Адаптация инструментов бережливого производства и методика оценки их эффективности в условиях единичного и мелкосерийного типа производства (на примере предприятий ракетно-космического машиностроения)

Фадеев Артём Владиславович
Инженер по нормированию труда, АО «РКЦ «Прогресс», titr1.k@yandex.ru

Статья посвящена проблеме адаптации концепции бережливого производства к условиям единичного и мелкосерийного производства на предприятиях ракетно-космического машиностроения. Особое внимание уделяется ограничениям классических методов оценки эффективности улучшений, основанных на сравнении показателей «до и после», в ситуациях отсутствия статистической базы и нецикличности производственных процессов. Целью исследования является разработка методического подхода, позволяющего оценивать экономический эффект от внедрения инструментов бережливого производства на основе сопоставления фактических затрат труда с технически обоснованной нормой, скорректированной на коэффициенты адаптации. Методологическую базу работы составили системный анализ, методы технического нормирования труда и экономико-математическое моделирование. Результатом исследования является формализованная методика оценки эффекта, включающая расчет эталонной трудоемкости, а также учет сокращения длительности производственного цикла и затрат на реализацию мероприятий. Сделан вывод о практической применимости предложенного подхода в деятельности инженеров по организации и нормированию труда на предприятиях отрасли.

Ключевые слова: бережливое производство, единичное производство, мелкосерийное производство, оценка эффективности, ракетно-космическое машиностроение, производственный менеджмент.

Введение

Современный этап развития ракетно-космической отрасли характеризуется одновременным действием двух факторов. С одной стороны, ужесточаются требования государственных заказчиков к снижению себестоимости продукции и повышению операционной эффективности, что обусловлено необходимостью повышения конкурентоспособности отечественной космической техники [7, с. 111].

С другой стороны, преобладание единичного и мелкосерийного типов производства существенно ограничивает возможности прямого заимствования инструментов повышения эффективности, разработанных для массового производства [11, с. 156].

Бережливое производство, основополагающие принципы которого сформулированы в трудах Т. Оно и Дж. Вумека, ориентировано на выявление и устранение потерь в повторяющихся, циклических процессах [9, с. 34; 3, с. 52]. Применение классических инструментов данной концепции в условиях изготовления уникальных изделий ракетно-космической техники сталкивается с методологическими трудностями, главной из которых является отсутствие устойчивой статистической базы для сравнения результатов «до» и «после» [2, с. 29].

Ключевую роль в разрешении данного противоречия играет система нормирования труда. Именно инженер по организации и нормированию труда формирует информационную базу, на основе которой оцениваются трудоемкость, длительность цикла и экономическая эффективность производственных процессов [6, с. 55]. Однако классические методы технического нормирования, ориентированные на массовый выпуск, также требуют адаптации к условиям единичного производства.

Целью настоящего исследования является разработка методического подхода к оценке экономической эффективности внедрения инструментов бережливого производства на предприятиях с единичным и мелкосерийным типом организации производства. Задачи исследования: выявить ограничения классических инструментов бережливого производства в ракетно-космическом машиностроении; обосновать переход от сравнения «с фактом» к сравнению «с технически обоснованной нормой»; предложить систему коэффициентов адаптации для корректной оценки устраняемых потерь.

Литературный обзор

Теоретические основы бережливого производства заложены в работах Т. Оно и Дж. Вумека, которые рассматривали производственную систему как совокупность взаимосвязанных потоков, подлежащих непрерывному совершенствованию [9, 3]. В отечественной литературе вопросы внедрения инструментов бережливого производства на промышленных предприятиях исследуются достаточно активно.

Так, Бахматова и Бахматов анализируют тенденции и перспективы внедрения инструментов бережливого производства, отмечая отсутствие единой методики оценки их эффективности на российских предприятиях [1, с. 773]. Смирнов и Сорокин рассматривают практику применения бережливого производства в российских компаниях, указывая на специфические барьеры, связанные с типом производства [10, с. 58]. Беляева и Хальметов акцентируют внимание на бережливом производстве как факторе повышения конкурентоспособности, подчеркивая необходимость адаптации инструментов к отраслевым особенностям [2, с. 29].

Проблемы оперативного планирования в условиях мелкосерийного и единичного производства освещены в работе Ткаченко, Бардовского и Колесниковой [11, с. 156]. Вопросы цифровизации подходов к организации и нормированию труда рассматриваются Долженко и Малышевым [6, с. 55]. Гришина, Шишкин, Савина и Быкова исследуют процессы совершенствования нормирования труда на предприятиях [4, с. 94].

