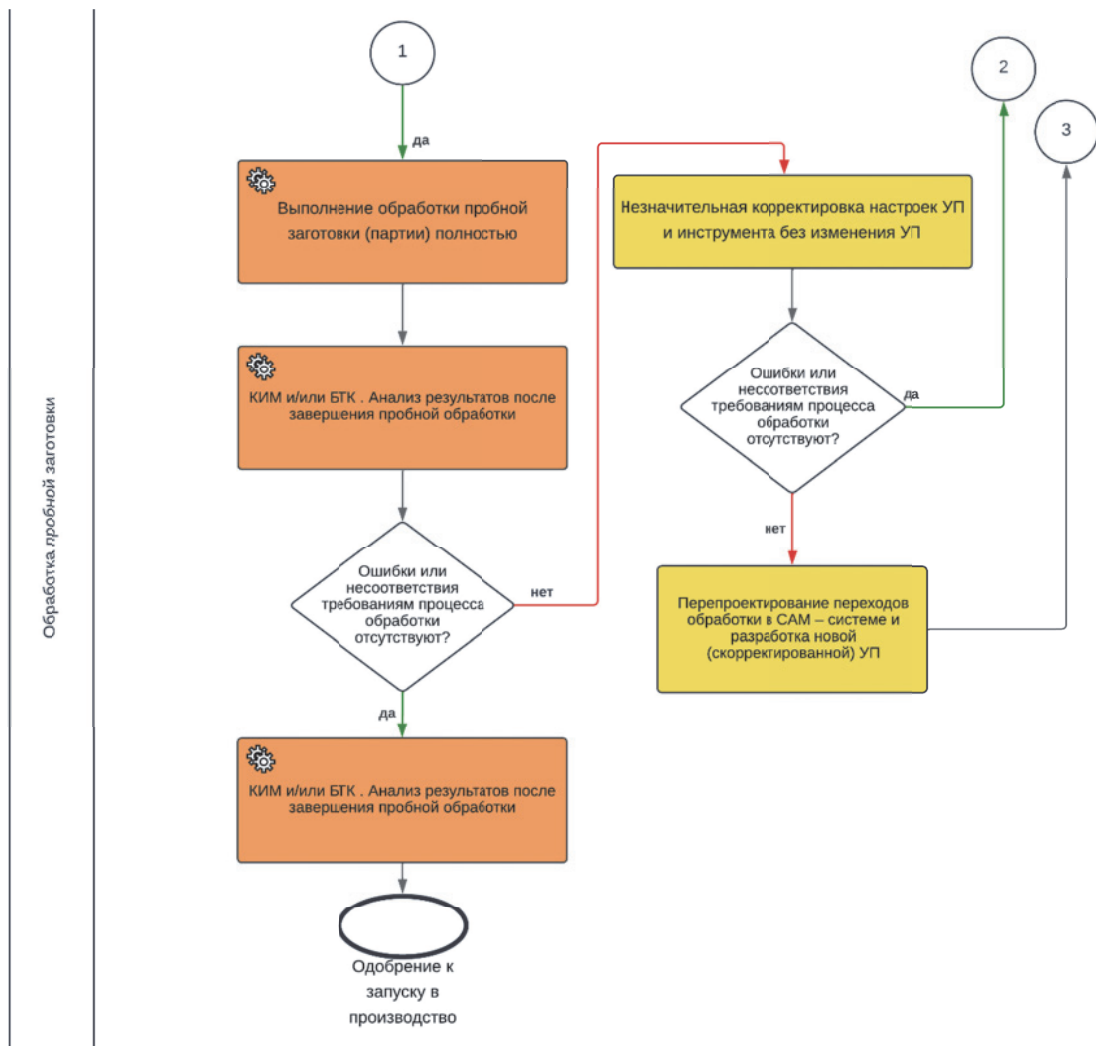


Рисунок 2 – BPMN нотация процесса наладки. Продолжение

В работе [12] рассматриваются основные методы и подходы к анализу рисков на производстве. В статье [13] подробно описывается методика проведения анализа рисков на производственных предприятиях и приведены мероприятия, направленные на улучшение эффективности системы управления рисками. Автор подчеркивает важность использования математических моделей и статистических методов для оценки рисков и принятия обоснованных решений на этапе планирования и управления производством. В [14] рассматриваются методы анализа риска на производстве автомобильных зеркал. Для металлургического предприятия анализ рисков произведен в работе [15] Цепи Маркова для оценки рисков страховых компаний применила Козьминых О.В. в [16]. В [17] исследуется применение метода Монте-Карло для анализа рисков в производстве по индивидуальному заказу, что позволяет моделировать и предсказывать потенциальные риски и их последствия.

