

Научная статья
УДК 338.4/658.5

DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.14509>

ИНСТРУМЕНТАРИЙ УПРАВЛЕНИЯ МАТЕРИАЛЬНЫМИ РЕСУРСАМИ В БЕРЕЖЛИВОМ ПРОИЗВОДСТВЕ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ МАШИНОСТРОЕНИЯ

А.А. Смирнов^{1,2}  , В.В. Кобзев¹ 

¹ Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
Санкт-Петербург, Российская Федерация;

² Вологодский государственный университет,
г. Вологда, Российская Федерация

 smirnov.artem.a@yandex.ru

Аннотация. Непрерывное совершенствование инструментов управления материальными ресурсами на основе принципов бережливого производства в производственном менеджменте позволяет менеджерам предприятий повысить экономическую эффективность операционной деятельности и получить конкурентные преимущества. На многих машиностроительных предприятиях раскрой листового металла является основным технологическим процессом и затраты на листовую металл занимают существенную долю затрат на производство продукции в структуре материальных затрат, поэтому задача увеличения коэффициента использования материала с точки зрения повышения экономической эффективности предприятия и бережного отношения к природным ресурсам является актуальной. Освоение рациональных алгоритмов раскроя является основным направлением решения данной задачи. Однако в целях устранения возникающих потерь при раскрое листового металла необходимо уделить внимание вопросам обоснованной сортировки остатков листового металла после раскроя в группы деловых и неделовых материальных ресурсов и организации их управленческого учета. Цель исследования – разработать инструментарий управления материальными ресурсами в бережливом производстве при раскрое листового металла на предприятиях машиностроения с единичным или серийным типами производства. В рамках работы предложен терминологический аппарат исследования, разработана методика сортировки материальных ресурсов после раскроя листового металла, обоснована возможность повышения экономической эффективности рационального раскроя листового металла с учетом деловых материальных ресурсов. Также результатом исследования являются предложенные практические рекомендации по организации управленческого учета материальных ресурсов после раскроя листового металла. Следует отметить, что именно использование информационных технологий в рамках исследуемого процесса позволит обеспечить менеджеров оперативной и обоснованной информацией для принятия экономически эффективных и своевременных управленческих решений. Таким образом, в результате работы развиты теоретические и практические аспекты управления материальными ресурсами после раскроя. Разработанные предложения могут быть использованы в машиностроительном производстве для совершенствования процесса раскроя листового металла с целью снижения технологических затрат, оптимизации структуры затрат или увеличения чистого дохода.

Ключевые слова: бережливое производство, управление материальными ресурсами, управленческий учет, машиностроительное предприятие, раскрой листового металла, деловые материальные ресурсы, методика сортировки

Для цитирования: Смирнов А.А., Кобзев В.В. Инструментарий управления материальными ресурсами в бережливом производстве на предприятиях машиностроения // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. 2021. Т. 14, № 5. С. 128–143. DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.14509>

Это статья открытого доступа, распространяемая по лицензии CC BY-NC 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

Research article

DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.14509>

TOOLKIT OF MATERIAL RESOURCES MANAGEMENT IN LEAN PRODUCTION AT ENGINEERING ENTERPRISES

A.A. Smirnov^{1,2} , V.V. Kobzev¹ ¹ Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,
St. Petersburg, Russian Federation;² Vologda State University,
Vologda, Russian Federation✉ smirnov.artem.a@yandex.ru

Abstract. Continuous improvement of material resources management tools based on the principles of lean production in production management allows managers of enterprise to increase the economic efficiency of operating activities and gain competitive advantages. Sheet metal cutting is the main technological process with sheet metal taking a significant share of production material costs at many engineering enterprises. Therefore, the task of increasing of the material utilization rate is relevant in terms of increasing the economic efficiency of the enterprise and rational use of natural resources. Introduction of rational cutting algorithms is the main direction of solving this task. However, in order to eliminate arising losses when cutting sheet metal, it is necessary to pay attention to the questions of reasonable sorting of material resources after cutting into groups of business and non-business material resources and the organization of their management accounting. The purpose of the research is to develop tools of material resources management in lean production for sheet metal cutting at engineering enterprises with single or serial types of production. The paper proposes the terminological apparatus of the study, develops a method for material resources sorting after sheet metal cutting, and substantiates the possibility of increasing the economic efficiency of sheet metal rational cutting taking into account business material resources. The practical recommendations for organization of management accounting of material resources after sheet metal cutting were also proposed in the research. It should be noted that using information technologies in the process provides managers with operational and substantiated information for making economic effective and timely management decisions. Thus, as a result of the research, the theoretical and practical aspects of material resource management after cutting were developed. The practical significance of the research consists in the possibility of mastering the developed proposals in engineering production for improving the process of sheet metal cutting in order to reduce technological costs, optimize the costs structure or increase net income.

Keywords: lean production, material resource management, management accounting, engineering enterprise, sheet metal cutting, business material resources, sorting method

Citation: A.A. Smirnov, V.V. Kobzev, Toolkit of material resources management in lean production at engineering enterprises, St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Economics, 14 (5) (2021) 128–143. DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.14509>

This is an open access article under the CC BY-NC 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

Введение

В условиях цифровой рыночной экономики на предприятиях машиностроения существенным фактором конкурентоспособности является экономическая эффективность производства и реализации продукции, обеспеченная принятием обоснованных и оперативных управленческих решения. Непрерывное совершенствование бизнес-процессов производственного предприятия на основе бережливого производства и организации необходимого управленческого учета позволяет достичь запланированных показателей деятельности предприятия, получить конкурентные преимущества и обеспечить устойчивое развитие предприятия. Именно освоение инструментов менеджмента направленных на устранение выявленных потерь в деятельности организации на

основе анализа своевременно полученной управленческой информации позволяют достичь снижения определенных затрат или их оптимизации, сформировать необходимые потребительские свойства продукции, получить конкурентные преимущества на рынке, улучшить показатели финансово-хозяйственной деятельности предприятия.

На машиностроительных предприятиях, где раскрой листового металла является основным технологическим процессом, требуется принимать управленческие решения направленные на увеличение коэффициента использования листового металла с целью увеличения экономической эффективности финансово-хозяйственной деятельности. В связи с этим необходимо осваивать прикладные инструменты управления материальными ресурсами.

