

СТАТЬИ

УДК 004.93:658.5.011

DOI

**ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОТОКОВ
НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМА РАСПОЗНАВАНИЯ
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИТУАЦИЙ****Акимов С.С., Трипкош В.А.***ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», Оренбург,
e-mail: sergey_akimov_work@mail.ru.*

Цель исследования состоит в рассмотрении процесса реализации карты потока создания ценности, а также в проведении математической интерпретации задачи повышения эффективности производства посредством разработанной карты потока. В результате проведенного анализа был выделен метод бережливого производства – карты потока создания ценностей, как один из наиболее перспективных. Приведен внешний вид карты потока на примере производственного предприятия. Далее рассмотрена ключевая характеристика карты – поток ценности, который представляет собой совокупность производственных операций. Математическая интерпретация потока при разных случаях показала наличие множества стохастических элементов, которые необходимо учитывать при анализе производства. Определено, что наличие значительного количества разнообразных погрешностей не дает возможности откалибровать систему достаточно точно, потому в процессе планирования производства необходимо применение динамического анализа, который может быть выполнен посредством распознавания производственной ситуации. Коррекция стохастических показателей производится посредством применения статистического оценивания, основанного на логистическом распределении вероятности. Для получения возможности автоматизировать процесс распознавания и приведен алгоритм распознавания производственных ситуаций. Разработанный алгоритм позволяет оценивать производственную ситуацию посредством статистического анализа и корректировать время подачи заготовки на конкретный станок из совокупности производственного оборудования. Предложен вариант повышения эффективности производства путем распознавания производственных ситуаций при внедрении карты потока создания ценности.

Ключевые слова: карта потока создания ценности, производственные потоки, распознавание ситуаций**OPTIMIZATION OF PRODUCTION FLOWS BASED
ON AN ALGORITHM FOR RECOGNIZING
PRODUCTION SITUATIONS****Akimov S.S., Tripkosh V.A.***Orenburg State University, Orenburg, e-mail: sergey_akimov_work@mail.ru.*

The purpose of the study is to consider the process of constructing a value stream map, as well as to carry out a mathematical interpretation of the problem of increasing production efficiency through flow maps. As a result of the analysis, the lean production method – value stream maps – was identified as one of the most promising. The appearance of the flow map is shown using the example of a manufacturing enterprise. Next, we consider the key characteristic of the map – the value flow, which is a set of production operations. Mathematical interpretation of flow in different cases showed the presence of many stochastic elements that must be taken into account when analyzing production. It has been determined that the presence of a large number of errors does not make it possible to accurately calibrate the system, therefore, when planning production, a dynamic analysis is required, which can be carried out by recognizing the production situation. Correction of stochastic indicators is carried out through the use of statistical estimation based on the logistic probability distribution. To be able to automate the recognition process, an algorithm for recognizing production situations is presented. The developed algorithm makes it possible to assess the production situation through statistical analysis and adjust the time of supply of the workpiece to a specific machine from a set of production equipment. An option has been proposed to increase production efficiency by recognizing production situations when introducing a value stream map.

Keywords: value stream map, production flows, situation recognition

Одной из важнейших тенденций настоящего времени является трансформация производственных процессов. В настоящее время научно-техническое развитие ряда сфер человеческой деятельности не только предоставляет новые возможности, но и диктует необходимость изменения в классических производственных системах с целью поддержки конкурентоспособности предприятий на необходимом уровне [1].

Данная ситуация способствует созданию и развитию новых концепций, которые позволили бы проводить анализ производственного цикла и на его основе оптимизировать основные операции с целью достижения высокой эффективности всего производственного процесса.

Оптимизация производственного процесса может быть проведена целым набором различных способов и методов [2, с. 17-18].

Однако ведущей на сегодня является концепция бережливого производства. Данная концепция предложена японским менеджментом в семидесятых годах прошлого века и с тех пор стала одной из ведущих при проектировании и оптимизации производства.

Одним из наиболее популярных инструментов в рамках бережливого производства является карта потока создания ценности. Карта потока представляет собой визуальное отображение всех производственных циклов в единой семантической системе [3]. Однако реализация подобной карты вызывает определенные трудности в части их оптимизации, поскольку при анализе потоков возникает множество производственных ситуаций, которые необходимо правильно распознавать.