Каждый материализованный риск порождает определенное состояние производства. Состояние производства характеризуется наступлением событий, которые делятся на регламентированные и нежелательные. Нежелательное событие является следствием реализации риска несоответствия установленному регламенту процесса. События имеют дискретный характер, переходы между событиями занимают продолжительное время.

Состояния производств между собой связаны только переходами, предыдущее состояние системы не влияет на текущее. Исходя из этого, предлагаем использовать для анализа и расчета рисков неоднородную марковскую модель вознаграждения с временными рядами. В данном подходе для нахождения каждого необходимого показателя рассчитывается отдельная матрица вознаграждений. [18]

ОЦЕНКА РИСКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦЕПЕЙ МАРКОВА

Во время наладки возникают следующие риски несоответствия согласно регламентированному процессу (рисунки 1-2):

1. Необходимость корректировки параметров и настроек инструмента.
2. Необходимость корректировки параметров и настроек оборудования.
3. Необходимость корректировки параметров и настроек управляющей программы (УП).
4. Прекращение процесса обработки для дообработки управляющей программы (УП).
5. Незначительная корректировка настроек УП и инструмента без изменения УП.
6. Необходимость перепроектирования переходов обработки в САМ – системе.

7. Необходимость разработки новой УП.

8. Необходимость повторного изготовления пробной детали.

0. Идеальное состояние.

Риски несоответствия регламентированному процессу независимы относительно друг друга и относительно своих прежних проявлений. Интенсивность их проявления λ_{ij} задана как постоянная величина экспертным методом и может быть в дальнейшем скорректирована при получении статистики по результатам выполнения технологической операции.

$$\lambda(t) = at^b.$$

Доля времени, необходимого на устранение риска, относительно общего времени наладки μ_i определяется экспертами по производству и корректируется согласно результатам статистического анализа. Для того, чтобы учесть случаи наладки деталей с похожими характеристиками или аналогичных деталей обработанным ранее на этом производстве, скорректируем значение доли времени, необходимого на устранение риска, относительно общего времени наладки μ_i с помощью кривой научения Ферхюльста [19], с помощью которой можно учесть рост компетенций рабочего-наладчика по мере накопления опыта наладки.

Скорости перехода a_{ij} между состояниями i и j ($i, j = 0, 1, 2, \dots, n$) могут быть выражены через соответствующую частоту проявления рисков несоответствия регламентированному процессу λ_{ij} и долю времени на их устранение μ_i системы.

Следовательно, можно представить систему связей производственных рисков на этапе наладки в форме цепи Маркова с изменяющимися во времени интенсивностями переходов между состояниями производственной системы. Обозначим идеальное состояние через 0. Далее условимся, что если нежелательное событие, связанное с рисками его возникновения произошло, то это событие вызывает соответствующее состояние производства с идентичным риску номером. Например, необходимость разработки новой управляющей программы вызывает 7 состояние производства.

Модель Маркова перехода состояний производства представлена на рисунке 2.

Возможные переходы между состояниями производства представлены в таблице 1.