Научные труды А.Н. Шичкова [1–4] подтверждают актуальность исследования прикладных задач в области организации производства, решения которых позволяют развивать инструментарий управленческого учета и инновационного менеджмента, обеспечивающий достижение требуемых параметров производственно-технологической системы и получение конкурентных преимуществ предприятия.

В работах С.Б. Сулоевой определена необходимость организации процесса управления затратами в рамках общей системы управления промышленным предприятием, так как достижение требуемых потребительских свойств и конкурентоспособности продукции обеспечивается повышением экономической эффективности производственных процессов [5].

Решения задач раскрой-упаковки широко рассмотрены отечественными исследователями. Советские ученые Л.В. Канторович и В.А. Залгаллер являются основоположниками решения вопросов рационального раскрой промышленных материалов. Л.В. Канторович предложил метод разрешающих индексов, который был доработан на практике, В.А. Залгаллер – способ подбора целочисленных индексов. Разработанные методы, прошедшие практическую апробацию на Ленинградском вагоностроительном заводе в 1948 – 1949 гг., исследователи описали в книге «Рациональный раскрой промышленных материалов» [6].

В начале 60-х годов 20 века исследование задач раскрой-упаковки стало основой для зарождения Уфимской научной школы под руководством Э.А. Мухачевой, ученицы Г.Ш. Рубенштейна, который работал совместно с Л.В. Канторовичем. В работе Э.А. Мухачевой «Рациональный раскрой промышленных материалов. Применение в АСУ» отражена теория и практика прямоугольного раскрой в рамках системы автоматизированного проектирования технологической подготовки раскрой на холоднштамповочном производстве [7].

В уфимских работах Э.А. Мухачевой и В.М. Картака получил развитие метод «ветвей и границ» для решения задач упаковки за счет введения процедур сокращения перебора. В своих исследованиях В.М. Картак предлагает метод группировки для решения непрерывной задачи линейного раскрой, решает задачу упаковки и оценки плотности упаковки прямоугольников в полубесконечную полосу (точный алгоритм на базе матричного представления) [8, 9].

В результате проведенных исследований в судостроении Ю.И. Валиахметова (уфимская научная школа) определяет преимущества послойных алгоритмов для решения задач прямоугольного гильотинного раскрой листового материала [10]. Исследования А.С. Филипповой направлены на разработку решений в задачах ортогональной упаковки [11]. В работах А.А. Петунина предлагается схема автоматического выбора оптимизационного алгоритма раскрой материала в зависимости от типа задачи [12].

Вопросы рационального раскрой промышленных материалов в сочетании с вопросами обоснованного формирования материальных затрат на производство продукции рассмотрены в работах Д.А. Толстоброва, О.С. Сальковой [13, 14].

Решения задач раскрой-упаковки также рассматриваются зарубежными исследователями. В 1988 году основана Европейская специальная группа по задачам в области раскрой-упаковки (Euro Special Interest Group on Cutting and Packing, ESICUP). Организация объединяет практи-



ков и исследователей, интересующихся вопросами раскроя и упаковки, с целью улучшить общение между специалистами, работающими в этой области. В 1990 году Н. Duschhoff предложил классификацию задач раскроя-упаковки, которая была улучшена исследователями G. Waschet, H. Haubner, H. Schumann [15].

Таким образом, в научных и практических трудах авторов в основном рассмотрены вопросы разработки алгоритмов рационального раскроя, направленных на увеличение плотности упаковки, и выбора наиболее подходящих исходных материальных ресурсов для получения из них требуемых изделий.

Однако в существующих исследованиях по задаче раскроя-упаковки не уделено внимание вопросу обоснованной сортировки остатков листового металла после раскроя на группы деловых и неделовых материальных ресурсов (МР). Актуальность данного вопроса обосновывается тем, что оперативная и обоснованная сортировка МР после раскроя листового металла позволит снизить затраты на хранение и транспортировку неделовых МР, которые не будут участвовать в последующем производственном процессе, а при производстве продукции из деловых МР – увеличить коэффициент использования листового металла, снизить материальные затраты в целях дальнейшей оптимизации структуры затрат или увеличения чистого дохода предприятия. Решение данной задачи требуется в условиях многих предприятий машиностроения с единичным или серийным типом производства, где листовой металл занимает существенную долю материальных затрат, а номенклатура и комплектность заготовок и остатков листового металла после раскроя изменяются в зависимости от изменяющихся потребительских свойств продукции, поэтому однозначно определить возможность и целесообразность использования остатков листового металла после раскроя достаточно сложно.

Таким образом, в работе определен объект исследования – предприятия машиностроения с единичным или серийным типами производства. Предмет исследования – управленческие отношения, возникающие при управлении материальными ресурсами в процессе функционирования и развития бережливого производства на предприятиях машиностроения.

Цель исследования

Цель исследования – разработать инструментарий управления материальными ресурсами в бережливом производстве при раскрое листового металла на предприятиях машиностроения с единичным или серийным типами производства.

Под инструментарием управления материальными ресурсами в работе понимается совокупность средств управления и регламентированных бизнес-процессов, направленных на управление материальными ресурсами на предприятии. В соответствии с определенным объектом и целью исследования для решения исследуемых прикладных задач в качестве материального ресурса в работе рассматривается листовой металл.

Для решения поставленной цели определены основные задачи:

1. Исследовать теоретические и практические аспекты рационального раскроя листового металла и связанные с этим процессом вопросы бережливого производства и управленческого учета на предприятиях машиностроения.
2. Развить терминологический аппарат в области раскроя листового металла в целях обоснования предложений по управлению материальными ресурсами после раскроя.
3. Разработать методику сортировки остатков листового металла после раскроя в группы деловых и неделовых МР.
4. Обосновать возможность повышения экономической эффективности рационального раскроя листового металла с учетом деловых МР при освоении методики сортировки остатков листового металла после раскроя.

5. Предложить практические рекомендации по управленческому учету МР после раскроя листового металла.

Методика исследования

Методологической базой исследования является концепция бережливого производства, которая ориентирована на непрерывное совершенствование процессов организации и устранение всех видов потерь. В рамках исследования процессом, который необходимо совершенствовать, является раскрой листового металла, а потерями – затраты на неиспользованный листовой металл, которые зависят от проектирования карт рационального раскроя, обоснованной сортировки остатков листового металла после раскроя и временные затраты на поиск и транспортировку деловых МР.

Также в разрабатываемом инструментарии управления листовым металлом после раскроя учтены некоторые компоненты управления цепями поставок, например, прогнозирование спроса, управление запасами и пополнением относительно классов МР после раскроя листового металла, визуализация информации об остатках листового металла в разрезе номенклатуры с учетом деловых и неделовых МР [16].