Карта потока создания ценности

В процессе реализации карты потока ответственная рабочая группа создает визуальную модель производственного процесса, на которой отмечает основные единицы оборудования (машины, станки), материальные (транспортные) потоки между ними, а также потоки информации. Отдельно на карте отмечаются запасы ресурсов и заготовок, скапливающихся на том ли ином производственном участке, а также отмечают время, затрачиваемое на тот или иной процесс. Основная цель при этом – выявить потери ресурсов и времени, характерные для каждого этапа, и найти пути решения их устранения путем распознавания производственной ситуации [4].

Все потери, выявленные на каждом участке, структурируются, далее происходит их количественная оценка. Каждый поток строится отдельно и не связывается с внешними процессами предприятия (исключение составляет лишь поставка ресурсов со склада). Предприятие заинтересовано в точном и подробном описании каждого потока, поскольку это влияет на итоговую оценку [5, с. 93-103].

Пример карты потока создания ценности для условного производственного предприятия отображен на рисунке 1.

В настоящее время вопросами создания карт потока создания ценности занимается множество исследователей. Среди иностранных исследований можно выделить работу J.C. Chen, B.D. Shady, Y. Li [6], в которой предлагается карта потока для предприятия определенной сферы. Посредством сочетания целого ряда методов бережливого производства авторы исследования смогли добиться снижения излишков запасов.

Иной подход демонстрируется в работе T. Munyai, O.A. Makinde, C. Mbohwa, B. Ramatsetse [7], в которой авторы предлагают оценивать потери при помощи фреймвого представления процесса, что позволяет учитывать потенциальные связи потока с другими объектами и находить проблемы при различных производственных ситуациях.

В исследовании J.-C. Lu, T. Yang, C.-Y. Wang [8] приведено множество недостатков современных попыток построения карты потока, и на основе проведенного анализа неточностей авторы предлагают способ устранения недостатков, что позволяет добиться существенно более высоких результатов.

Среди отечественных работ можно выделить статью С.А. Гунькова, С.С. Акимова [9], в которой подробно рассматривается процесс построения карты потока создания ценности для реальной и идеальной ситуации. В процессе авторы раскрывают необходимость точного отслеживания всех потоков, их замера, а также отмечают известную сложность подобного отслеживания.

Разработка карты потока с учетом динамического состояния всех потоков предложена в работе П.А. Русских, Д.В. Капулина, О.В. Дрозда, С.Ю. Смогляка [10]. Для создания карты потока используются современные программные системы, которые позволяют проводить имитационное моделирование производства.

В исследовании О.В. Середкина и Н.Л. Кетовой [11] учтены риск-факторы при построении карты потока и использована теория шести сигм при распознавании и оценке производственной ситуации.

Таким образом, в настоящее время имеется повышенный интерес к построению и анализу карт потока создания ценностей, поскольку данный инструмент позволяет повышать эффективность производства.

Математическая интерпретация оценки потоков

Традиционно поток ценности рассматривается как движение заготовки от станка к станку (рис. 2).

Интерпретируем задачу математически, через время, которое затрачивается на производство одной единицы продукции. Если обозначить t_{km} как время, которое затрачивается на обработку k -й заготовки на m -м станке, то для стартовой единицы, с учетом того что все станки свободны, зависимость будет иметь вид [13]:

$$T_k = t_{k1} + t_{k1} + \dots + t_{kn}. \quad (1)$$

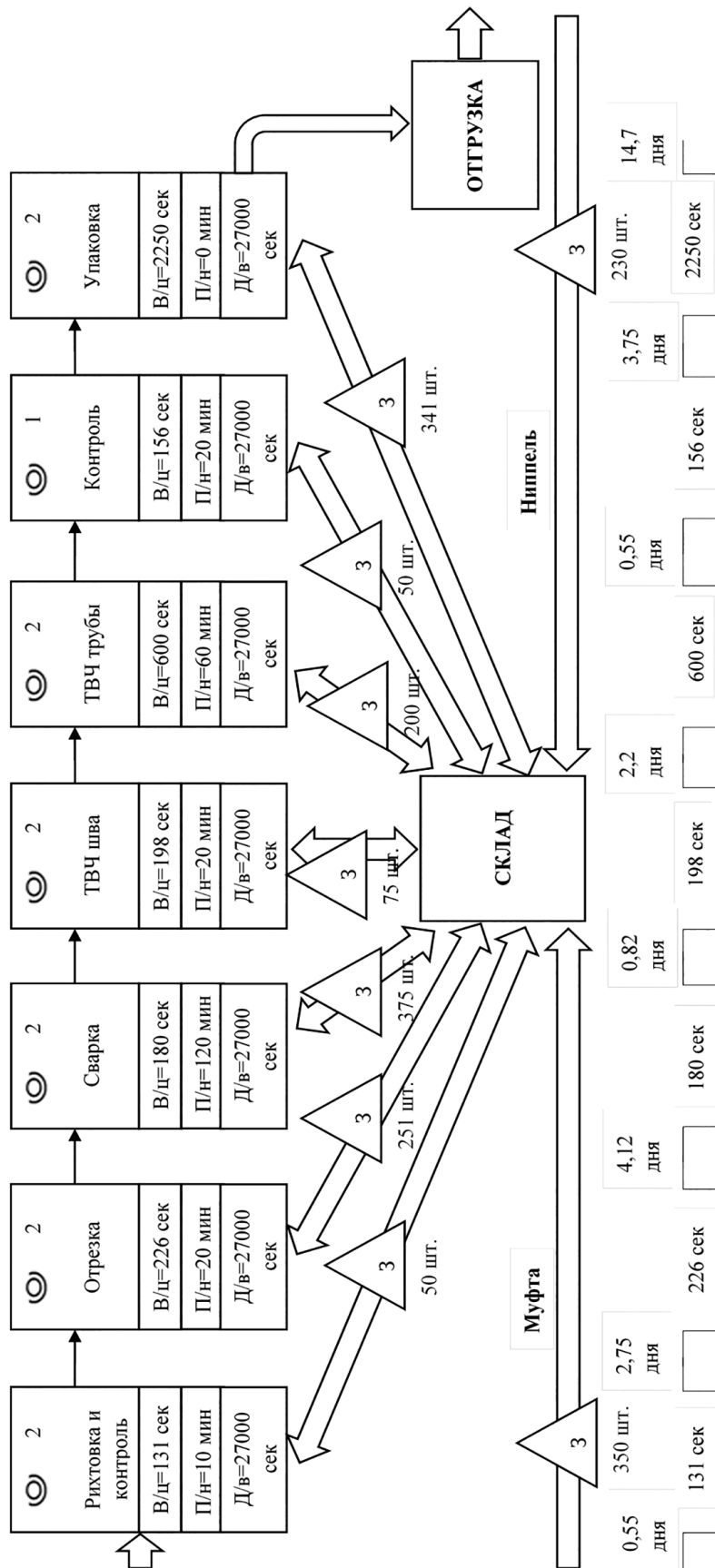


Рис. 1. Пример карты потока создания ценности для условного предприятия

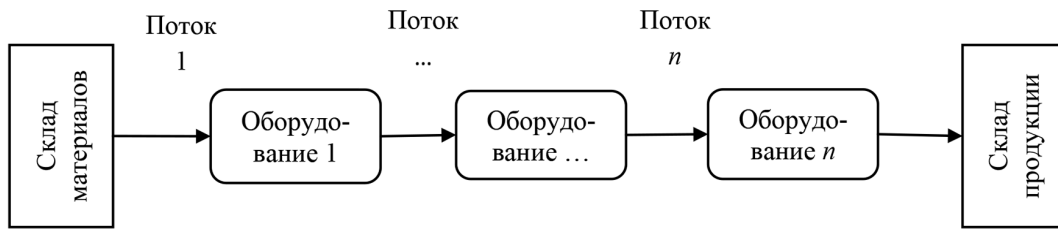


Рис. 2. Схема типичного производственного потока [12]

