

ISSN 1995-2732 (Print), 2412-9003 (Online)
УДК 51-77
DOI: 10.18503/1995-2732-2024-22-1-114-121



МОДЕЛЬ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ ЭМПИРИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Назаревич С.А., Свириденко А.В.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. С развитием и внедрением в производственные системы элементов Индустрии 4.0, а в частности цифровизации производства, цифровых двойников и систем дополненной реальности, всё более актуальной становится задача органичного внедрения цифровых технологий в производственные системы. Параллельно рассматривается вопрос о целесообразности внедрения новых технологий в начальной архитектуре внедряемой системы и её адаптации под особенности производственных процессов и помещений, а также организационной структуры предприятия. Взяв во внимание данные аспекты, можно говорить о проблеме принятия управленческих решений при планировании и реализации внедрения новых систем как о ключевой задаче. В статье моделируется ситуация внедрения системы штрихкодирования и мгновенной печати необходимого количества маркировки при упаковке готовых изделий на предприятии текстильной промышленности. Перед запуском системы возможно проведение предварительной регулировки системы, временно нарушив производственный процесс, что вызовет потери, связанные с ожиданием. Отказ от регулировки системы подвергает риску работоспособность системы в целом, повышая риск внезапного отказа системы и остановки производственного процесса. Для сокращения рисков возможно проведение процедуры верификации системы, что повлечет дополнительные финансовые затраты и не гарантирует выявления всех недоработок и ошибок системы. Лицу, принимающему решение, необходимо выбрать оптимальную стратегию для органичного внедрения новой системы в производственный процесс. В статье предложена модель принятия решения о необходимости регулировки внедряемой на предприятии системы электронного отслеживания партий изделий и определено оптимальное поведение лица, принимающего решение, в моделируемой ситуации. Область применения модели не ограничивается отраслью и сферой деятельности предприятия и может быть использована при необходимости принятия решения о внедрении нововведений в производственный процесс.

Ключевые слова: дерево принятия решений, формула Байеса, оптимизация, производственные процессы, управление качеством, бережливое производство, система штрихкодирования, технология принятия управленческих решений, организация производства, диспетчеризация производственных процессов

© Назаревич С.А., Свириденко А.В., 2024

Для цитирования

Назаревич С.А., Свириденко А.В. Модель принятия решений на основе эмпирических данных // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2024. Т. 22. №1. С. 114-121. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2024-22-1-114-121>



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

A DECISION-MAKING MODEL BASED ON EMPIRICAL DATA

Nazarevich S.A., Sviridenko A.V.

Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, Saint Petersburg, Russia

Abstract. With the development and introduction of elements of Industry 4.0 into production systems, and in particular the digitalization of production, digital twins and augmented reality systems, the task of an organic introduction of digital technologies into production systems becomes more and more relevant. In parallel, the issue under consideration is attributed to feasibility of introducing new technologies into the initial architecture of the system being implemented and its adaptation to specific features of production processes and premises, as well as the organizational structure of the enterprise. Taking into account these aspects, we can talk about the problem of managerial decision-making, when planning and implementing the introduction of new systems as a key task. This paper presents a modeled situation of the introduction of a barcoding system and instant printing of the required amount of labeling, when packing finished products at a textile industry enterprise. It is possible to pre-adjust the system before its start, temporarily interrupting a production process, which will cause losses associated with waiting. Failure to adjust the system puts at risk the operability of the system as a whole, increasing the risk of a sudden system failure and shutdown of the production process. To reduce risks, it is possible to carry out a system verification procedure, which will entail additional financial costs and not guarantee the identification of all the flaws and errors of the system. A decision-maker needs to choose the optimal strategy for the organic implementation of the new system in the production process. The paper proposes a decision-making model on the need to adjust the electronic tracking system of product batches implemented at the enterprise and determines the optimal behavior of the decision-maker in the simulated situation. The scope of the model is not limited to the industry and field of activity of the enterprise and can be used when it is necessary to make a decision on the introduction of innovations into the production process.