Разрабатываемые предложения основываются на положениях теории и практики управленческого учета, так как для принятия оперативных и обоснованных решений требуется своевременный сбор, обработка, анализ и интерпретация разнообразной информации с учетом особенностей предприятия.

Использованы общенаучные методы исследования:

- анализ (проведен анализ теоретических и практических аспектов рационального раскроя и управленческого учета листового металла, бережливого производства, управления материальными ресурсами на машиностроительном предприятии);
- синтез (проведен синтез положений методики сортировки МР после раскроя листового металла);
- формализация (с помощью метода UML в работе приведено графическое описание исследуемых процессов; с помощью математических формул описана зависимость анализируемых экономических показателей).

Основные этапы работы: ситуационный анализ раскроя листового металла на машиностроительных предприятиях; исследование теории и практики рационального раскроя листового металла; разработка инструментария управления материальными ресурсами, полученными после раскроя листового металла.

Результаты исследования и их обсуждение

В ходе исследования проведен ситуационный анализ процесса раскроя листового металла на машиностроительных предприятиях г. Вологды с единичным и мелкосерийным типом производства емкостного оборудования. Основные результаты анализа отражены в табл. 1.

На основе проведенного ситуационного анализа можно сделать вывод, что основные причины недостатков управленческого учета деловых МР связаны именно с методикой учета и оборудованием для реализации процесса учета. Следовательно, в первую очередь необходима корректировка существующих правил управления материальными и информационными потоками в рамках учетного процесса и складирования деловых и неделовых МР после раскроя листового металла.

Терминологический аппарат, обеспечивающий исследование процесса раскроя листового металла.

В целях обоснования предложений по управлению материальными ресурсами после раскроя листового металла сформулирован дополнительный терминологический аппарат. Основные термины и их определения отражены в табл. 2.



Таблица 1. Результаты ситуационного анализа раскроя листового металла на машиностроительных предприятиях г. Вологды

Table 1. Results of situational analysis of sheet metal cutting at engineering enterprises in Vologda

№	Вывод	Влияние на затраты листового металла
1	Затраты на листовый металл в структуре материальных затрат составляют примерно 70%. Коэффициент использования листового металла составляет примерно 0,8	Цена реализации неделовых МР организациям перерабатывающим металлом ниже цены приобретения исходного материала примерно на 80-85%. Следовательно, неиспользованная часть металла снижает экономическую эффективность деятельности предприятия
2	Преобладает разрозненное проектирование карт раскроя листового металла	Снижается коэффициент использования материала, так как чем меньше ассортимента заготовок участвует в проектировании карт раскроя, тем меньше возможность оптимально расположить заготовки на определенном МР
3	Раскрой листового металла ведется на основе эмпирического восприятия работников. Регламент проектирования карт раскроя не определен	Снижается возможность увеличения коэффициента использования листового металла
4	Отсутствует регламент и методика сортировки листового металла после раскроя листового металла	Возможен рост затрат на листовый металл, так как деловые МР могут быть отнесены в группу неделовых, или затрат на хранение и транспортировку, так как неделовые МР могут быть отнесены в группу деловых
5	Отсутствует маркировка деловых материальных ресурсов после раскроя листового металла	Усложняется учет материальных ресурсов, следовательно увеличиваются временные затраты на их поиск при возникновении производственной потребности
6	Отсутствует постоянное проектирование карт раскроя с учетом деловых МР	Увеличение вероятности роста материальных затрат в связи с увеличением количества новых МР после раскроя листового металла
7	Учет листового металла ведется в разрезе номенклатуры исходных МР. Единица измерения – килограммы. Информационное обеспечение предусматривает возможность ведения более подробного учета, однако менеджерами предприятия не оформляются требуемые документы, не определены необходимые для этого действия участников процесса учета	Невозможно в информационной системе предприятия видеть данные об остатках цельных листов, разнообразии деловых МР и их характеристик, о формировании неделовых остатков. Увеличиваются временные затраты на проектирование карт раскроя с учетом деловых МР, планирование корректной закупки МР

Методика сортировки материальных ресурсов после раскроя листового металла. В ходе исследования разработана методика сортировки МР после раскроя листового металла при определении в группы деловых или неделовых МР. Основные положения методики отражены в табл. 3, более подробно описаны в работе [17].

Для принятия оперативных и обоснованных управленческих решений по сортировке МР после раскроя листового металла и в силу необходимости анализа большого массива данных целесообразна разработка системы поддержки принятия решений по сортировке МР после раскроя листового металла.

На основе разработанных предложений построена графическая интерпретация процесса организации раскроя листового металла с учетом деловых МР, на которой отражены основные участники и их действия (рис. 1).

Повышение экономической эффективности раскроя листового металла с учетом деловых МР

Для принятия решения по сортировке МР после раскроя в группу деловых или неделовых МР с учетом экономических аспектов необходимо сравнить изменение затрат в двух вариантах производства (логика сравнения подробнее рассмотрена в работе [18]):

- продукция производится из деловых материальных ресурсов;

Таблица 2. Термины, обеспечивающие исследование раскроя как системы материальных ресурсов
Table 2. Terms providing the research of cutting as a system of material resources

Термин	Определение
Многоуровневый раскрой	раскрой, в котором в качестве материального ресурса выступает материальный ресурс 0-го или n-го уровня (где n – натуральные числа от 1 до бесконечности)
Материальный ресурс 0-го уровня	материальный ресурс, из которого не производили заготовки
Материальный ресурс n-го уровня	материальный ресурс, который являлся исходным ресурсом для проектирования карт раскроя n раз
Уровень раскроя	раскрой из материального ресурса 0-го уровня или материального ресурса n-го уровня раскроя
Комплексное проектирование карт раскроя	проектирование карт раскроя на заготовки для всего ассортимента производимой продукции на предприятии с учетом имеющегося ассортимента листового металла
Деловые материальные ресурсы n-го уровня	материальные ресурсы n-го уровня, из которых технически возможно и экономически целесообразно организовать раскрой n-го уровня, то есть которые обладают замещающим свойством по отношению к материальным ресурсам других уровней
Неделовые материальные ресурсы	материальные ресурсы n-го уровня, из которых экономически не целесообразно организовать раскрой n-го уровня
Оценка материального ресурса n-го уровня	определение значений показателей, характеризующих МР n-го уровня, на основании которых производится идентификация материального ресурса n-го уровня с целью обоснования целесообразности производства из него продукции
Идентификация материального ресурса n-го уровня	сопоставление значений показателей, характеризующих материальный ресурс n-го уровня, с эталонными значениями показателей соответствующих классов материальных ресурсов. Целесообразность выделения классов деловых материальных ресурсов обоснована ниже в рамках разработанной методики
Сортировка материального ресурса n-го уровня	определение материального ресурса n-го уровня в группу деловых или неделовых МР с учетом изменения чистого дохода предприятия, соотношения спроса и предложения на соответствующий класс МР
Максимально допустимый срок хранения делового МР	срок хранения, при котором прирост чистого дохода от реализации продукции за счет производства из делового МР с учетом увеличения транспортных затрат и затрат на хранение равен приросту чистого дохода от реализации МР внешним организациям без добавления потребительских свойств

