

УДК 658.51

*А.В. Герасимов*

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь,  
email: n.revina@privod-lysva.ru

## **РАСЧЕТ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОТ ВНЕДРЕНИЯ МЕТОДОВ БЕРЕЖЛИВОГО ПРОИЗВОДСТВА НА КРУПНОМ ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ**

**Ключевые слова:** бережливое производство, инструментальные методы анализа, диаграмма Исикавы, причины возникновения проблем, расчет экономической эффективности мероприятий.

В условиях ужесточающихся требований к финансово-экономическим показателям производства, возникновение необоснованных потерь является особым предметом внимания со стороны руководства предприятий, особенно тех предприятий, которые работают в высококонкурентных и технологичных отраслях производства. Целью статьи является разработка математического инструментария для оценки экономической эффективности применения конкретных мероприятий в рамках внедрения на крупном предприятии машиностроения методов и инструментов бережливого производства. Для достижения цели были использованы метод факторного анализа и метод «проблема-причины» (диаграмма Исикавы). На основе применения данных методов идентифицированы наиболее значимые для конкретного предприятия электротехнической промышленности причины возникновения у предприятия необоснованных финансовых потерь вследствие низкой эффективности организации процесса производства. Четкая идентификация причин возникновения проблемы позволила разработать ряд рекомендаций по их устранению с помощью принципов бережливого производства. Также в работе представлены разработанные автором формулы расчета экономической эффективности предлагаемых мероприятий в рамках бережливого производства по ключевым направлениям его внедрения.

*A.V. Gerasimov*

Perm National Research Polytechnic University, Perm, email: n.revina@privod-lysva.ru

## **CALCULATION OF ECONOMIC EFFICIENCY FROM THE IMPLEMENTATION OF LEAN MANUFACTURING METHODS AT A LARGE INDUSTRIAL ENTERPRISE**

**Keywords:** lean manufacturing, instrumental methods of analysis, Ishikawa diagram, causes of problems, calculation of economic efficiency of events.

In the context of increasingly stringent requirements for financial and economic indicators of production, the occurrence of unjustified losses is a special subject of attention from the management of enterprises, especially those enterprises that operate in highly competitive and technological industries. The purpose of the article is to develop mathematical tools for assessing the economic efficiency of specific measures in the context of the implementation of lean manufacturing methods and tools at a large mechanical engineering enterprise. To achieve this goal, the factor analysis method and the problem-cause method (Ishikawa diagram) were used. Based on the application of these methods, the most significant causes of unjustified financial losses for a specific enterprise in the electrical engineering industry due to the low efficiency of the production process organization were identified and selected. Clear identification of the causes of the problem allowed us to develop a number of recommendations for their elimination using lean manufacturing principles. The work also presents the formulas developed by the author for calculating the economic efficiency of the proposed measures within the framework of lean manufacturing in the key areas of its implementation.

Серьезной проблемой в деятельности многих отечественных предприятий остаются финансовые потери, возникающие вследствие неэффективной организации производства. Концепция бережливого производства является одним из наиболее действенных способов улучшения производственных процес-

сов на промышленных предприятиях и повышения эффективности их деятельности [1-2]. Однако существенным препятствием для успешной реализации методов бережливого производства на многих предприятиях является отсутствие точных и надежных способов оценки результативности применяемых

по каждому направлению деятельности инструментов бережливого производства, а также наличие отраслевой специфики в практическом применении концепции бережливого производства [3-4]. Такие оценки, как правило, являются индивидуализированными для различных предприятий и отраслей деятельности, что привело к отсутствию в научной литературе единых унифицированных формул для расчетов. В свою очередь, отсутствие таких оценок существенно снижает экономическую и финансовую значимость управленческих решений в области внедрения бережливого производства. В целом же возможности внедрения методов бережливого производства на отечественных предприятиях машиностроения рассматриваются многими авторами как высоко перспективные [5-7].

#### **Цель исследования**

Целью исследования является разработка математического инструментария для оценки экономической эффективности применения конкретных мероприятий в рамках внедрения на крупном предприятии машиностроения методов и инструментов бережливого производства.

#### **Методы и материалы**

Методы исследования: концептуальные положения теории бережливого производства, метод «проблема-причины» (диаграмма Исикавы), математический инструментарий обработки аналитической информации. Диаграмма Исикавы может быть использована как инструмент ситуационного анализа, а также как инструмент факторного анализа [8-9]. Кроме того, диаграмма Исикавы по многим работам рассматривается как инструмент управления качеством, что также соответствует цели и задачам нашего исследования [10]. Кроме того, в предыдущих исследованиях были проанализированы возможности применения для решения вопроса внедрения на промышленном предприятии методов и инструментов бережливого производства такого инструментального метода анализа проблем в развитии предприятия как метод «проблема-причины» (диаграмма Исикавы) [11-13].