Keywords: decision tree, Bayes formula, optimization, production processes, quality management, lean manufacturing, barcoding system, management decision-making technology, production organization, dispatching of production processes

For citation

Nazarevich S.A., Sviridenko A.V. A Decision-Making Model Based on Empirical Data. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2024, vol. 22, no. 1, pp. 114-121. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2024-22-1-114-121>

Введение

Согласно литературным источникам, только 17% решений принимаются обдуманно, остальные 83% принимаются необдуманно [1]. Особенно важно учитывать влияние совокупности всех факторов и опираться на вполне конкретные методы принятия управленческих решений, поскольку в практических задачах результаты принятия управленческих решений многоаспекты и требуют своей оценки по множеству показателей [2]. Именно поэтому исследования в области принятия управленческих решений в большей степени сосредоточены на стратегических решениях, касающихся конфигурации ресурсов для поддержки стратегии предприятия [3, 4].

В данной статье моделируется ситуация по принятию решения о модификации системы учета и регистрации готовых изделий в процессе упаковки путем добавления функции присвоения каждой партии штрихкода и мгновенной печати необходимой маркировки. Кодировка такого типа включает в себя уникальный номер товара, который принадлежит только ему, а также несет введенную заранее инфор-

мацию о продукции. Таким образом, нововведение повлечет за собой частичное изменение технологической схемы.

До внедрения данной системы технологический процесс упаковки готовых изделий включал в себя следующие основные операции: подача упаковочных материалов, подготовка тары к процессу упаковывания и маркировка, подача изделия и наполнение им тары, запечатывание тары. Блок-схема процесса представлена на **рис. 1**. Основным недостатком данной технологической схемы являются временные затраты на поиск необходимой маркировки в библиотеке и в случае отсутствия таковой в библиотеке – необходимость создания и печати недостающей маркировки.

Внедрение системы штрихкодирования и мгновенной печати необходимой маркировки значительно сокращает технологический процесс, исключив из него поиск этикеток в библиотеке (**рис. 2**). При проведении хронометрических исследований процесса было выявлено сокращение временных потерь на 2 минуты при использовании системы в технологическом процессе.