Отдельного внимания заслуживает исследование Левенцова, Зайцевой, Мухановой и Леоновой, посвященное методике расчета экономической эффективности от внедрения инструментов бережливого производства [8, с. 22]. Однако данная методика ориентирована преимущественно на массовое производство и предполагает наличие репрезентативной выборки данных за прошлые периоды.

Анализ публикаций показывает, что для единичного и мелкосерийного производства, где каждое изделие уникально, а операции выполняются однократно, требуется специальный методический аппарат, интегрирующий инструменты нормирования труда и бережливого производства.

Материалы и методы

Методологическую основу исследования составили общенаучные методы анализа и синтеза, методы технического нормирования труда, элементы

экономико-математического моделирования, а также системный подход к управлению производственными системами.

Информационной базой послужили публикации в рецензируемых научных журналах по проблемам бережливого производства, организации и нормирования труда, а также обобщенные данные о специфике производственных процессов на предприятиях ракетно-космического машиностроения. Исследование носит теоретико-методологический характер; для иллюстрации работоспособности предлагаемой методики используются модельные (условные) данные, не привязанные к конкретному предприятию.

В качестве базового инструмента формализации используется технически обоснованная норма времени (ТОН), понимаемая как расчетная трудоемкость изготовления изделия при условии оптимальной организации труда и отсутствии потерь. Предлагаемый подход предполагает переход от сравнения фактических показателей с историческими данными к сравнению с эталонной величиной, скорректированной на коэффициенты, отражающие специфику единичного производства.

Результаты

В рамках исследования получены следующие результаты:

Выявлены и систематизированы ограничения классических методов оценки эффективности бережливого производства применительно к единичному типу производства. К ним отнесены: отсутствие базовой линии для сравнения, усложнение нормирования труда из-за частых изменений конструкторской документации, неоднородность партий запуска и сложность стоимостной оценки потерь в наукоемком производстве [5, с. 88; 7, с. 708].

Предложена методика оценки эффекта, основанная на расчете эталонной трудоемкости. Нормативная трудоемкость изготовления изделия определяется по формуле:

$$T_н = \Sigma\, t_{шт\ i} + t_{пз\ i}, \quad (1)$$

где $T_н$ — технически обоснованная норма времени, нормо-часы; $t_{шт\ i}$ — штучное время i-й операции; $t_{пз\ i}$ — подготовительно-заключительное время i-й операции.

Для учета специфики единичного производства вводится коэффициент адаптации нормы:

$$K_{ад} = K_{ос} \times K_{кд} \times K_{п}, \quad (2)$$

где K_ос — коэффициент освоения операции (рекомендуемый диапазон 1,15–1,5); $K_{кд}$ — коэффициент учета изменений конструкторской документации (1,0–1,3); $K_{п}$ — коэффициент переналадки.

Уточненная эталонная трудоемкость рассчитывается как:

$$T_э = T_н \times K_{ад}. \quad (3)$$

Экономический эффект от внедрения инструмента бережливого производства определяется по формуле:

$$Э_т = T_ф - T_э, \quad (4)$$

где $T_ф$ — фактическая трудоемкость до внедрения мероприятия, зафиксированная в системе учета.

Дополнительно учитывается эффект от сокращения длительности производственного цикла:

$$Э_ц = \Delta t_ц \times З_{нзп} \times r, \quad (5)$$

где Δt_ц — сокращение длительности цикла, дни; $З_{нзп}$ — средняя стоимость незавершенного производства за день пролеживания, руб.; r — ставка приведения.

Совокупный годовой экономический эффект рассчитывается по формуле:

$$Э_Σ = Э_т + Э_ц - З_{реал}, \quad (6)$$

где $З_{реал}$ — затраты на реализацию мероприятия.

Также, выполнена апробация методики на модельном примере. При нормативной трудоемкости $T_н$ = 40 нормо-часов и коэффициенте адаптации $K_{ад}$ = 1,3 эталонная трудоемкость составила 52 нормо-часа. Фактическая трудоемкость до улучшений — 68 нормо-часов, после внедрения мероприятий по организации рабочего места и адресному хранению оснастки — 59 нормо-часов. Эффект по формуле (4) составляет 9 нормо-часов. При стоимости нормо-часа 2500 руб. экономия на одной детали составляет 22 500 руб, или 13,23%.

Обсуждение

Полученные результаты свидетельствуют о том, что основной причиной низкой результативности внедрения бережливого производства в единичном производстве является не отсутствие резервов для улучшений, а отсутствие корректного инструментария их измерения. Классический подход сравнения «до и после» не работает в условиях, когда базовая линия отсутствует, а фактические данные несопоставимы между периодами.