– продукция производится из исходного цельного материального ресурса, а остатки после предыдущих раскроев признаются неделовыми и реализуются внешним организациям.

Также при сравнении логично принять, что отсутствует ограничение на закупку листового металла с точки зрения предложения на рынке товаров. Следовательно, в обоих вариантах использования остатков листового металла после раскроя объем реализации продукции не отличается. В первом варианте возникают затраты на транспортировку и хранение деловых МР, а во втором варианте появляются не возмещенные затраты на листовый металл (W_{smc}' , руб./кг).

Сопоставление изменения чистого дохода в описанных вариантах показало, что при максимально допустимом сроке хранения с экономической точки зрения прирост транспортных затрат (W_t , руб./кг) и затрат на хранение (W_s , руб./кг·дни) будет равен разнице закупочной цены исходного материала (W_{smc} , руб./кг) и цены реализации неделового МР (V_{smi} , руб./кг). Следовательно, в выражении (1) представлено условие, при котором принимается итоговое решение об отнесении МР после раскроя листового металла в группу деловых МР с учетом предполагаемого срока хранения МР (T , дни):

$$W_t + W_s \cdot T < W_{smc} - V_{smi} . \quad (1)$$

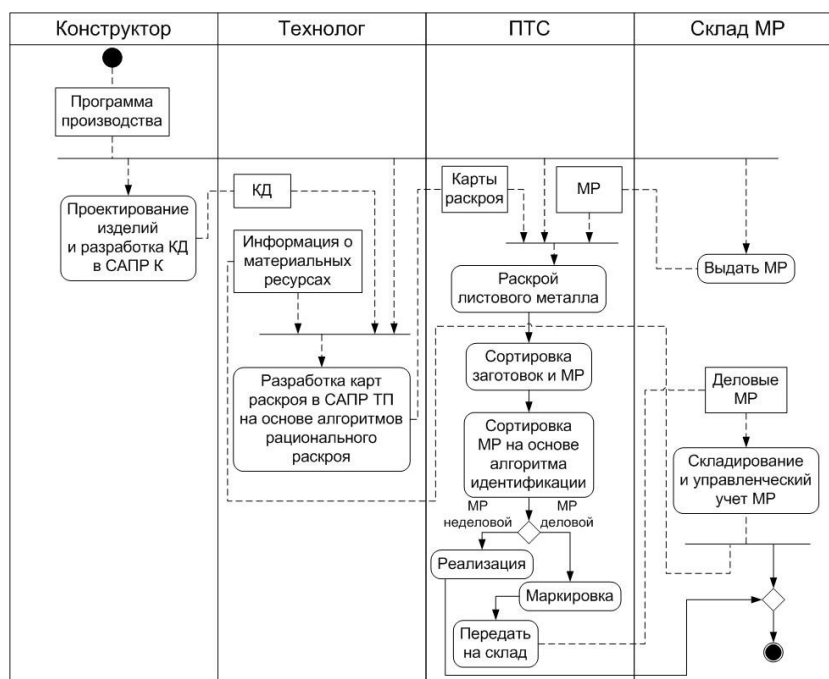


Рис. 1. Процесс организации рационального раскроя листового металла с учетом деловых материальных ресурсов
 Fig. 1. The process of organization of sheet metal rational cutting taking into account business material resources

Таким образом, когда прирост транспортных затрат и затрат на хранение МР после раскроя листового металла меньше не возмещенной части затрат на закупку исходного листового металла, то данный МР целесообразно признать деловым на третьем этапе сортировке, иначе – неделовым.

Практические рекомендации по организации управленческого учета деловых и неделовых МР в информационной системе предприятия

Система поддержки принятия решений (СППР). При современном развитии информационных технологий и необходимости оперативного и обоснованного принятия управленческого решения целесообразно разработать программный комплекс управления раскроем листового металла. Ранее подчеркивалось, что за рациональный раскрой листового металла отвечает соответствующая программа, которая относится к CAD/CAM системам. Также учет материальных ресурсов ведется в определенной ERP системе. Исходя из разработанных теоретических и практических предложений, необходима разработка ERP системы с элементами СППР, которая будет по предложенной методике сортировки определять произведенные МР после раскроя в группы деловых и неделовых МР. В ходе исследования рассматривается разработка СППР на основе нечеткой логики, актуальность применения которой, например, отражена в работах [19, 20].

Так как определенная информация о листовом металле будет передаваться из CAD/CAM-системы в ERP-систему (например, номенклатура МР после раскроя листового металла, значения показателей, характеризующие МР), а из ERP-системы в CAD/CAM-систему (например, номенклатура листового металла, который закупается у поставщика, результаты сортировки), то необходимо обеспечить синхронизацию данных между системами. После того как предложение по сортировке сформировано СППР и согласовано менеджером, информация обрабатывается дальше в соответствии с учетным процессом.