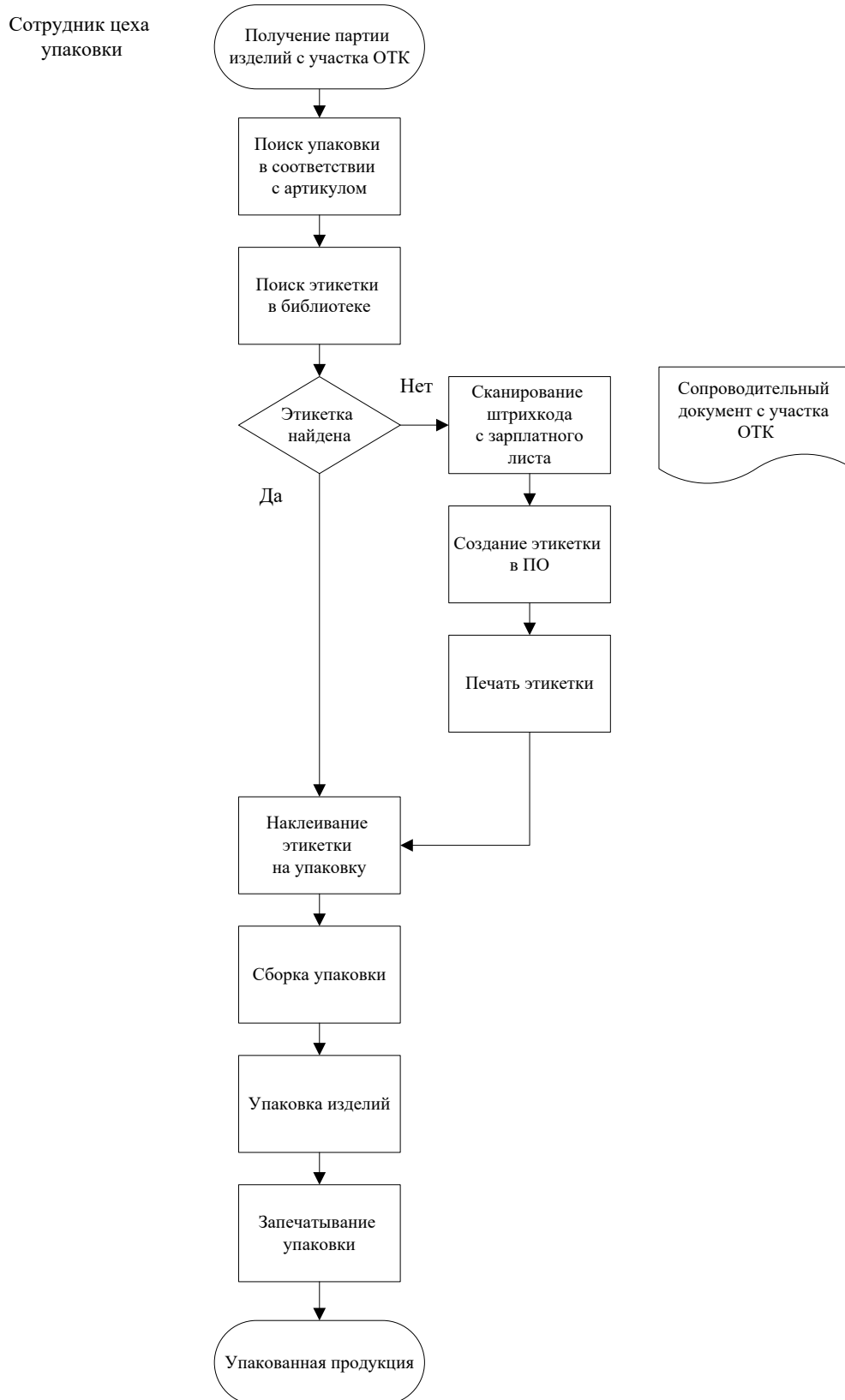


Рис. 1. Блок-схема исходного процесса упаковки
 Fig. 1. A block diagram of the initial packing process