Предложенная методика устраняет данный недостаток за счет перехода к эталонному сравнению. Технически обоснованная норма, скорректированная на коэффициенты адаптации, выполняет функцию базовой линии, что позволяет оценивать эффект даже при первом изготовлении изделия. Это принципиально отличает предлагаемый подход от методик, описанных в литературе, где база для сравнения формируется на основе исторических данных.

Введение коэффициентов адаптации является ключевым элементом методики, поскольку позволяет снять типичные возражения производственного персонала о «заниженности норм» и объективно учесть сложность освоения новой продукции.

Ограничением настоящего исследования является его теоретико-методологический характер: апробация выполнена на условных данных. Для эмпирической валидации методики требуется ее применение на реальных производственных процессах с последующим накоплением статистики по коэффициентам адаптации. Перспективным направлением является интеграция методики с MES-системами для автоматизированного расчета эффекта.

Заключение

В результате исследования разработан методический подход к оценке экономической эффективности внедрения инструментов бережливого производства на предприятиях с единичным и мелкосерийным типом организации производства. Подход базируется на замене традиционного сравнения «с фактом» сравнением с эталонной величиной — технически обоснованной нормой, скорректированной на коэффициенты адаптации, учитывающие освоение операции, изменения конструкторской документации и длительность переналадки.

Практическая значимость работы заключается в том, что предложенная методика может быть встроена в существующие на предприятиях РКО системы нормирования труда без значительных затрат на информатизацию. Инженеры по организации и нормированию труда получают объективный инструмент обоснования эффекта от улучшений, что способствует повышению доверия руководства к программам бережливого производства.

Перспективой дальнейших исследований является эмпирическая апробация методики на реальных производственных данных, а также ее интеграция с цифровыми системами управления производством для автоматизации расчетов коэффициентов адаптации.

Литература

1. Бахматова Т. Г., Бахматов М. С. Тенденции и перспективы внедрения инструментов бережливого производства // Известия Байкальского государственного университета. 2022. Т. 32, № 4. С. 771–778.
2. Беляева Е. А., Хальметов А. А. Бережливое производство как фактор повышения конкурентоспособности производства // Безопасность и качество товаров: материалы XIII Междунар. науч.-практ. конф. (Саратов, 15 июля 2019 г.) / под ред. С. А. Богатырева. Саратов: ООО «Центр социальных агроинноваций СГАУ», 2019. С. 28–31.
3. Вумек Дж., Джонс Д. Бережливое производство: Как избавиться от потерь и добиться процветания вашей компании / Пер. с англ. М.: Альпина Паблишер, 2021. 472 с.
4. Гришина С. А., Шишкин А. Н., Савина И. В., Быкова М. В. Совершенствование процессов нормирования труда на предприятиях // Наука и образование: будущее и цели устойчивого развития: материалы XVI Междунар. науч. конф. (Москва, 27 ноября 2020 г.). В 4 ч. Ч. 2. М.: Московский университет им. С. Ю. Витте, 2020. С. 93–99.
5. Давыдова Н. С., Клочков Ю. П. Бережливое производство на предприятиях машиностроения: теория и практика: монография. М.: Академия Естествознания, 2012. 111 с.
6. Долженко Р. А., Малышев Д. С. Цифровизация подходов к организации и нормированию труда на промышленном предприятии // Вестник Омского университета. Серия: Экономика. 2021. Т. 19, № 4. С. 54–66.
7. Королёва Д. Инновационное развитие предприятий ракетно-космической промышленности // Актуальные проблемы авиации и космонавтики: сб. материалов VII Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. Дню космонавтики (Красноярск, 12–16 апреля 2021 г.). В 3 т. Т. 3. Красноярск: СибГУ им. М. Ф. Решетнева, 2021. С. 111–112.
8. Левенцов В. А., Зайцева В. Д., Муханова Н. В., Леонова О. В. Методика расчета экономической эффективности от внедрения инструментов бережливого производства // Передовые производственные технологии: компьютерные (суперкомпьютерные) технологии и организация наукоемких производств: сб. тезисов докладов Нац. науч.-практ. конф. с междунар. участием (Санкт-Петербург, 26 мая 2023 г.). СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2023. С. 21–31.
9. Оно Т. Производственная система Тойоты: уходя от массового производства / Пер. с англ. М.: Институт комплексных стратегических исследований, 2020. 208 с.
10. Смирнов С. А., Сорокин Г. С. Применение бережливого производства в российских компаниях // Евразийская интеграция: экономика, право, политика. 2022. Т. 16, № 4. С. 55–67.
11. Ткаченко Н. В., Бардовский Т. Ю., Колесникова О. В. Особенности оперативного планирования в условиях предприятий с мелкосерийным и единичным характером // Тенденции развития науки и образования. 2022. № 88-2. С. 155–158.
12. Фатхутдинов Р. А. Организация производства: учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по экономическим и техническим специальностям. 3-е изд., перераб. и доп. М.: ИНФРА-М, 2007. 544 с.