Следовательно, матрица интенсивностей переходов состояний a может быть построена следующим образом:

$$a = \begin{bmatrix} a_{00} & \cdots & a_{0n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n0} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix}.$$

Подставим в матрицу a , $i, j = 0, 1, 2, \dots, n$ интенсивность проявления рисков λ_{ij} и долю времени, необходимого на устранение риска, относительно общего времени наладки μ_i . Получим следующую матрицу переходов:



Рисунок 3 – модель Маркова для регламентированных состояний производства на этапе наладки

Таблица 1 – Переходы между состояниями производства

| | |
|--------|--------|
| 0 в 1; | 3 в 1 |
| 0 в 2; | 3 в 2; |
| 0 в 3; | 3 в 4; |
| 0 в 4; | 3 в 5; |
| 1 в 2; | 3 в 6; |
| 1 в 3; | 4 в 6; |
| 1 в 5; | 4 в 7; |
| 1 в 8; | 5 в 6; |
| 2 в 1; | 6 в 7; |
| 2 в 3; | 6 в 8 |
| | 7 в 8 |

$$a = \begin{bmatrix} -\sum \lambda_{0j} & \lambda_{01} & \lambda_{02} & \lambda_{03} & \lambda_{04} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \mu_{10} & -\sum a_{1j} & \lambda_{12} & \lambda_{13} & 0 & \lambda_{15} & 0 & 0 & \lambda_{18} \\ \mu_{20} & \mu_{21} & -\sum a_{2j} & \lambda_{23} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \mu_{30} & \mu_{31} & \mu_{32} & -\sum a_{3j} & \lambda_{34} & \lambda_{35} & 0 & 0 & 0 \\ \mu_{40} & 0 & 0 & \mu_{43} & -\sum a_{4j} & 0 & \lambda_{46} & \lambda_{47} & 0 \\ 0 & \mu_{51} & 0 & \mu_{53} & 0 & -\sum a_{5j} & \lambda_{56} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \mu_{64} & \mu_{65} & -\sum a_{6j} & \lambda_{67} & \lambda_{68} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \mu_{74} & 0 & \mu_{76} & -\sum a_{7j} & \lambda_{78} \\ 0 & \mu_{81} & 0 & 0 & 0 & 0 & \mu_{86} & \mu_{87} & -\sum a_{8j} \end{bmatrix}$$

Далее на основе матрицы переходов строится матрица вознаграждений r . Термин «матрица вознаграждений» (reward matrix) введен Говардом [20]. Её основная идея в том, что непрерывная цепь Маркова с N различными состояниями и матрицей перехода между состояниями равна $a = [a_{ij}]$, $i, j = 1, 2, \dots, N$. При этом предполагается, что если процесс остается в одном из состояний в течение единицы времени, то будет достигнуто определенное «вознаграждение» r_{ii} . При переходе из одного состояния в другое будет достигнуто «вознаграждение» r_{ij} . Оно может быть как положительным, так и отрицательным. Отрицательное вознаграждение характеризует убытки и недополучение прибыли или, как в рассматриваемом случае, недопустимую долю времени относительно всего процесса. Чтобы определить матрицу вознаграждения $r = [r_{ij}]$, $i, j = 1, 2, \dots, N$, введем понятие общей ожидаемой награды, накопленной к моменту t .

Пусть $V_i(t)$ — ожидаемая награда для состояния i , накопленная к моменту t . Характеризует степень соответствия процесса наладки запланированному, т.е. протеканию процесса с допустимыми отклонениями по времени с учетом начального состояния процесса. [21] Для рассматриваемой системы будут рассчитаны следующие показатели:

- Доступность системы. Если наладку произвели в рамках отведенного времени, станок доступен для выполнения дальнейших технологических процессов. Если же вышли за рамки запланированного времени при наладке, нет возможности вовремя начать производственный процесс и, следовательно, вероятность закончить его в срок близится к 0. Соответственно, показатель «Доступность системы» показывает среднюю долю времени, в течение которого система находится в приемлемом состоянии, что обеспечивает выполнение производственного задания в рамках запланированного времени.

- Дефицит производительности. По аналогии с доступностью системы показывает среднюю долю времени, в течение которого система находится в неприемлемом состоянии.

- Функция отказов системы. Данный показатель определяет накопленное количество ошибок, приводящих к необходимости корректировки.

- Функция надежности системы. Данный показатель определяет вероятность нахождения системы в режиме корректировки на определенном промежутке времени.