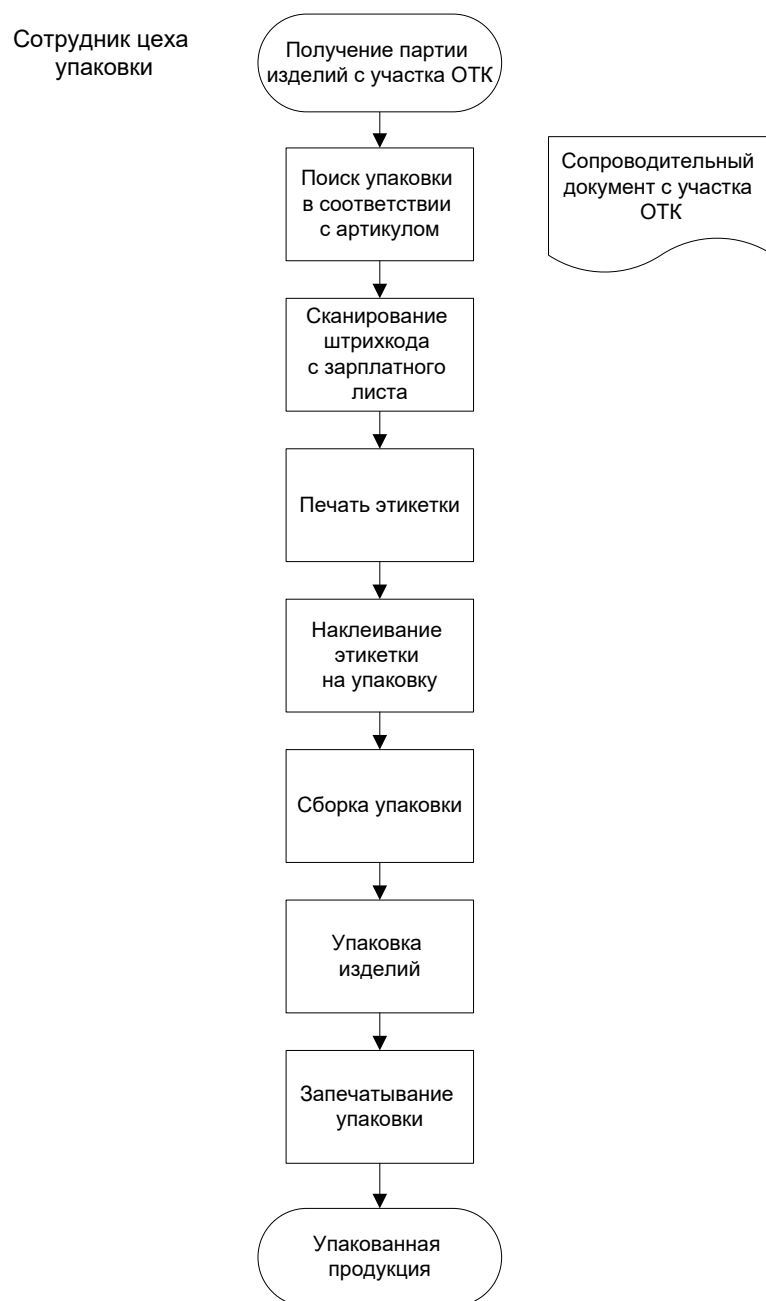


Рис. 2. Блок-схема процесса упаковки с использованием системы
 Fig. 2. A block diagram of the packing process using the system

Материалы и методы исследования

В процессе внедрения данной системы возможно проведение предварительной регулировки системы, что повлечет за собой дополнительные экономические затраты. В случае неисправности системы собой в работе повлечет остановку работы всего цеха.

Принять решение о проведении работ по регулировке системы возможно с помощью теста, носящего диагностический характер для установления природы возможной проблемы, её содержания, силы взаимосвязи с другими проблемами, вида и масштаба опасностей, притекающих из проблемы [5]. Притом

проведение диагностики повлечет дополнительные экономические затраты и не гарантирует выявления всех недоработок и ошибок системы. Данная задача относится к задачам принятия решения в условиях риска. Соответственно, для определения оптимального поведения лица, принимающего решение, в данной ситуации необходимо проведение качественной структуризации задачи (табл. 1) [6, 7].

В статье используется количественный метод принятия решений, в данном случае включающий в себя дерево принятия решений с вероятностной оценкой ветвей дерева. Перейдем к структуризации задачи.

Лицо, принимающее решение, выполняет эксперимент *A*, наблюдает результат этого эксперимента *B* и выбирает определенное действие *C*, исход которого определяется состоянием *E*.

Таблица 1. Качественная структуризация задачи
Table 1. Qualitative structuring of the task

Множество	Элементы	Интерпретация
<i>A</i>	<i>a</i> ₁	Проводить тест системы
	<i>a</i> ₂	Не проводить тест системы
<i>B</i>	<i>b</i> ₁	Выявлены значительные недоработки
	<i>b</i> ₂	Выявлены незначительные недоработки
	<i>b</i> ₃	Недоработок не выявлено
	<i>b</i> ₄	Результаты нулевого эксперимента
<i>C</i>	<i>c</i> ₁	Решение отрегулировать систему
	<i>c</i> ₂	Решение не регулировать систему
<i>E</i>	<i>e</i> ₁	Система требует регулировки
	<i>e</i> ₂	Система не требует регулировки

На основе качественной структуризации задачи можно сопоставить возможные действия лица, принимающего решение, и получаемой им информации в хронологическом порядке с использованием дерева

принятия решений (рис. 3).

Рассмотрим вероятностные характеристики процессов, определяющих ветвление дерева принятия решений, опираясь на имеющуюся эмпирическую информацию в сочетании с экспертной оценкой лица, принимающего решение. Для рассматриваемой ситуации имеем:

- 1) $p(e_1)$ – вероятность, что система требует регулировки;
- 2) $p(e_2)$ – вероятность, что система не требует регулировки;
- 3) $p(b_1/e_1)$ – вероятность, что тест выявил значительные недоработки и система действительно требует регулировки;
- 4) $p(b_2/e_1)$ – вероятность, что тест выявил незначительные недоработки и система действительно требует регулировки;
- 5) $p(b_3/e_1)$ – вероятность, что тест не выявил недоработки, а система в действительности требует регулировки;
- 6) $p(b_1/e_2)$ – вероятность, что тест выявил значительные недоработки, но в действительности система не требует регулировки;
- 7) $p(b_2/e_2)$ – вероятность, что тест выявил незначительные недоработки и система не требует регулировки;
- 8) $p(b_3/e_2)$ – вероятность, что тест не выявил недоработки и система не требует регулировки.