Количественный и качественный учет. Предлагается вести учет МР после раскроя не только в килограммах, но и в штуках для целей освоения методики сортировки МР после раскроя, раз-

Таблица 3. Основные положения методики сортировки материальных ресурсов после раскроя
Table 3. The main provisions of the sorting method of material resources after cutting

№	Основные положения	Описание
1	Проектирование карт раскроя с использованием информационных технологий	Программное средство необходимо в целях оперативного определения наиболее рационального расположения заготовок на заданной области раскроя (увеличение плотности упаковки и коэффициента использования материала). Также программное средство предлагает материальный ресурс, из которого целесообразнее производить продукцию
2	Формирование классов материальных ресурсов после раскроя листового металла	Материальные ресурсы после раскроя листового металла могут быть взаимозаменяемыми с точки зрения основных характеристик, поэтому целесообразно формировать классы МР, которые предлагается определять на основании схожести МР по оцениваемым показателям в определенном интервале значений. Учет получаемых МР после раскроя ведется в разрезе классов в килограммах и штуках, что позволяет программному средству при проектировании карты раскроя более оперативно определить выбор МР на основе анализа шаблонов имеющихся классов МР с учетом наличия на складе, чем перебирать все имеющиеся МР. При получении МР после раскроя листового металла оцениваются значения характеризующих его показателей. Далее происходит идентификация МР, то есть отнесение МР к соответствующему классу на основе сопоставления значений показателей МР с эталонными значениями показателей классов. В дальнейшем осуществляется количественный учет
3	Предварительная сортировка	Не целесообразно хранить материальные ресурсы, из которых можно получить заготовку, но нет потребности в производстве. Поэтому, если предполагаемый спрос (Q_{sm} , шт./мес.) больше количества МР в классе (N_{sm}) на момент сортировки, то МР следует признать деловым, иначе – неделовым
4	Итоговая сортировка	Сортировка на основе сравнения изменения технологических затрат на хранение и транспортировку МР при отнесении его в группу деловых МР с непокрытыми затратами на покупку листового металла при реализации неделового МР по сниженной цене
5	Переоценка деловых МР	Следует периодически проводить переоценку хранящихся деловых МР, так как номенклатура производимых заготовок и значения показателей, характеризующих заготовки, могут изменяться

дельного учета исходных и образованных после раскроя МР и для проектирования карт раскроя с использованием деловых МР. В качестве единицы измерения неделовых МР предполагается, что достаточно будет одной – килограммы. Также к автоматизации заготовительного производства предъявляются требование ведения учета размеров и свойств материалов. Данное требование особенно актуально для деловых МР, так как каждый МР уникален. На производствах, где не всегда известен состав последующих партий производства, и где невозможно организовать поток последовательного использования остатков одного раскроя в следующем раскрое, организация такого учета является сложной задачей. В связи с этим целесообразно рассматривать МР после раскроя как полуфабрикаты, которые вместе с изделиями производятся из исходного материала или ранее произведенных полуфабрикатов, и номенклатура которых будет соответствовать классам МР. Именно учет деловых МР по классам позволит разделить номенклатуру и количество исходных МР 0-го уровня (МР полученные от поставщика) от деловых и неделовых МР, что позволит получать из информационной системы предприятия необходимые оперативные данные о структуре оставшихся МР (исходный листовый металл, деловые и неделовые МР после раскроя листового металла), динамике потребления соответствующих классов деловых МР, которые необходимы для оценки потенциального объема потребления МР соответствующих классов для принятия обоснованных управленческих решений (проектирование рациональных карт раскроя



с учетом деловых МР; сортировка МР после раскроя, своевременная закупка и реализация соответствующих МР).

Метрологическое обеспечение и маркировочное оборудование. Так как листовой металл может передаваться в производство различными объемами (от одного делового МР, цельного листа до десятка цельных листов и более), то для целей учета в килограммах необходимо наличие промышленных весов на складе материально-технических ресурсов (МТР). В целях учета деловых МР после раскроя в разрезе определенных классов и оперативного поиска соответствующего МР, указанного в карте раскроя, необходимо использовать маркировочное оборудование, которое наносит штрих-код на МР.

С точки зрения процессного подхода и управления цепями поставок в ходе исследования выделены основные участники процесса учета и поэтапно их основные действия. Кладовщик отвечает за отражение в учетной системе предприятия движения МР, которое происходит на этапе поступления МР от внешнего поставщика или с производственно-технологической системы предприятия и во время перемещения МР в производство для целей изготовления продукции. При этих действиях массу МР кладовщик фиксирует с использованием промышленных весов.

Технолог, получая информацию из ERP системы о номенклатуре имеющихся МР на предприятии, формирует карты раскроя с использованием программы рационального раскроя. При этом необходимо предусмотреть размещения на карте раскроя дополнительных технологических резцов (исключения острых углов у МР после раскроя) для обеспечения безопасной транспортировки деловых остатков к местам хранения. Полученные карты раскроя загружаются в СППР сортировки, которая, анализируя значения показателей, характеризующих МР после раскроя, предлагает технологу рекомендации по сортировке получаемых после раскроя МР в группы деловых или неделовых МР по соответствующим классам. На основе обратной связи от технолога СППР присваивает получаемым МР соответствующий штрих-код, в котором содержится информация о группе (деловой или неделовой) и классе МР. Именно наличие штрих-кода позволит выстроить оперативную внутреннюю логистику и управленческий учет при внутреннем перемещении МР. Интеграция СППР сортировки в ERP систему позволит технологу сформировать в ERP номенклатуру МР, получаемых после раскроя, и задание на раскрой.

На основе задания на раскрой и после получения МР со склада рабочий производственно-технологической системы (ПТС) осуществляет раскрой листового металла на соответствующем оборудовании по картам раскроя. После технологических операций в ERP системе подтверждается соответствующий производственный этап, на основе чего в ERP формируются производственные документы о выпуске изделий и МР после раскроя (деловые и неделовые МР). Далее рабочий сортирует результат раскроя на заготовки и МР, с помощью маркировочного оборудования наносит на МР после раскроя соответствующий штрих-код, передает изделия на следующий технологический передел, а МР на склад МТР.

Кладовщик оформляет поступление с ПТС МР после раскроя: определяет массу получаемых МР с помощью промышленных весов; считывая с помощью сканера штрих-код с МР, отражает в ERP системе поступление на соответствующую номенклатуру; далее по определенной схеме складирования кладовщик определяет место хранения МР, также отражая данные действия в ERP.

На основании описания материальных и информационных потоков после раскроя на рис. 2 построено графическое представление управленческого учета МР после раскроя листового металла. На диаграмме отражены основные участники процесса, по соответствующим «дорожкам деятельности» отражены процедуры учета сотрудников, их взаимодействие с другими участниками процесса, материальные и информационные потоки.