Дифференциальные уравнения Говарда с изменяющейся во времени интенсивностью перехода a_{ij} следует решать при заданных начальных условиях, чтобы найти общую ожидаемую награду.

$$\frac{dV_i(t)}{dt} = r_{ii} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N a_{ij}r_{ij} + \sum_{j=1}^N a_{ij}V_j(t), i, j = 1, 2, \dots, N.$$

В наиболее распространенном случае производственная система начинает накапливать вознаграждение после момента времени $t = 0$, таким образом, начальные условия имеют вид:

$$V_i(0) = 0, i = 0, 1, 2, \dots, N.$$

В рассматриваемом случае состояние 0 – идеальное состояние – определено как начальное состояние, значение $V_0(t)$ должно быть найдено как решение системы (10).

Разделим состояния производственного процесса на допустимые и недопустимые для определения эффективности работы системы. Если с учетом возникновения рисков событий наладка займет допустимое время или меньше, то такие события допустимые. Если больше – недопустимые.

Приемлемость состояний определяется соотношением параметров допустимого времени производственного процесса $W(t)$, а именно наладки, которое определяется вне системы, и фактического времени наладки, если рискованная ситуация произошла $g = \{g_1, g_2, \dots, g_N\}$, $G(t) \ni g_i$.

В общем случае допустимое или желаемое время $w(t)$ случайное и может принимать дискретные значения из множества $W = \{w_1, w_2, \dots, w_M\}$.

Связь фактического и допустимого времени можем выразить через функцию приемлемости $\Phi(G(t), W(t))$. Допустимые состояния системы соответствуют соотношению 12:

$$\Phi(G(t), W(t)) \geq 0.$$

Неприемлемые состояния производственной системы соответствуют соотношению 13. Также это является критерием недопустимых состояний производственного процесса.

$$\Phi(G(t), W(t)) < 0.$$

На практике допустимое время должно превышать фактическое. Следовательно, функция приемлемости принимает вид 14.

$$\Phi(G(t), W(t)) = W(t) - G(t).$$

Критерий приемлемости состояния принимает вид 15.

$$\Phi(G(t), W(t)) = W(t) - G(t) \geq 0.$$

Для рассматриваемого случая допустимое время является постоянным $W(t) = w = \text{const}$.

Соответственно, приемлемым состояниям соответствуют все состояния с фактическим временем g_i меньше допустимого времени w , неприемлемым состояниям – состояния с фактическим временем g_i больше допустимого времени w на производственный процесс.

Определим случайную величину-индикатор приемлемости:

$$I(t) = \begin{cases} 1, G(t) \in g_0 \\ 0, G(t) \notin g_0 \end{cases}$$

Мгновенная доступность производственной системы $A(t)$ – вероятность нахождения производственной системы в одном из допустимых состояний в момент времени $t > 0$.

$$A(t) = Pr\{I(t) = 1\} = \sum_{i \in g_0} P_i(t),$$

где $P_i(t)$ – вероятность того, что система в момент времени t находится в состоянии i .

Для того, чтобы определить доступность системы – вероятность нахождения системы в момент времени t в приемлемом состоянии, строим матрицу вознаграждений для решения дифференциальных уравнений Говарда по следующим правилам:

- Все вознаграждения, связанные с состояниями, подходящими под критерий приемлемых, определяются как 1.

- Вознаграждения, связанные со всеми неприемлемыми состояниями, обнулены. Награды, связанные со всеми переходами, также обнулены.

Для определения дефицита производительности – вероятности нахождения системы в момент времени t в неприемлемом состоянии, строим матрицу вознаграждений для решения дифференциальных уравнений Говарда по следующим правилам:

- Все вознаграждения, связанные с состояниями, подходящими под критерий неприемлемых, определяются как 1.

- Вознаграждения, связанные со всеми приемлемыми состояниями, обнулены. Вознаграждения, связанные со всеми переходами, также обнулены.

Чтобы определить среднее число отказов производственной системы, составим матрицу вознаграждений по следующим правилам:

- Вознаграждения, связанные с переходами из приемлемого состояния в неприемлемое, определяются как 1.

- Все вознаграждения, связанные с нахождением системы в приемлемом или неприемлемом состояниях определяются как 0.

- Вознаграждения, связанные с переходами из неприемлемого состояния в приемлемое, также обнулены.