В качестве материалов для проведения анализа и расчетов использованы результаты предшествующих исследований автора по применению метода «проблема-причины» (диаграмма Исикавы) для оценки основных препятствий в деятельности конкретного предприятия [14]. Для построения диаграммы Исикавы были использованы данные управленческого учета крупного машиностроительного предприятия электротехнической отрасли промышленности.

#### **Результаты исследования**

На основе выделения с помощью диаграммы Исикавы ключевых факторов внешней и внутренней среды, в наибольшей степени воздействующих на эффективность осуществления хозяйственной деятельности предприятия, был проведен расчет годовой экономии затрат по базовым направлениям внедрения на предприятии методов бережливого производства. В качестве задачи (формулировки проблемы), на решение которой направлено исследование («голова рыбы»), была взята проблема «Наличие финансовых потерь вследствие низкой организации производства».

На основе многофакторного анализа и построения комплексной диаграммы Исикавы (в настоящей статье она не приводится), были выделены наиболее значимые для решения поставленной задачи сокращения финансовых потерь от низкой организации производства с помощью методов бережливого производства.

В процессе критериальной оценки были отобраны те направления применения инструментария бережливого производства, которые позволят наиболее эффективно решить проблему возникновения у предприятия финансовых потерь вследствие низкой эффективности организации процесса производства. После проведения комплексного анализа и отсева менее значимых причин в рабочей диаграмме Исикавы осталось четыре «кости», что соответствует базовой модели [15]. Это такие «кости» и такие ключевые причины возникновения проблемы, соответствующие каждой «кости», как:



Рис. 1. Диаграмма Исикавы

Источник: составлено автором.

1) люди: ключевая причина – отсутствие компетенций по изготовлению нестандартной продукции;

2) технологии (метод): ключевая причина – нарушение ритмичности производства;

3) логистика (среда): ключевая причина – проблемы с передачей деталей и комплектующих по внутрипроизводственным этапам.

4) оборудование (машины): ключевая причина – несоответствие типа оборудования современным задачам производства и высокий износ оборудования.

Аналитическая модель диаграммы Исикавы применительно к анализируемому предприятию и сформулированной в данном исследовании проблеме представлена на рисунке 1.

На основе проведенного анализа и выделенных ключевых причин возникновения проблемы «наличие финансовых потерь вследствие низкой организации производства», были разработаны математические формулы для расчета экономического эффекта от внедрения конкретных мероприятий по каждому

выбранному направлению. Приведем эти формулы и необходимые для них фактические показатели.

Итак, первым направлением решения выявленной проблемы возникновения дополнительных финансовых потерь является кадровая составляющая (люди), а ключевой причиной ее возникновения – отсутствие компетенций по изготовлению нестандартной продукции. В свою очередь это спровоцировано отсутствием системы наставничества более опытных работников над молодыми. В качестве инструмента устранения данной причины предлагается внедрить на предприятии систему наставничества. Эффект, который может быть получен в результате внедрения данного мероприятия может быть рассчитан по формуле (1).

$$Э_n = Ч_0 * (B_0 - B_n) * C - Д_{н,з} \quad (1)$$

где  $Ч_0$  – численность работников, прошедших обучение на производстве за год под руководством опытного наставника, чел.;

–  $B_0$  и  $B_n$  – количество бракованных деталей, выпускаемых одним работником, соответственно, до и после повышения квалификации в рамках принципов бережливого производства;

–  $C$  – себестоимость одной детали, тыс. руб./шт.;

–  $D_{н.г}$  – годовой размер доплаты опытного работника за наставничество, тыс. руб.

Данная формула позволяет рассчитать сумму годовой экономии затрат по направлению «Люди (персонал)» от применения наставничества в рамках принципов бережливого производства.

Вторым направлением решения проблемы возникновения финансовых потерь является технологическая составляющая, а ключевой причиной ее возникновения – нарушение ритмичности производства вследствие недостаточности этапов контроля и контролируемых

показателей, а также неправильно установленных точек контроля. Разработка мероприятий бережливого производства в рамках данного блока направлена на установление нужного количества точек контроля, набор и обучение недостающего числа контролеров, нормирование их работы, включая установление трудоемкости одного технологического контроля и определение количества раз выполнения технологического контроля. Введение этих мероприятий позволит улучшить ритмичность технологического процесса и снизить количество брака в ходе производства.