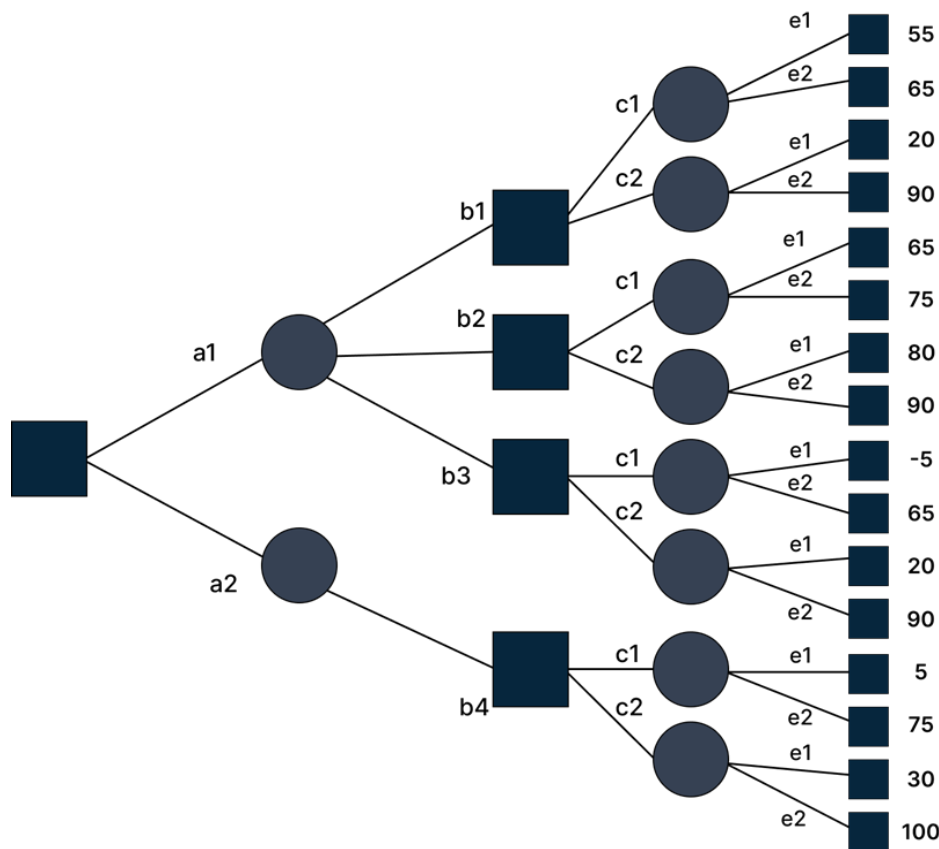


Рис. 3. Дерево принятия решений
Fig. 3. Decision tree

Пусть $p(e_1) = 0,2$, $p(e_2) = 0,8$, $p(b_1/e_1) = 0,8$, $p(b_2/e_1) = 0,15$, $p(b_3/e_1) = 0,05$, $p(b_1/e_2) = 0,01$, $p(b_2/e_2) = 0,09$, $p(b_3/e_2) = 0,9$.

Также рассмотрим стоимость каждого элемента системы в условных единицах:

- 1) стоимость исправной системы – 100 усл. ед.;
- 2) стоимость частично неисправной системы – 90 усл. ед.;
- 3) стоимость неисправной системы – 30 усл. ед.;
- 4) стоимость регулировки при значительных сбоях системы – 25 усл. ед.;
- 5) стоимость регулировки при незначительных сбоях системы – 15 усл. ед.;
- 6) стоимость теста – 10 усл. ед.

В соответствии с приведенными данными возможно определение ценности каждой из ветвей (табл. 2).