Чтобы определить функцию надежности, составим матрицу вознаграждений по следующим правилам:

- Вознаграждения, связанные с переходами из неприемлемого состояния в приемлемое, определяются как 1.

- Все вознаграждения, связанные с нахождением системы в приемлемом или неприемлемом состояниях определяются как 0.

- Вознаграждения, связанные с переходами из приемлемого состояния в неприемлемое, также обнулены.

После составления матриц вознаграждений численными методами решаются дифференциальные уравнения для каждого случая и строятся графики решений. Для того, чтобы приблизить модель к жизни, используем кривую научения Ферхюльста (1), корректирующую долю времени, затраченного на устранение риска и его последствий [22-23].

$$Q(t) = (p_0 \cdot \exp(\delta \cdot t)) / (p_0 + (\exp(\delta \cdot t) - 1))$$

где Q – объем выполняемых работ по устранению наступления нежелательного явления при наступлении рискованного события;

p_0 – доля нерутинных процедур в общем объеме работ;

δ – потенциальная скорость прироста производительности по устранению последствий нежелательного явления по мере роста компетенций исполнителя (практики выполнения аналогичных работ или при повторных наступлениях нежелательных явлений).

Так, одна кривая построена с постоянной долей времени, затраченной на выправление процесса, вторая – со скорректированной. Цифры для построения графиков получены на основе анкетирования и в результате расчетов графо-аналитической модели, описанных в статье [11]. Получены графики по каждой матрице вознаграждений коэффициента доступности системы, дефицита производительности, функции отказа системы, функции надежности системы. Типовой график показан на рисунке 4 на примере коэффициента доступности системы.

Коэффициент доступности системы отображает трату времени на исправление последствий совершившихся рискованных событий. Чем ближе график к 0, тем выше вероятность того, что станок будет доступен в запланированное к старту производства время. Если считать, что доступность системы наступает при 30 баллах вознаграждения (100% вероятность готовности), то оборудование готово производить детали через 5 часов для системы, учитывающей рост компетенций сотрудников. В то время как система без учета роста компетенции вероятность готовности оборудования через 5 часов будет составлять не более 7%. Полученные данные позволяют прогнозировать доступность оборудования по мере освоения новых изделий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведено исследование методов и подходов к решению задачи оценки рисков на этапе наладки мелкосерийного производства. Разработана методика оценки рисков на основе цепей Маркова с использованием кривой научения Ферхюльста. Методика реализована в прикладной программе для автоматизации таких расче-