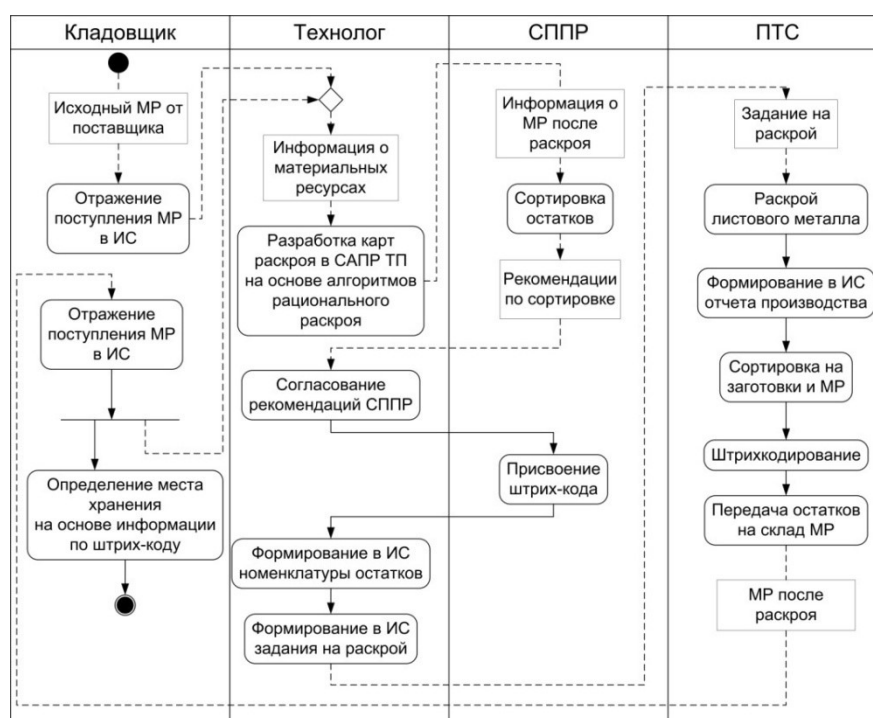


Рис. 2. Графическое представление управленческого учета МР после раскрой листового металла

Fig. 2. Graphical representation of management accounting of material resources after sheet metal cutting

Полученные оперативные данные о листовом металле в натуральном и стоимостном выражении позволяют менеджерам предприятия провести необходимый анализ «узких» мест процесса раскрой и принять корректирующие управленческие решения, направленные на совершенствование процессов на предприятии с целью создания непрерывного потока ценности для потребителя и формирования конкурентных преимуществ на рынке реализуемой продукции.

Оценка затрат на листовую металл. С точки зрения оценки затрат в стоимостном выражении предлагается вести учет деловых МР по утвержденной в учетной политике предприятия цене возвратных отходов (по соответствующей цене исходного МР или пониженной цене), а учет неделовых МР – по утвержденной цене металлолома (предполагаемой цене реализации). То есть в случае возникновения неделовых МР при производстве изделия одна часть цены МР n -го уровня должна быть отражена на затратах изделия, так как конкретный неделовой МР возникает в процессе производства этого изделия, а вторая часть будет являться стоимостной оценкой неделового МР. Такой учет затрат позволяет более точно отражать фактические операционные затраты в разрезе реализуемой продукции. Но это требует более подробного учетного процесса в информационной системе предприятия, технические возможности которой не всегда это позволяют. Поэтому при отсутствии возможности организовать учет предложенным способом предлагается неделовые остатки учитывать по цене МР n -го уровня при ежемесячном списании их на общепроизводственные затраты, как отходы производства с последующей реализацией через принятые механизмы учета реализации металлолома.

Ценообразование с учётом неделовых МР. При формировании цен реализации для коммерческих предложений перед менеджерами возникает вопрос оценки плановых затрат на материальные ресурсы. В случае использования металла, особенно в условиях единичного или серийного производства, часто оценка материальных затрат основывается на массе цельных МР 0-го уровня. Но в действительности часть металла может быть признана деловыми и неделовыми МР, соответственно плановые затраты могут получиться завышенными в целях исключения соответству-



ющих рисков нерационального раскроя. Этот подход возможно применять, но в условиях конкурентной борьбы целесообразно плановые затраты оценивать на основе значений массы деталей в сочетании с ценой закупки МР и возможной массы неделовых остатков, которые возникают от использования цельных МР 0-го уровня, в сочетании с ценой сниженной на цену реализации неделовых МР сторонним организациям. Это позволит получить конкурентные преимущества в части возможности предложить более низкую цену изделия для покупателя. Оценить точную массу неделовых МР на этапе формирования коммерческих предложений на многосоставные изделия достаточно сложно. Для этого потребуются длительное время и затраты на проектирование изделия и карт раскроя, что нецелесообразно при отсутствии подтверждения о размещении клиентского заказа на предприятии. В случае простых односоставных изделий (если изделиями являются детали после раскроя) подробное проектирование обосновано, так как потребует немного времени и приемлемые затраты. Поэтому при изготовлении многосоставных изделий целесообразно оценивать приблизительно массу неделовых МР на основе процента от массы деталей. Именно в этом вопросе очень актуальны для менеджеров данные управленческого учета о среднем проценте неделовых МР от массы деталей по соответствующей номенклатуре МР. Следовательно, целесообразно в информационной системе предприятия постоянно вести соответствующий анализ статистических данных, которые возможно реализовать также благодаря сформулированным выше предложениям по организации управленческого учета (учет остатков МР после раскроя по соответствующим классам в штуках и килограммах).

Заключение

В результате проведенных исследований, направленных на разработку инструментария управления МР в бережливом производстве на предприятиях машиностроения, где основным материальным ресурсом является листовая металл, получены следующие выводы:

- выявленные проблемы управления МР при организации раскроя листового металла требуют разработки соответствующих инструментов;
- предложенный терминологический аппарат позволяет исследовать процесс раскроя листового металла как многоуровневую систему раскроя;
- разработанная методика сортировки МР после раскроя листового металла позволяет принимать обоснованные решения при сортировке остатков листового металла в группы деловых или неделовых МР;
- апробация методики сортировки МР после раскроя листового металла подтверждает экономическую эффективность разработанных предложений;
- разработка СППР сортировки МР после раскроя листового металла позволит принимать оперативные и обоснованные управленческие решения при отнесении остатков листового металла в группу деловых или неделовых МР. Практические рекомендации по организации управленческого учета листовым металлом в области раскроя отражают особенности освоения разработанных предложений на машиностроительных предприятиях.

В рамках проведенного исследования достигнута цель – разработан инструментарий управления материальными ресурсами в бережливом производстве при раскрое листового металла на предприятиях машиностроения с единичным или серийным типами производства.