Для всех последующих единиц продукции, при условии наличия группы идентичных станков, вводится время ожидания, которое изменяет вид зависимости, поскольку для начала работы над заготовкой необходимо дождаться окончания прошлой работы:

$$T_k = t_{k1} + \max(t_{k1}; t_{k2}) + \max(t_{k2}; t_{k3}) + \dots + \max(t_{k(n-1)}; t_{kn}) + t_{kn}. \quad (2)$$

Кроме того, время обработки, загрузки и выгрузки, транспортировки и т.д. является стохастической величиной, а значит необходимо учитывать некоторую погрешность e , с учетом которой зависимость преобразится следующим образом [14]:

$$T_k = t_{k1} + e_{k1} + \max(t_{k1} + e_{k1}; t_{k2} + e_{k2}) + \dots + \max(t_{k(n-1)} + e_{k(n-1)}; t_{kn} + e_{kn}) + t_{kn} + e_{kn}. \quad (3)$$

Наличие большого количества погрешностей не дает возможности точно откалибровать систему, потому при планировании производства необходим динамичный анализ, который может быть проведен посредством распознавания производственной ситуации.

Процедура распознавания производственных ситуаций

Коррекция времени базируется на статистическом оценивании определенного класса производственной ситуации $r \in \{1, \dots, R_N\}$ и класс $i \in \{1, \dots, M\}$ каждого $j \in \{1, \dots, N\}$ станка, расчете времени и выборе минимального варианта, для чего проводится расчет [15]:

$$S_r = \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^M \delta_{ijr} \sum_{t=1}^T \sum_{q=1}^{Q_t} \delta_{iq} \cdot \log \lambda_{iq} + \log P(r), \quad (4)$$

предполагая выбор $r = \arg \max (S_r)$,

где N, M – количество станков в группе и число вариантов ситуаций для распознавания; $\delta_{ijr}, \delta_{iq}$ – переменные, отображающие наличие i -го класса ситуации на j -м расположении в r -й возможности состава станков, и оценка времени t по градации q из Q_t градаций;

$\log \lambda_{iq}$ – статистика распределения данных, которая моделирует вероятность появления события градации q по времени t для класса i , распределенная по логарифмической шкале;

$P(r)$ – вероятность наступления события, необходимого к распознаванию r -го состава группы станков.

Для получения возможности автоматизировать процесс распознавания, и в дальнейшем весь процесс разработки карты потока создания ценности, необходимо привести алгоритм распознавания производственных ситуаций, который было бы возможно реализовать на машинном языке [16]. Блок-схема такого алгоритма приведена на рисунке 3.

Для удобства прочтения и понимания алгоритма все его блоки определены и подписаны.

Блок 1 и блок 19 отвечают за ввод и вывод данных.

Блоки 2, 3, а также блоки 7, 9 и блок 17 отвечают за обработку циклов, первые два определяют переход в соответствующие группы при расчете конкретного признака, следующий выполняет перебор вершин маршрута, очередной блок совершает поиск инцидентов дуг, а последний – определяет номера классов для всех объектов, заданных заранее.

Блоки 4, 6, 11 и 12 отвечают за вычисление конкретных признаков, необходимых для проведения процедуры распознавания. Блок 5 применяется для загрузки данных, получаемых в результате представлений разрабатываемой граф-схемы. Блок 8 осуществляет константное присвоение признака.

Блоки 10, 13 и 15 осуществляют ветвление алгоритма, первое из которых проверяет приравнивание к единице, а последующие – сравнение с константой.

Блоки 14, 16 и 18 осуществляют поддержку действий, осуществляемых в соседних блоках.