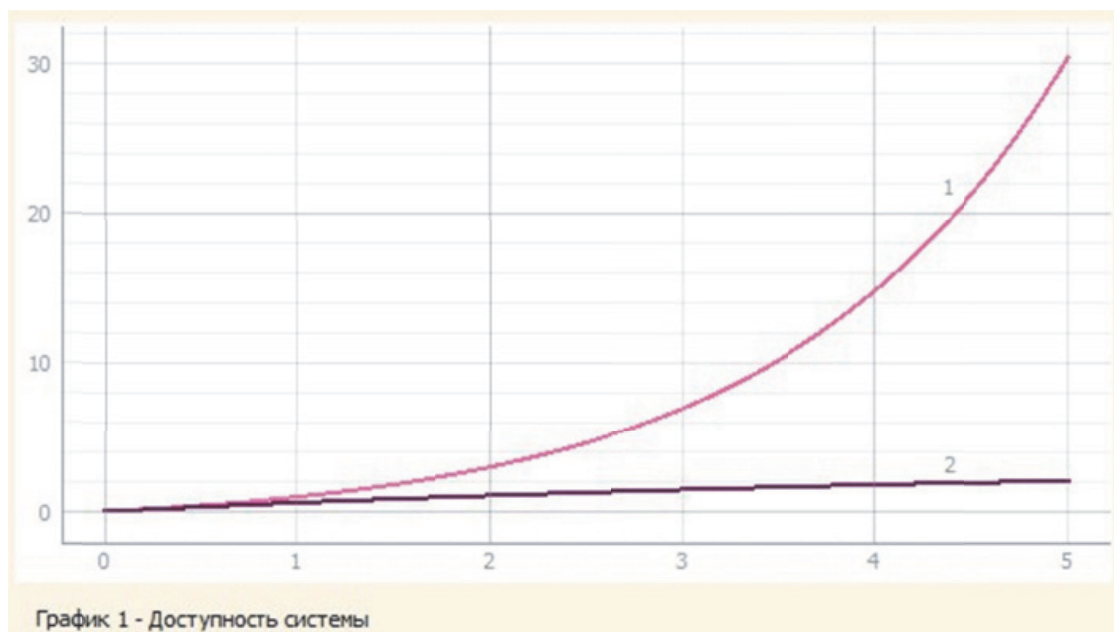


Рисунок 4 – Результаты вычислений коэффициента Доступности системы
 1 – решение дифференциальных уравнений с постоянной долей времени на устранение последствий нежелательных событий μ_i ;
 2 – зависимость от времени переменной μ_i с учетом роста компетенций

тов на языке Python.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-19-00765, <https://rscf.ru/project/24-19-00765/>

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бахматова, Т.Г. Тенденции и перспективы внедрения инструментов бережливого производства / Т.Г. Бахматова, М.С. Бахматов // Известия БГУ. – 2022. – №4.
2. Детмер, У. Теория ограничений Голдратта. Системный подход к непрерывному совершенствованию: пер. с англ. – 2-е изд. / У. Детмер. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2008. – 444 с
3. Ушаков, М.А. Внедрение метода Polca на виртуальные предприятия / М.А. Ушаков // Студенческие научные исследования: сборник статей VI Международной научно-практической конференции, Пенза, 12 мая 2021 года. Том Часть 1. – Пенза: Наука и Просвещение, 2021. – С. 81-83.
4. Thurer M., Silva C., Stevenson M. Workload Control Release Mechanisms: From Practice Back to Theory Building // Taylor & Francis International Journal of Production Research. 2010. – 48 p.
5. Grasas, A., & Ciurana, J. Manufacturing Systems: Theory and Practice. // CRC Press. – 2018
6. Благовещенский, Д. И. Комплексные инструменты управления производственными системами в машиностроительном производстве / Д.И. Благовещенский, В.Н. Козловский, Д.И. Панюков, С.А. Васин // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2021. – № 3.
7. Никитин, Е.С. Длительность жизненного цикла наукоемкого изделия / Е.С. Никитин // Вестник магистратуры. – 2017. – № 1-4 (64).
8. ISO 31000:2018 Risk management — Guidelines. – 2th edition. - International Organization for Standardization, 2018. – 22 p.
9. A guide to the project management body of knowledge (PMBOK guide). - Sixth Edition. – Project Management Institute, Pennsylvania, 2017. – 579 p.
10. TSO Managing Successful Projects with PRINCE2. – 6th edition. - Norwich: TSO (The Stationary Office), 2017. – 413 p.
11. Колеганова, Е.А. Управление рисками производственной площадки сам-центр Самарский университет. Обзор и первые шаги / Е.А. Колеганова, А.И. Хаймович // Известия Самарского научного центра РАН. – 2022. – № 2(106).
12. Латыпова, Р. Р. Анализ рисков промышленного предприятия / Р.Р. Латыпова, А.Г. Киселевич // Теория и практика сервиса: экономика, социальная сфера, технологии. – 2015. – № 2(24).
13. Мельникова, Е.А. Анализ интегрированной системы управления рисками организации по производству прочих цветных металлов (на примере ГМК «Норильский никель») / Е.А. Мельникова // Advances in Science and Technology : Сборник статей LVIII международной научно-практической конференции, Москва, 31 января 2024 года. – М.: Актуальность, 2024. – С. 301-302.
14. Ирдуганова, Л. И. Методы анализа риска на производстве / Л. И. Ирдуганова, Н. Г. Николаева, Е. В. Приймак // Компетентность. – 2011. – № 1(82). – С. 48-52.
15. Голда, К.С. Анализ рисков при производстве работ на металлургическом предприятии / К.С. Голда, Ю.А. Крамская, Н.К. Плуготаренко // Системы обеспечения техносферной безопасности: Материалы V Всероссийской конференции и школы для молодых ученых (с международным участием), Таганрог, 05–06 октября 2018 года. – Таганрог: Южный федеральный университет, 2018. – С. 55-56.