В качестве разработанного инструментария выступают следующие инструменты управления МР: методика сортировки остатков листового металла после раскроя в группы деловых или неделовых МР; прототип СППР сортировки МР после раскроя листового металла, для разработки которой определены основные особенности; бизнес-процесс управленческого учета листового металла после раскроя, выраженный в определении действий менеджеров с учетом разработанных практических рекомендаций.

Следует отметить, что для практической реализации разработанного инструментария требуется использование соответствующих средств управления МР: метрологическое и маркировочное оборудование, необходимое для учета листового металла; CAD/CAM система, обеспечивающая разработку карт раскроя листового металла с наибольшим коэффициентом использования; ERP система, возможности которой включают предложенные практические рекомендации по управленческому учету листового металла в информационной системе предприятия.

Разработанный инструментарий обеспечивает совершенствование процесса раскроя листового металла и устранение потерь, возникающих при необоснованной сортировке остатков листового металла после раскроя: снижаются затраты на листовый металл в связи с выявлением деловых МР, которые ранее при эмпирической сортировке могли быть признаны неделовыми; снижаются затраты на хранение и транспортировку неделовых МР, которые ранее могли быть признаны деловыми; снижаются временные затраты на поиск и транспортировку деловых МР при возникновении производственной потребности. Это позволяет менеджерам предприятия оптимизировать структуру затрат или увеличить чистый доход.

Направления дальнейших исследований

В дальнейших исследованиях целесообразно уделить внимание микрологистическим процессам в рамках складского учета деловых МР: разработать предложения по организации хранения и маркировки деловых МР после раскроя в целях их более оперативного поиска при возникновении производственной потребности.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. **Шичков А.Н., Борисов А.А., Кремлёва Н.А.** Цифровая платформа контроллинга прикладных задач инженерного бизнеса // Цифровая экономика и Индустрия 4.0: тенденции 2025. Сборник трудов научно-практической конференции с международным участием. Под редакцией А.В. Бабушкина. 2019. С. 652–664.
2. **Shichkov A., Gluhov V.** Model and toolkit for the formation of the production enterprise digital platform. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2019, no. 497, 012093. DOI: 10.1088/1757-899X/497/1/012093
3. **Шичков А.Н., Борисов А.А., Кремлева Н.А.** Проектирование операционного цикла конверсии производственного капитала в условиях литейно-механического завода // Вестник Южно-Российского государственного технического университета (НПИ). Серия: Социально-экономические науки. 2019. № 4. С. 4–17.
4. **Shichkov A.N.** Innovative Enhancement of an Engineering Business: Operation Cycle Method. Scientific Israel-Technological Advantages, 2016, vol. 18, no. 4, pp. 100–111.
5. **Сулоева С.Б., Гульцева О.Б.** Система управления затратами: концептуальные положения // Организатор производства. 2017. № 3 (25). С. 47–58.
6. **Канторович Л.В., Залгаллер В.А.** Рациональный раскрой промышленных материалов. Новосибирск: Наука, 1971. 300 с.
7. **Мухачева Э.А.** Рациональный раскрой промышленных материалов. Применение АСУ. М.: Машиностроение, 1984. 176 с.
8. **Kartak V.M., Mesyagutov M.A., Mukhacheva E.A., Filippova A.S.** Local search of orthogonal packings using the lower bounds. Automation and Remote Control, 2009, vol. 70, no. 6, pp. 1054–1066.
9. **Kartak V.M., Ripatti A.V.** Large proper gaps in bin packing and dual bin packing problems. Journal of Global Optimization, 2019, vol. 74, no. 3, pp. 467–476.
10. **Валиахметова Ю.И., Телицкий С.В.** Применение систем автоматизированного проектирования карт раскроя в судостроении // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2012. № 6. С. 38–43.



11. **Валихметова Ю.И., Филиппова А.С.** Теория оптимального использования ресурсов Л.В. Канторовича в задачах раскроя-упаковки: обзор и история развития методов решения // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. 2014. № 1. С. 186–197.
12. **Петуниин А.А.** Автоматический выбор метода расчета фигурного раскроя с использованием сравнительного анализа алгоритмов // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2010. № 5 (316). С. 169–171.
13. **Толстобров Д.А.** Оперативная оценка вероятности выполнения заказа при условии неопределенности потребительского спроса // Прикладная математика и вопросы управления. 2019. № 3. С. 133–157.
14. **Салькова О.С., Соколовский М.В., Кононова С.А., Колотова Е.А.** Организация учета движения металла на предприятиях химического машиностроения: проблемы и возможности // Фундаментальные исследования. 2019. № 11. С. 163–168.
15. **Wascher G., Haubner H., Schumann H.** An improved typology of cutting and packing problems. *European Journal of Operational Research*, 2007, vol. 183, no. 3, pp. 1109–1130.
16. **Радаев А.Е., Левенцов В.А., Кобзев В.В.** Оптимизационные модели обоснования характеристик системы управления многономенклатурными запасами на промышленном предприятии // Логистика и управление цепями поставок. 2017. № 3. С. 4–20.
17. **Smirnov A., Kobzev V., Skvortsov S.** Sheet metal material resources management in lean production. *E3S Web of Conferences*, 2019, no. 110, 01029. DOI: 10.1051/e3sconf/201911001029
18. **Смирнов А.А.** Экономические аспекты принятия управленческих решений при идентификации материальных ресурсов листового металла на машиностроительном предприятии // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. 2017. № 6. С. 195–204.
19. **Skorodumov P.V.** Modelling of economic systems with Petri nets. *Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast*, 2014, no. 4, pp. 253–259.
20. **Крошилиин А.В., Бабкин А.В., Крошилиина С.В.** Особенности построения систем поддержки принятия решений на основе нечёткой логики // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление. 2010. № 97 (2). С. 58–63.