Таблица 2. Ценность ветвей
Table 2. The value of branches

Путь ветви	Расчет	Итог
$(a_1, b_1, c_1, e_1) =$	90-10-25	55
$(a_1, b_1, c_1, e_2) =$	100-10-25	65
$(a_1, b_1, c_2, e_1) =$	30-10	20
$(a_1, b_1, c_2, e_2) =$	100-10	90
$(a_1, b_2, c_1, e_1) =$	90-10-15	65
$(a_1, b_2, c_1, e_2) =$	100-10-15	75
$(a_1, b_2, c_2, e_1) =$	90-10	80
$(a_1, b_2, c_2, e_2) =$	100-10	90
$(a_1, b_3, c_1, e_1) =$	30-10-25	-5
$(a_1, b_3, c_1, e_2) =$	100-10-25	65
$(a_1, b_3, c_2, e_1) =$	30-10	20
$(a_1, b_3, c_2, e_2) =$	100-10	90
$(a_2, b_4, c_1, e_1) =$	30-25	5
$(a_2, b_4, c_1, e_2) =$	100-25	75
$(a_2, b_4, c_2, e_1) =$	30	30
$(a_2, b_4, c_2, e_2) =$	100	100

Полученные результаты и их обсуждение

Таким образом, рассмотрим развёрнутую форму анализа и исследуем дерево решений в обратном направлении. Ценность действия в случае, когда тест не применялся, но лицо, принимающее решение, приняло решение провести регулировку системы, равна $U(a_2, b_4, c_1) = 0,2 \cdot 5 + 0,8 \cdot 75 = 61$.

В противном случае при отказе от регулировки системы ценность данного действия $U(a_2, b_4, c_2) = 0,2 \cdot 30 + 0,8 \cdot 100 = 86$.

По результатам расчета оптимальным действием лица, принимающего решение, будет не регулировать систему в случае, когда тест не применялся.

В случае применения теста задача оценки лучшего пути на дереве решений требует расчета условных вероятностей. Данные вероятностные оценки могут быть найдены с помощью формулы (теоремы) Байеса:

$$p(e_i / b) = \frac{p(e_i) \cdot p(b / e_i)}{\sum_{i=1}^n p(e_i) \cdot p(b / e_i)} \quad (1)$$

Результаты расчетов условных вероятностей представлены в табл. 3, 4.

Таблица 3. Результаты расчета совместных и безусловных вероятностей состояний и исходов

Table 3. Results of calculation of joint and unconditional probabilities of states and outcomes

Результат эксперимента	Состояние природы		P(b)
	e_1	e_2	
b_1	$0,2 \cdot 0,8 = 0,16$	$0,8 \cdot 0,01 = 0,008$	0,168
b_2	$0,2 \cdot 0,15 = 0,03$	$0,8 \cdot 0,09 = 0,072$	0,102
b_3	$0,2 \cdot 0,05 = 0,01$	$0,8 \cdot 0,9 = 0,72$	0,73
$p(e)$	0,2	0,8	1

Таблица 4. Результаты расчета условных вероятностей
Table 4. Results of calculation of conditional probabilities

B	$p(e_1/b)$	$p(e_2/b)$	$p(e_1/b) + p(e_2/b)$
b_1	0,95	0,05	1,0
b_2	0,30	0,70	1,0
b_3	0,01	0,99	1,0

Получив условные вероятности каждой ветви, возможно определить их ценность путем умножения условных вероятностей на ценность каждого действия (табл. 5).

Таблица 5. Ценность ветвей в перерасчете на вероятности
Table 5. The value of branches in terms of probabilities

$U(a_1, b_1, c_1) = Sp(e) \cdot U(a_1, b_1, c_1, e) =$	$0,95 \cdot 55 + 0,05 \cdot 65$	55,5
$U(a_1, b_1, c_2) = Sp(e) \cdot U(a_1, b_1, c_2, e) =$	$0,95 \cdot 20 + 0,05 \cdot 90$	23,5
$U(a_1, b_2, c_1) = Sp(e) \cdot U(a_1, b_2, c_1, e) =$	$0,30 \cdot 65 + 0,70 \cdot 75$	72
$U(a_1, b_2, c_2) = Sp(e) \cdot U(a_1, b_2, c_2, e) =$	$0,30 \cdot 80 + 0,70 \cdot 90$	87
$U(a_1, b_3, c_1) = Sp(e) \cdot U(a_1, b_3, c_1, e) =$	$0,01 \cdot (-5) + 0,99 \cdot 65$	64,3
$U(a_1, b_3, c_2) = Sp(e) \cdot U(a_1, b_3, c_2, e) =$	$0,01 \cdot 20 + 0,99 \cdot 90$	89,3
$U(a_2, b_4, c_1) = Sp(e) \cdot U(a_2, b_4, c_1, e) =$	$0,2 \cdot 5 + 0,8 \cdot 75$	61
$U(a_2, b_4, c_2) = Sp(e) \cdot U(a_2, b_4, c_2, e) =$	$0,2 \cdot 30 + 0,8 \cdot 100$	86