Расчет годовой экономии затрат по направлению «Технологический процесс» от изменения числа этапов контроля и контролируемых показателей в производстве при внедрении принципов бережливого производства предлагается производить по формуле (2).

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{\text{м}} = & \sum_{g=1}^G \left( \frac{Q_{к.б.g} * t_{б.g} * H_{б.g} - Q_{к.н.g} * t_{н.g} * H_{н.g}}{60 * T_{см} * D_p} \right) * \Phi_k * 1,3 + \\ & + \sum_{g=1}^G (B_{б.g} - B_{н.g}) * C_g \end{aligned} \quad (2)$$

где  $G$  – количество этапов технологического контроля;

–  $Q_{к.б.g}$  и  $Q_{к.н.g}$  – количество контролеров осуществляющих проверку качества выполнения технологических операций вида  $g$  до и после внедрения принципов и методов бережливого производства, чел.;

–  $t_{б.g}$  и  $t_{н.g}$  – трудоемкость одного технологического контроля, осуществляемого одним работником, мин.;

–  $H_{б.g}$  и  $H_{н.g}$  – количество раз выполнения технологического контроля за год до и после внедрения принципов и методов бережливого производства, соответственно;

–  $D_p$  – среднее число рабочих дней в году, сутки;

–  $T_{см}$  – продолжительность одной рабочей смены контролера, часы;

– 60 – количество минут в одном часу;

–  $\Phi_k$  – среднегодовой фонд оплаты труда одного работника, контролирующего

результаты выполнения технологических операций, тыс. руб./год.;

– 1,3 – коэффициент, учитывающий размер оплаты труда, и отчисление страховых взносов при ставке 30%;

–  $B_{б.g}$  и  $B_{н.g}$  – количество бракованных единиц изделий выявленных на  $g$ -й технологической операции;

–  $C_g$  – себестоимость изделия на технологической операции  $g$ , тыс. руб./шт.

Третьим направлением решения проблемы возникновения финансовых потерь от низкой эффективности организации процесса производства является логистическая составляющая, а ключевой причиной ее возникновения – проблемы с передачей деталей и комплектующих по внутрипроизводственным этапам. Данная причина складывается из отсутствия зон накопления деталей в цехах и на участках, из отсутствия комплекточно-диспетчерского контроля, а также из неэффективной работы центрального склада (ЦКС).

Расчет годовой экономии затрат по направлению «Логистика» от применения методов бережливого производства может быть проведен по формуле (3).

$$\begin{aligned} \text{Э}_Л = & \left( (C_{ЦКС} - C_{ЗЗ}) * \Phi_{к.г.} + \left( \frac{\sum_{i=1}^I T_{ЦКС_i} * C_i * K_{п_i} - \sum_{i=1}^I T_{ЗЗ_i} * C_i * K_{п_i}}{60 * T_{см} * D_p} \right) \right) \\ & * \Phi_{р.з} * 1,3 + \sum_{f=1}^F \left( S_{ЦКС_f} - \sum_{j=1}^J S_{ЗЗ_{f,j}} \right) * Na_f + \\ & + \sum_{m=1}^M (P_{дЦКС_m} + P_{дЦ_m} - P_{дЗЗ_m}) * C_m \end{aligned} \quad (3)$$

где  $C_{ЦКС}$  – численность персонала цеха комплектования и складирования до внедрения методов бережливого производства, чел.;

–  $C_{ЗЗ}$  – численность персонала зеленых зон, сформированных на основе внедрения методов бережливого производства, чел.;

–  $\Phi_{к.г.}$  – среднегодовой фонд оплаты труда одного работника складского хозяйства, тыс. руб./год.;

– 12 – число месяцев в году;

– 1,3 – коэффициент, учитывающий размер оплаты труда, и отчисление страховых взносов при ставке 30%;

– F – количество видов объектов основных средств, используемых при комплектовании и складировании материальных запасов;

– J – количество организуемых зеленых зон;

–  $S_{ЦКС_f}$  и  $S_{ЗЗ_{f,j}}$  – первоначальная стоимость объектов основных средств вида f в цехе комплектования и складирования, а также j-й зеленой зоны, соответственно, тыс. руб.;

–  $Na_f$  – средняя норма амортизации вида f объектов основных средств, коэф.;

– I – число производственных подразделений, потребляющих материалы с ЦКС;