REFERENCES

1. **A.N. Shichkov, A.A. Borisov, N.A. Kremleva,** Tsifrovaya platforma kontrollinga prikladnykh zadach inzhenerenogo biznesa [Digital platform of controlling applied tasks in engineering business]. *Tsifrovaya ekonomika i Industriya 4.0: tendentsii 2025. Sbornik trudov nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem. Pod redaktsiyey A.V. Babkina*, 2019, pp. 652–664. (rus)
2. **A. Shichkov, V. Gluhov,** Model and toolkit for the formation of the production enterprise digital platform. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019, no. 497, 012093. DOI: 10.1088/1757-899X/497/1/012093
3. **A.N. Shichkov, A.A. Borisov, N.A. Kremleva,** Proyektirovaniye operatsionnogo tsikla konversii proizvodstvennogo kapitala v usloviyakh liteyno-mekhanicheskogo zavoda [Designing the operating cycle of conversion of production capital at foundry and mechanical plant]. *Vestnik Yuzhno-Rossiyskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (NPI). Seriya: Sotsialno-ekonomicheskiye nauki*, 2019, no. 4, pp. 4–17. (rus)
4. **A.N. Shichkov,** Innovative Enhancement of an Engineering Business: Operation Cycle Method. *Scientific Israel-Technological Advantages*, 2016, vol. 18, no. 4, pp. 100–111.
5. **S.B. Suloyeva, O.B. Gultseva,** Sistema upravleniya zatratami: kontseptualnyye polozheniya [The system of cost management: conceptual provisions]. *Organizator proizvodstva*, 2017, no. 3 (25), pp. 47–58. (rus)
6. **L.V. Kantorovich, V.A. Zalgaller,** Ratsionalnyy raskroy promyshlennykh materialov [Rational cutting of industrial materials]. Novosibirsk, Nauka, 1971. 300 s. (rus)
7. **E.A. Mukhacheva,** Ratsionalnyy raskroy promyshlennykh materialov. Primeneniye ASU [Rational cutting of industrial materials. Application of ACS]. Moscow, Mashinostroyeniye, 1984. 176 s. (rus)

8. **V.M. Kartak, M.A. Mesyagutov, E.A. Mukhacheva, A.S. Filippova**, Local search of orthogonal packings using the lower bounds. *Automation and Remote Control*, 2009, vol. 70, no. 6, pp. 1054-1066.
9. **V.M. Kartak, A.V. Ripatti**, Large proper gaps in bin packing and dual bin packing problems. *Journal of Global Optimization*, 2019, vol. 74, no. 3, pp. 467–476.
10. **Yu.I. Valiakhmetova, S.V. Telitskiy**, Primeneniye sistem avtomatizirovannogo proyektirovaniya kart raskroya v sudostroyenii [Application of computer-aided of cards of cutting out designs is in shipbuilding]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2012, no. 6, pp. 38–43. (rus)
11. **Yu.I. Valiakhmetova, A.S. Filippova**, Teoriya optimalnogo ispolzovaniya resursov L.V. Kantorovicha v zadachakh raskroya-upakovki: obzor i istoriya razvitiya metodov resheniya [Theory of optimum resource utilization by L.V. Kantorovich in cutting-packing problems: overview and history of development of solving methods]. *Vestnik Ufimskogo gosudarstvennogo aviatsionnogo tekhnicheskogo universiteta*, 2014, no. 1, pp. 186–197. (rus)
12. **A.A. Petunin**, Avtomaticheskii vybor metoda rascheta figurного raskroya s ispolzovaniyem sravnitel'nogo analiza algoritmov [Automatic selection of the figurate cutting calculation method using comparative analysis of algorithms]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georursov*, 2010, no. 5 (316), pp. 169–171. (rus)
13. **D.A. Tolstobrov**, Operativnaya otsenka veroyatnosti vypolneniya zakaza pri uslovii neopredelennosti potrebitelskogo sprosa [Operational evaluation of the probability of performance of the order in the condition of uncertainty of consumer demand]. *Prikladnaya matematika i voprosy upravleniya*, 2019, no. 3, pp. 133–157. (rus)
14. **O.S. Salkova, M.V. Sokolovskiy, S.A. Kononova, Ye.A. Kolotova**, Organizatsiya ucheta dvizheniya metalla na predpriyatiyakh khimicheskogo mashinostroyeniya: problemy i vozmozhnosti [Organization of accounting the motion of metal on chemical engineering enterprises: problems and opportunities]. *Fundamentalnyye issledovaniya*, 2019, no. 11, pp. 163–168. (rus)
15. **G. Wascher, H. Haubner, H. Schumann**, An improved typology of cutting and packing problems. *European Journal of Operational Research*, 2007, vol. 183, no. 3, pp. 1109–1130.
16. **A.Ye. Radayev, V.A. Leventsov, V.V. Kobzev**, Optimizatsionnyye modeli obosnovaniya kharakteristik sistema upravleniya mnogonomenklaturnymi zapasami na promyshlennom predpriyatii [Optimization models for determination of characteristics for multi-item inventory control system within industrial enterprise]. *Logistika i upravleniye tsepyami postavok*, 2017, no. 3, pp. 4-20. (rus)
17. **A. Smirnov, V. Kobzev, S. Skvortsov**, Sheet metal material resources management in lean production. *E3S Web of Conferences*, 2019, no. 110, 01029. DOI: 10.1051/e3sconf/201911001029
18. **A.A. Smirnov**, Ekonomicheskiye aspekty prinyatiya upravlencheskikh resheniy pri identifikatsii materialnykh resursov listovogo metalla na mashinostroitel'nom predpriyatii [Economic aspects of making managerial decisions in the identification of material resources at an engineering enterprise]. *St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Economics*, 2017, no. 6, pp. 195–204. (rus)
19. **P.V. Skorodumov**, Modelling of economic systems with Petri nets. *Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast*, 2014, no. 4, pp. 253–259.
20. **A.V. Kroshilin, A.V. Babkin, S.V. Kroshilina**, Osobennosti postroyeniya sistem podderzhki prinyatiya resheniy na osnove nechetkoy logiki [Features of development of decision support systems based on fuzzy logic]. *Nauchno-tekhnicheskiye vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta. Informatika. Telekommunikatsii. Upravleniye*, 2010, no. 97 (2), pp. 58–63. (rus)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / THE AUTHORS

СМИРНОВ Артём Алексеевич

E-mail: smirnov.artem.a@yandex.ru

SMIRNOV Artyom A.

E-mail: smirnov.artem.a@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5431-4150>



КОБЗЕВ Владимир Васильевич

E-mail: kobzev@spbstu.ru

KOBZEV Vladimir V.

E-mail: kobzev@spbstu.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4144-4287>

Статья поступила в редакцию 22.08.2021; одобрена после рецензирования 13.10.2021; принята к публикации 15.10.2021.

The article was submitted 22.08.2021; approved after reviewing 13.10.2021; accepted for publication 15.10.2021.