В ходе анализа табл. 5 выявлено, что ценность оптимального решения в каждом из случаев будет равна:

$$U(a_1, b_1, e^*) = 55,5;$$

$$U(a_1, b_2, e^*) = 87;$$

$$U(a_1, b_3, e^*) = 89,3;$$

$$U(a_1, b_4, e^*) = 86.$$

Следовательно, если результатом эксперимента является исход b_1 : тест показывает, что выявлены значительные недоработки системы, то лицу, принимающему решение, следует выбрать действие e_1 : регулировать систему.

В случае если результатом эксперимента является исход b_2 : тест показывает, что выявлены незначительные недоработки, то целесообразно выбрать действие e_2 : не прибегать к регулировке системы.

Если в результате эксперимента получен исход b_3 : тест показывает, что недоработки не выявлены, то необходимо выбрать действие e_2 : отказаться от регулировки системы.

Для определения ожидаемой ценности эксперимента $U(a)$ воспользуемся формулой

$$U(a) = \sum p(b) \cdot U(a, b). \quad (2)$$

Расчет представлен по формуле [8-10]

$$U(a) = p(b_1) \cdot U(a, b_1) + p(b_2) \cdot U(a, b_2) + p(b_3) \cdot U(a, b_3) = 0,168 \cdot 55,5 + 0,102 \cdot 87 + 0,73 \cdot 89,3 = 83,4. \quad (3)$$

Заключение

Оптимальная последовательность действий лица, принимающего решение, состоит в следующем: регулировать систему только при выявлении тестом значительных недоработок, в случае выявления незначительных недоработок или при отсутствии недоработок – не прибегать к регулировке. При отказе от применения теста оптимальным решением будет отказ от регулировки системы штрихкодирования и мгновенной печати необходимой маркировки в процессе упаковки готовых изделий.

Таким образом, применение моделей принятия решений – важный инструмент управления бизнес-процессами и поддержки принятия решений, так как позволяет принять решение, соответствующее возможностям предприятия с оценкой потенциальных потерь. Кроме того, такие модели принятия решений могут быть интегрированы в системы планирования ресурсов предприятия и выполняться для проверки и анализа принимаемых управленческих решений на предприятии.

Список источников

1. Коваленко В.П., Соколюк В.М. Технология принятия решений // Вестник Полесского государственного университета. Серия природоведческих наук. 2008. №2. С. 52-58.

2. Воробьева М.В. Анализ методов многокритериального принятия решений // Региональная и отраслевая экономика. 2022. №1. С. 24-28.
3. Гладкова Ю.В., Гладков В.П. Этапы принятия управленческих решений // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. 2010. №4. С. 39-44.
4. Антонов В.В., Конев К.А., Куликов Г.Г. Трансформация модели системы поддержки принятия решений для типовых ситуаций с применением интеллектуальных и аналитических методов // Вестник ЮУрГУ. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. 2021. №3. С. 14-25.
5. Mochammad Ridwan Ristyawan, U. Putro, M. Siallagan Decision making mechanism in resource based theory: A literature review, synthesis, and future research // Cogent Business & Management. 2023, no. 10, 2247217.
6. Досуева Е.Е., Кириллов Ю.В. Рациональный подход к принятию управленческих решений // Идеи и идеалы. 2014. №1(19). С. 89-98.
7. Гамбаров Турхан Ризван Оглы. Модель пошагового процесса принятия рационального управленческого решения // Азимут научных исследований: экономика и управление. 2019. Т. 8. №1 (26). С. 119-122.
8. Айвазян С.А., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика. Основы моделирования и первичная обработка данных. М.: Финансы и статистика, 1983.
9. Теория вероятностей и математическая статистика в задачах: учеб. пособие / В.А. Ватутин, Г.И. Ивченко, Ю.И. Медведев и др. 3-е изд., испр. М.: Дрофа, 2005.
10. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. пособие. 12-е изд., перераб. М.: Высшее образование, 2007.