–  $T_{ЦКС_i}$  – затраты времени на получение (сдачу) материала (изделий) со склада (на склад) одного работника i-го подразделения с учетом времени нахождения в пути туда и обратно, мин.;

–  $C_i$  – количество работников i-го подразделения, посещающих ЦКС, чел.;

–  $K_{п_i}$  – количество раз прихода работников в ЦКС за год;

–  $T_{ЗЗ_i}$  – затраты времени на получение (сдачу) материала (изделий) в зеленой зоне (в зеленую зону) одного работника i-го подразделения с учетом времени нахождения в пути туда и обратно, мин.;

–  $D_p$  – среднее число рабочих дней в году, сутки;

–  $T_{см}$  – продолжительность одной рабочей смены, часы;

– 60 – количество минут в одном часу;

–  $\Phi_{к.г.}$  – среднегодовой фонд оплаты труда одного работника i-х производственных подразделений, тыс. руб./год.;

– M – количество типов производимых деталей;

–  $P_{дЦКС_m}$  – количество деталей, пропадающих в ЦКС;

–  $P_{дЦ_m}$  – количество деталей типа m, пропадающих при их транспортировке из цехов предприятия в ЦКС;

–  $P_{дЗЗ_m}$  – количество деталей типа m, пропадающих в зеленой зоне;

–  $C_m$  – себестоимость одной детали вида m, тыс. руб. / шт.

Наконец, четвертым и самым крупным блоком возникновения у предприятия финансовых потерь вследствие низкой организации производства является составляющая «Оборудование (машины)», а ключевой причиной ее возникновения – несоответствие типа оборудования современным задачам производства, что вызывает сверхнормативные простои оборудования вследствие невозможности его применения

для изготовления необходимых деталей, а также высокий износ оборудования, который также сопровождается сверхнормативными затратами на осуществление аварийно-восстановительных ремонтов оборудования.

С целью определения эффективности мероприятий в рамках бережливого производства по данному направлению были выделены две наиболее значимых для решения данной проблемы группы мероприятий, направленных на:

- сокращение простоя оборудования;

$$\mathcal{E}_a = \sum_{r=1}^R \left( \frac{A_r * (\Delta B_{pr} * B_{cr} + Q_{o,r})}{Q_{o,r}} - A_r \right) * K_{o,r} \quad (4)$$

где R – количество видов оборудования, для которых сокращаются простои;

- $A_r$  – годовая сумма амортизационных отчислений по оборудованию вида r, тыс. руб.;
- $\Delta B_{pr}$  – годовой прирост рабочего времени оборудования вида r за счет сокращения простоев (увеличения сменности работы), часы;
- $B_{cr}$  – часовая выработка продукции на единицу оборудования вида r, нат. единицы;

$$\mathcal{E}_{amp} = \sum_{r=1}^R (ABP_{ф,r} - ABP_{бп,r}) - Z_{пб} + \sum_{p=1}^P (T_{пр,ф,p} - T_{пр,бп,p}) * q_{п,p} * H_{пр,p} \quad (5)$$

где  $ABP_{ф,r}$  и  $ABP_{бп,r}$  – суммы затрат на аварийно-восстановительные работы по ремонту оборудования вида r до и после внедрения принципов бережливого производства, тыс. руб.;

- $Z_{пб}$  – затраты предприятия на внедрение принципов бережливого производства в практику производственной деятельности, в том числе сумма премирования работников за соблюдение этих принципов;

– R – количество видов выпускаемой готовой продукции;

- $T_{пр,ф}$  и  $T_{пр,бп}$  – время остановки выпуска готовой продукции на период проведения аварийно-восстановительных

- сокращение аварийно-восстановительных ремонтов и простоев оборудования;

Расчет годовой экономии затрат по этим направлениям может быть проведен по формулам (4)–(5).

1. При сокращении простоев оборудования за счет более рациональной или бережливой организации производства образуется экономия за счет сокращения удельных амортизационных отчислений, которую предлагается определять по формуле (4):

- $K_{o,r}$  – количество эксплуатируемых единиц оборудования вида r.

2. Внедрение принципов бережливого производства позволяет сократить количество аварийно-восстановительных ремонтов и простоев, обусловленных этим, а также потерю прибыли за время простоя. Экономический эффект от этого предлагается рассчитать по формуле (5):

работ до и после внедрения принципов и методов бережливого производства, соответственно, часы;

- $q_{п,p}$  – ритмичность выпуска продукции вида p за час, количество натуральных единиц / час;

- $H_{пр,p}$  – норма прибыли на единицу продукции вида p, тыс. руб./ед. прод.