16. Козьминых О.В. Марковские цепи как инструмент оценки рисков страховых компаний, возникающих при передаче функций на аутсорсинг / О.В. Козьминых // Российское Предпринимательство. – 2017. – Т. 18, – № 17.
17. Yang, C., Cui, H., Wang, L. Monte Carlo simulation for risk analysis in engineer-to-order production. – 2016.
18. Frenkel I., Lisnianski A. Non-homogeneous Markov reward model for aging multistate system under minimal repair // International Journal of Performability Engineering. – 2009. – № 5(4). – Pp.303-312.
19. Verhulst P.F. Notice sur la loi que la population suit dans son accroissement // Correspondance Mathématique et Physique publiée par A. Quetelet, 10, 1838. Pp.113–121.
20. Howard R.A. Dynamic Programming and Markov Processes // The Technology Press of The Massachusetts Institute of Technology and John Wiley & Sons, Inc., New York : London. – 1960. – 148 p.
21. Frenkel I., Lisnianski A. Non-homogeneous Markov reward model for aging multi-states systems under corrective maintenance / In book: Safety, Reliability and Risk Analysis: Theory, Methods and Applications // CRC Press, Taylor and Francis Group: London. – 2008. – pp.551-558
22. Arnold D. Fitting a Logistic Curve to Data // College of the Redwoods, working material, 2002. URL: <http://>

METHODOLOGY FOR ASSESSING THE RISKS OF THE EQUIPMENT ADJUSTMENT PROCESS IN SMALL-SCALE PRODUCTION

© 2024 E.A. Koleganova, A.I. Khaimovich, A.M. Kovaleva

Samara National Research University named after academician S.P. Korolyov, Samara, Russia

The article discusses a methodology for assessing the risks of the process of setting up metalworking equipment in high-tech small-scale production. The risks of deviations from the setup regulations, affecting the preparation time for a technological operation, were assessed using Markov chains. The technique allows you to determine the probabilistic coefficients of system availability, performance deficits, failures and system reliability. A program has been developed to automate these calculations.

Keywords: risk management system, Markov chains, setup, system availability

DOI: 10.37313/1990-5378-2024-26-4-57-66

EDN: CQKOTP

REFERENCES

1. Bahmatova, T.G. Tendencii i perspektivy vnedreniya instrumentov berezhlivogo proizvodstva / T.G. Bahmatova, M.S. Bahmatov // Izvestiya BGU. – 2022. – №4.
2. Detmer, U. Teoriya ogranichenij Goldratta. Sistemnyj podhod k nepreryvnomu sovershenstvovaniyu: per. s angl. – 2-e izd. / U. Detmer. – M.: Al'pina Biznes Buks, 2008. – 444 s
3. Ushakov, M.A. Vnedrenie metoda Polca na virtual'nye predpriyatiya / M.A. Ushakov // Studencheskie nauchnye issledovaniya: sbornik statej VI Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Penza, 12 maya 2021 goda. Tom CHast' 1. – Penza: Nauka i Prosveshchenie, 2021. – S. 81-83.
4. Thurer M., Silva C., Stevenson M. Workload Control Release Mechanisms: From Practice Back to Theory Building // Taylor & Francis International Journal of Production Research. 2010. – 48 p.
5. Grasa, A., & Ciurana, J. Manufacturing Systems: Theory and Practice. // CRC Press. – 2018
6. Blagoveshchenskij, D.I. Kompleksnye instrumenty upravleniya proizvodstvennymi sistemami v mashinostroitel'nom proizvodstve / D.I. Blagoveshchenskij, V.N. Kozlovskij, D.I. Panyukov, S.A. Vasin // Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki. – 2021. – № 3.
7. Nikitin, E.S. Dlitel'nost' zhiznennogo cikla naukoemkogo izdeliya / E.S. Nikitin // Vestnik magistratury. – 2017. – № 1-4 (64).
8. ISO 31000:2018 Risk management – Guidelines. – 2th edition. – International Organization for Standardization, 2018. – 22 p.
9. A guide to the project management body of knowledge (PMBOK guide). - Sixth Edition. – Project Management Institute, Pennsylvania, 2017. – 579 p.
10. TSO Managing Successful Projects with PRINCE2. – 6th edition. - Norwich: TSO (The Stationary Office), 2017. – 413 p.
11. Koleganova, E.A. Upravlenie riskami proizvodstvennoj ploshchadki cam-centr Samarskij universitet. Obzor i pervye shagi / E.A. Koleganova, A.I. Hajmovich // Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra RAN. – 2022. – № 2(106).
12. Latypova, R.R. Analiz riskov promyshlennogo predpriyatiya / R.R. Latypova, A.G. Kiselevich // Teoriya i praktika servisa: ekonomika, social'naya sfera, tekhnologii. – 2015. – № 2(24).
13. Mel'nikova, E.A. Analiz integrirovannoj sistemy upravleniya riskami organizacii po proizvodstvu prochieh cvetnyh metallov (na primere GMK «Noril'skij nikel'») / E.A. Mel'nikova // Advances in Science and Technology : Sbornik statej LVIII mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Moskva, 31 yanvarya 2024 goda. – M.: Aktual'nost', 2024. – S. 301-302.
14. Irduganova, L. I. Metody analiza riska na proizvodstve / L. I. Irduganova, N. G. Nikolaeva, E. V. Prijmak // Kompetentnost'. – 2011. – № 1(82). – S. 48-52.