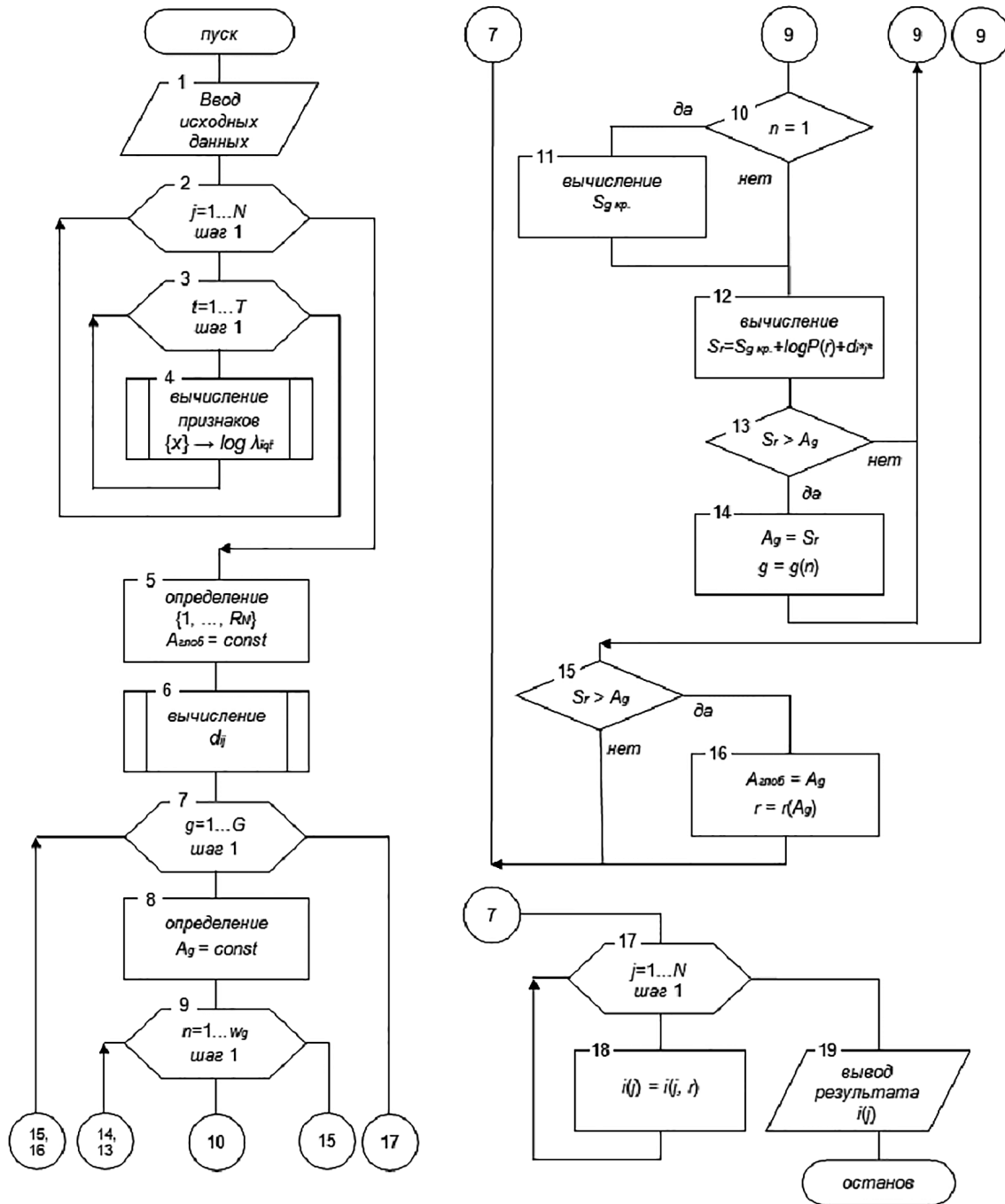


Рис. 3. Блок-схема алгоритма распознавания производственных ситуаций [17]

Разработанный алгоритм позволяет оценивать производственную ситуацию посредством статистического анализа и корректировать время подачи заготовки на конкретный станок, что снижает накопления излишних запасов и позволяет высвободить время, ресурсы, затраты машино-часов для их более эффективного использования. Это позволяет получать более эффективное использование рабочего пространства про-

мышленного предприятия, своевременно выявляя потери и избавляясь от них.