References

1. Kovalenko V.P., Sokolyuk V.M. Technology of decision-making. *Vestnik Polesskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya prirodovedcheskikh nauk* [Bulletin of Polesky State University. Series in Natural Sciences]. 2008;(2):52-58. (In Russ.)
2. Vorobyeva M.V. Analysis of methods of multi-criteria decision-making. *Regionalnaya i otraslevaya ekonomika* [Regional and Sectoral Economics]. 2022;(1):24-28. (In Russ.)
3. Gladkova Yu.V., Gladkov V.P. Stages of managerial decision-making. *Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Elektrotekhnika, informatsionnye tekhnologii, sistemy upravleniya* [Bulletin of PNRPU. Electrical Engineering, Information Technology, Control Systems]. 2010;(4):39-44. (In Russ.)
4. Antonov V.V., Konev K.A., Kulikov G.G. Transfor-

- mation of the decision support system model for typical situations using intellectual and analytical methods. *Vestnik YuUrGU. Seriya: Kompyuternye tekhnologii, upravlenie, radioelektronika* [Bulletin of SUSU. Series: Computer Technology, Control, Radio Electronics]. 2021;(3):14-25. (In Russ.)
5. Mochammad Ridwan Ristyawan, Putro U., Siallagan M. Decision making mechanism in resource based theory: A literature review, synthesis, and future research. *Cogent Business & Management*. 2023;(10): 2247217.
 6. Dosuzheva E.E., Kirillov Yu.V. Rational approach to managerial decision-making. *Idei i idealy* [Ideas and Ideals]. 2014;(1(19)):89-98. (In Russ.)
 7. Gambarov Turkhan Rizvan Ogly. A model of a step-by-step process of making a rational managerial decision. *Azimuth nauchnykh issledovaniy: ekonomika i upravlenie* [Azimuth of Scientific Research: Economics and Management]. 2019;8(1(26)):119-122. (In Russ.)
 8. Ayvazyan S.A., Enyukov I.S., Meshalkin L.D. *Prikladnaya statistika. Osnovy modelirovaniya i pervichnaya obrabotka dannykh* [Applied statistics. Fundamentals of modeling and primary data processing]. Moscow: Finansy i statistika, 1983. (In Russ.)
 9. Vatutin V.A., Ivchenko G.I., Medvedev Yu.I. et al. *Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika v zadachakh: ucheb. posobie* [Probability theory and mathematical statistics in problems: study guide]. Moscow: Drofa, 2005. (In Russ.)
 10. Gmurman V.E. *Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika: ucheb. posobie* [Probability theory and mathematical statistics: study guide]. Moscow: Vysshee obrazovanie, 2007. (In Russ.)

Поступила 22.11.2023; принята к публикации 12.01.2024; опубликована 28.03.2024
Submitted 22/11/2023; revised 12/01/2024; published 28/03/2024

Назаревич Станислав Анатольевич – кандидат технических наук, доцент, кафедра инноватики и интегрированных систем качества, Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, Россия.
Email: albus87@inbox.ru. ORCID 0000-0002-0665-8036

Свириденко Анастасия Вячеславовна – студент, кафедра инноватики и интегрированных систем качества, Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, Россия. Email: an.sviridenko29@gmail.com. ORCID 0009-0005-2979-5235

Stanislav A. Nazarevich – PhD (Eng.), Associate Professor, Department of Innovation Studies and Integrated Quality Systems, Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, Saint Petersburg, Russia.
Email: albus87@inbox.ru. ORCID 0000-0002-0665-8036

Anastasiya V. Sviridenko – student, Department of Innovation Studies and Integrated Quality Systems, Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, Saint Petersburg, Russia.
Email: an.sviridenko29@gmail.com. ORCID 0009-0005-2979-5235