15. *Golda, K.S.* Analiz riskov pri proizvodstve rabot na metallurgicheskom predpriyatii / K.S. Golda, Yu.A. Kramskaya, N.K. Plugotarenko // *Sistemy obespecheniya tekhnosfernoj bezopasnosti: Materialy V Vserossijskoj konferencii i shkoly dlya molodyh uchenyh (s mezhdunarodnym uchastiem)*, Taganrog, 05–06 oktyabrya 2018 goda. – Taganrog: YUzhnyj federal’nyj universitet, 2018. – S. 55-56.
16. *Koz’minyh, O.V.* Markovskie cepi kak instrument ocenki riskov strahovyh kompanij, vznikayushchih pri peredache funkcij na outsorsing / O.V. Koz’minyh // *Rossijskoe Predprinimatel’stvo*. – 2017. – T. 18, – № 17.
17. *Yang, C., Cui, H., Wang, L.* Monte Carlo simulation for risk analysis in engineer-to-order production. – 2016.
18. *Frenkel I., Lisnianski A.* Non-homogeneous Markov reward model for aging multistate system under minimal repair // *International Journal of Performability Engineering*. – 2009. – № 5(4). – Rr.303-312.
19. *Verhulst P.F.* Notice sur la loi que la population suit dans son accroissement // *Correspondance Mathématique et Physique* publiée par A. Quetelet, 10, 1838. Rr.113–121.
20. *Howard R.A.* Dynamic Programming and Markov Processes // *The Technology Press of The Massachusetts Institute of Technology and John Wiley & Sons, Inc., New York : London*. – 1960. – 148 p.
21. *Frenkel I., Lisnianski A.* Non-homogeneous Markov reward model for aging multi-states systems under corrective maintenance / In book: *Safety, Reliability and Risk Analysis: Theory, Methods and Applications* // *CRC Press, Taylor and Francis Group: London*. – 2008. – pp.551-558
22. *Arnold D.* Fitting a Logistic Curve to Data // *College of the Redwoods, working material*, 2002. URL: <http://online.redwoods.cc.ca.us/instruct/darnold>.
23. *Ivanov, I. F.* Ispol’zovanie logisticheskoy krivoj dlya ocenki stoimosti kompanii na razvivayushchemsya rynke / I.F. Ivanov // *Journal of Corporate Finance Research*. – 2010. – № 2(1). S. 47-62.

Ekaterina Koleganova, Postgraduate Student.

E-mail: koleganova.e@yandex.ru

Aleksandr Khaymovich, Doctor of Technics, Associate Professor at the Engine Manufacturing Technology Department. E-mail: berill_samara@bk.ru

Anastasia Kovaleva, Postgraduate Student.

E-mail: kovaleva.am@ssau.ru