Расчет количественных значений от реализации мероприятий по экономической оптимизации режима использования оборудования, которая станет возможной за счет внедрения принципов бережливого производства, позволяет существенно снизить остроту проблемы финансовых потерь от неэффективной организации производства.

### Выводы

В заключение необходимо отметить, что применение инструментальных методов диагностики ключевых проблем в функционировании промышленных предприятий позволяет более четко идентифицировать причины возникновения этих проблем и на этой основе оптимизировать мероприятия по модернизации процесса управления и процесса производства на основе внедрения принципов бережливого производства. Также это позволяет рассчитать реальный объем экономии финансовых средств от внедрения

конкретных мероприятий до их включения в планы модернизации. В свою очередь, уже на этапе планирования это позволит устранить те мероприятия, которые не принесут достаточно высокой эффективности. Таким образом, цель исследования, сформулированная в начале статьи и заключающаяся в разработке математического инструментария для оценки экономической эффективности применения конкретных мероприятий в рамках внедрения на крупном предприятии машиностроения методов и инструментов бережливого производства, является достигнутой.

### Библиографический список

1. Смирнов С.А., Сорокин Г.С. Применение бережливого производства в российских компаниях // Евразийская интеграция: экономика, право, политика. 2022. № 16 (4). С. 55-67.
2. Пономарева О.С., Ружицкий Д.М., Татаркин А.О. Инструменты бережливого производства: карта потока создания ценности // Современный менеджмент: теория и практика: материалы II Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, под общ. ред. Н.В. Кузнецовой. Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2022. С. 148-152.
3. Герасимов А.В. Сравнительный анализ отраслевых различий применения концепции бережливого производства // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2023. Т. 13. № 7А. С. 139-147. DOI: 10.34670/AR.2023.14.82.013.
4. Федоськина Л.А. Бережливое производство: отраслевой аспект / Управление качеством в образовании и промышленности // Сб. статей Всеросс. науч.-техн. конф. Севастополь: ФГАОУ ВО «Севастопольский гос. университет». 2020. С. 577-582.
5. Коровина А.А. Перспективы бережливого производства в машиностроении // Экономика и управление в машиностроении. 2023. № 2. С. 7-13.
6. Махмадиев И.Р. Применение инструментов бережливого производства в машиностроительной отрасли. 2020. [Электронный ресурс] URL: [https://dspace.kpfu.ru/xmlui/bitstream/handle/net/163334/F\\_ISMEF\\_2020\\_687\\_691.pdf?sequence=-1](https://dspace.kpfu.ru/xmlui/bitstream/handle/net/163334/F_ISMEF_2020_687_691.pdf?sequence=-1) (дата обращения 11.10.2024).
7. Туркова А.А. Бережливое производство как метод повышения эффективности производства на предприятиях машиностроения // Инновационная наука. 2017. № 12. С. 123-125.
8. Анкинович Ю.Е. Диаграмма Исикавы креативный метод ситуационного анализа. // Менеджмент и маркетинг: опыт и проблемы: сборник научных трудов / под общ. ред. И.Л. Акулича. Минск: Издатель А.Н. Вараксин, 2020. С. 19-21.
9. Нижегородцев Р.М. Обобщенная диаграмма Исикавы как инструмент факторного анализа // Дружковский вестник. 2017. № 6 (20). С. 15-24.
10. Бадророва А.М., Мунина М.В. Диаграмма Исикавы как инструмент управления качеством // Экономика и социум. 2014. № 4-6 (13). С. 596-600.
11. Павлова А.С. Диаграмма Исикавы как метод анализа проблем компании // Вестник магистратуры. 2019. № 4-4 (91). С. 41-43.
12. Назаров М.А., Петухова Н.А. Диаграмма Исикавы анализа причин несоответствия продукции // Дневник науки. 2019. № 1. С. 44.
13. Денисова Т.В., Просвирина И.И., Юсупов А.А. Автоматизация документооборота в системе инструментов бережливого производства // Вестник ЮУрГУ. Серия «Экономика и менеджмент». 2023. № 17 (3). С. 38-46. DOI: 10.14529/em230303.
14. Герасимов А.В., Мингалева Ж.А. Особенности применения инструментальных методов анализа проблем при внедрении бережливого производства // Управление. 2024. Т. 12. № 3. С. 83-90. DOI: 10.26425/2309-3633-2024-12-3-83-90.
15. Ishikawa K. Guide to Quality Control. Tokyo, Asian Productivity Organization, 1976.