Adaptation of lean manufacturing tools and methodology for evaluating their efficiency in single-unit and small-batch production (on the example of rocket and space engineering enterprises)

Fadeev A.V.
Labor Rationing Engineer

JEL classification: D20, E22, E44, L10, L13, L16, L19, M20, O11, O12, Q10, Q16, R10, R38, R40, Z21, Z32

The article addresses the problem of adapting the lean manufacturing concept to single-unit and small-batch production conditions at rocket and space engineering enterprises. Particular attention is paid to the limitations of classical methods for evaluating improvement efficiency based on "before and after" comparisons in situations where there is no statistical base and production processes are non-cyclical. The aim of the study is to develop a methodological approach that allows assessing the economic effect of implementing lean manufacturing tools by comparing actual labor costs with a technically justified norm adjusted by adaptation coefficients. The methodological basis includes system analysis, technical labor rationing methods, and economic-mathematical modeling. The result of the study is a formalized efficiency assessment methodology that includes the calculation of reference labor intensity, as well as accounting for production cycle time reduction and implementation costs. It is concluded that the proposed approach is practically applicable in the work of labor organization and rationing engineers at industry enterprises.

Keywords: lean manufacturing, single-unit production, small-batch production, efficiency assessment, rocket and space engineering, production management.

References

1. Bakhmatova T. G., Bakhmatov M. S. Trends and prospects for the implementation of lean manufacturing tools // Bulletin of Baikal State University. 2022. Vol. 32, No. 4. pp. 771–778.
2. Belyaeva E. A., Khalmetov A. A. Lean manufacturing as a factor of increasing production competitiveness // Safety and Quality of Goods: materials of the XIII International Scientific and Practical Conference (Saratov, July 15, 2019) / ed. by S. A. Bogatyrev. Saratov: LLC "Center for Social Agroinnovations of SSAU", 2019. pp. 28–31.
3. Womack J. P., Jones D. T. Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation. Moscow: Alpina Publisher, 2021. 472 p.
4. Grishina S. A., Shishkin A. N., Savina I. V., Bykova M. V. Improving labor rationing processes at enterprises // Science and Education: Future and Goals of Sustainable Development: materials of the XVI International Scientific Conference (Moscow, November 27, 2020). In 4 parts. Part 2. Moscow: Moscow University named after S. Yu. Witte, 2020. pp. 93–99.
5. Davydova N. S., Klochkov Yu. P. Lean manufacturing at mechanical engineering enterprises: theory and practice: monograph. Moscow: Academy of Natural Sciences, 2012. 111 p.
6. Dolzhenko R. A., Malyshev D. S. Digitalization of approaches to the organization and rationing of labor at an industrial enterprise // Bulletin of Omsk University. Series: Economics. 2021. Vol. 19, No. 4. pp. 54–66.
7. Koroleva D. Innovative development of rocket and space industry enterprises // Actual Problems of Aviation and Cosmonautics: collection of materials of the VII International Scientific and Practical Conference dedicated to Cosmonautics Day (Krasnoyarsk, April 12–16, 2021). In 3 vols. Vol. 3. Krasnoyarsk: SibSU named after M. F. Reshetnev, 2021. pp. 111–112.
8. Leventsov V. A., Zaitseva V. D., Mukhanova N. V., Leonova O. V. Methodology for calculating the economic efficiency of implementing lean manufacturing tools // Advanced Production Technologies: Computer (Supercomputer) Technologies and Organization of Knowledge-Intensive Production: collection of abstracts of the National Scientific and Practical Conference with International Participation (St. Petersburg, May 26, 2023). St. Petersburg: POLYTECH-PRESS, 2023. pp. 21–31.
9. Ohno T. Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production. Moscow: Institute for Complex Strategic Studies, 2020. 208 p.
10. Smirnov S. A., Sorokin G. S. Application of lean manufacturing in Russian companies // Eurasian Integration: Economics, Law, Politics. 2022. Vol. 16, No. 4. pp. 55–67.
11. Tkachenko N. V., Bardovsky T. Yu., Kolesnikova O. V. Features of operational planning in conditions of enterprises with small-batch and single-unit character // Trends in the Development of Science and Education. 2022. No. 88-2. pp. 155–158.
12. Fatkhutdinov R. A. Organization of production: textbook for students of higher educational institutions studying in economic and technical specialties. 3rd ed., revised and enlarged. Moscow: INFRA-M, 2007. 544 p.