Заключение

Таким образом, в данном исследовании приведен обобщенный вид карты потока создания ценностей для промышленного предприятия. Определено, что в настоящее время имеется повышенный интерес к построению и анализу карт потока создания

ценностей, поскольку данный инструмент позволяет повышать эффективность производства. Также приведена математическая интерпретация оценки затрат времени при моделировании производственного потока. Однако наличие значительного количества разнообразных погрешностей не дает возможности откалибровать систему достаточно точно, потому что в процессе планирования производства необходимо применение динамического анализа, который может быть выполнен посредством распознавания производственной ситуации. В результате предложен алгоритм, позволяющий оценивать производственную ситуацию посредством статистического анализа и корректировать время подачи заготовки на конкретный станок.

Список литературы

1. Акимов С.С., Жумашева Б.К. Построение карт потока создания ценности на основе онтологического подхода // *Онтология проектирования*. 2022. Т. 12. № 3 (45). С. 405-417.
2. Monden Y. *Toyota production system: an integrated approach to just-in-time*. Industrial Engineering and Management Press, 1993. 423 p.
3. Малахова А.А., Старова О.В., Арефьев В.А. Бережливое производство как фактор повышения эффективности менеджмента // *Экономика, предпринимательство и право*. 2020. Т. 10. № 3. С. 615-634.
4. Sudhakara P. R., Sałek R., Venkat D., Chruzik K. Management of non-value-added activities to minimize lead time using value stream mapping in the steel industry // *Acta Montanistica Slovaca*. 2020. Vol. 25. Is. 3. P. 444-445.
5. Информационные технологии в региональном развитии / Под ред. В.А. Путилова. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2007. Вып. VII. 198 с.
6. Chen J.C., Shady B.D., Li Y. From value stream mapping toward a lean/sigma continuous improvement process: an industrial case study. *International Journal of Production Research*. 2010. Т. 48. № 4. P. 1069-1086.
7. Munyai T., Makinde O. A., Mbohwa C., Ramatsetse B. Simulation-aided value stream mapping for productivity progression in a steel shaft manufacturing environment // *South African Journal of Industrial Engineering*. 2019. Vol. 30. No 1. P. 171-186.
8. Lu J.-C., Yang T., Wang C.-Y. A lean pull system design analysed by value stream mapping and multiple criteria decision-making method under demand uncertainty // *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*. 2011. Т. 24. № 3. P. 211-228.
9. Гуньков С. А., Акимов С.С. Построение карты потока создания ценности в системе бережливого производства предприятия // *Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры: материалы Всероссийской научно-методической конференции (г. Оренбург, 31 января – 02 февраля 2018 г.)*. Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2018. С. 654-657.
10. Русских П.А., Капулин Д.В., Дрозд О.В., Смолглюк С.Ю. Разработка автоматизированной системы динамического картирования потока создания ценности // *Вестник Новосибирского государственного университета. Серия Информационные технологии*. 2022. Т. 20. № 1. С. 67-80.
11. Середкин О.В., Кетоева Н.Л. Применение инструмента методологии Lean Six Sigma Карта потока создания ценности (КПСЦ) с целью диагностики существующих процессов, планируемых к улучшению, для определения необходимости применения DMAIC // *Альманах Крым*. 2021. № 24. С. 70-85.
12. Акимов С.С., Жумашева Б.К. Минимизация временных потерь на производстве при построении карт потока создания ценности // *Научно-технический вестник Поволжья*. 2021. № 6. С. 83-85.
13. Дирко С.В. Картирование потока создания ценности в цепи поставок вторичных металлов // *Логистические системы в глобальной экономике*. 2017. № 7. С. 122-126.
14. Азизов Л.Д., Николаева Н.Г., Горюнова С.М. Оптимизация процессов на предприятии сферы управления // *Вестник технологического университета*. 2020. Т. 23. № 6. С. 90-93.
15. Трипош В.А., Акимов С.С. Синтез алгоритма машинного распознавания ситуаций на основе составной байесовской процедуры принятия решений // *Научно-технический вестник Поволжья*. 2022. № 6. С. 91-95.
16. Елагина В.Б., Царева Г.Р. Применение картирования потока создания ценности как инструмента бережливого производства // *Век качества*. 2021. № 3. С. 94-107.
17. Трипош В.А., Акимов С.С. Применение инструментов бережливого производства на основе байесовского алгоритма распознавания // *Современные наукоемкие технологии*. 2023. № 3. С. 40-44. DOI: 10.17513/snt.39553.