


Решение задачи оптимизации ресурсоэффективности предприятия с применением технологий бережливого производства


Андрей П. Преображенский¹

app@vvt.ru

 0000-0002-6911-8053

Анна В. Линкина

anna_linkina@rambler.ru

 0000-0002-8429-1292¹ Воронежский институт высоких технологий, ул. Ленина, 73А, г. Воронеж, 394043, Россия


Аннотация. В статье приводится решение задачи исследования характеристик ресурсоэффективности по заданному временному интервалу в виде решения задачи оптимизации (с использованием методов динамического программирования и метода рекуррентных уравнений Беллмана. Был осуществлен многошаговый поиск решения по заданному периоду планирования производственной деятельности. При анализе полученных результатов учтено, что выполнение экстремальных и граничных требований выполнялось разным образом, что обусловлено многовариативностью управленческих решений. Были рассмотрены особенности оптимизационной модели. Решение многошаговой задачи сводится к последовательному решению нескольких одношаговых задач оптимизации. Функция изменений ресурсоэффективности в технологиях бережливого производства была задана по периоду планирования. Изменения в технологиях по рассматриваемым функциям демонстрируют, каким образом меняется ресурсоэффективность с учетом времени наблюдения. Отмечается, что большое значение для сокращения всех видов потерь имеет накопление опыта экспертов и участников производственного процесса при реализации инновационных подходов. Выявлено, что одним из ключевых параметров в многокритериальной системе является сохранение эффективной работы в подсистеме, связанной с интеллектуальной поддержкой принятия решений. Определены оптимальные объемы затрат. Их оценка осуществлялась с учетом того, что при решении задач оптимизации необходимо учитывать такие критерии, при которых значения принимают экстремумы. При допущении успешного решения поставленной оптимизационной задачи и анализе полученных результатов при разбиении многошагового решения на три одношаговых, получили S-образные функции при значении функции, равном 6,8%

Ключевые слова: бережливое производство, оптимизация, функциональные зависимости, моделирование, ресурсоэффективность, динамическое программирование

Solving the problem of optimizing the resource efficiency of an enterprise using lean manufacturing technologies


Andrej P. Preobrazhenskij¹

app@vvt.ru

 0000-0002-6911-8053

Anna V. Linkina

anna_linkina@rambler.ru

 0000-0002-8429-1292¹ Voronezh Institute of High Technologies, Lenina Str., 73A Voronezh, 394036, Russia

Abstract. The article provides a solution to the problem of studying the characteristics of resource efficiency for a given time interval in the form of solving an optimization problem (using dynamic programming methods and the method of recurrent Bellman equations. A multistep search for a solution was carried out for a given period of planning production activities. Boundary requirements were met in different ways due to the multivariate management decisions. The features of the optimization model were considered. The solution of the multistep problem is reduced to the sequential solution of several one-step optimization problems. The function of changes in resource efficiency in lean manufacturing technologies was set for the planning period. Changes in technologies for the capability involved demonstrate how resource efficiency changes with the observation time. It is noted that the experience accumulation of experts and participants in the production process in the implementation of innovative approaches is of great importance for reducing all types of losses. It was revealed that one of the crucial parameters in a multi-criteria system is the preservation of efficient operation in the subsystem associated with intelligent decision support. The optimal amounts of costs have been determined. Their assessment was carried out to allow for the fact that when solving optimization problems, it is necessary to take into account such criteria for which the values take extrema. Assuming a successful solution of the optimization problem posed and analyzing the results obtained when dividing the multistep decision into three one-step ones, we received S-shaped functions with a function value equal to 6.8%

Keywords: lean manufacturing, optimization, functional dependencies, modeling, resource efficiency, dynamic programming

Введение

В современных экономических условиях решения, направленные на полную минимизацию издержек, приобретают широкое распространение во многих отраслях народного хозяйства и заявлены приоритетом политики в рамках национального проекта «Производительность труда», утвержденного президиумом Совета при

Президенте РФ по стратегическому развитию и национальным проектам протоколом от 24.12.2018 № 16 [1]. Применение технологий и инструментов бережливого производства обеспечивает экономический рост предприятия. Постановка задачи исследования характеристик ресурсоэффективности по заданному временному интервалу в виде решения задачи оптимизации (с использованием методов динамического

Для цитирования

Преображенский А.П., Линкина А.В. Решение задачи оптимизации ресурсоэффективности предприятия с применением технологий бережливого производства // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 4. С. 321–325. doi:10.20914/2310-1202-2021-4-321-325

For citation

Preobrazhenskij A.P., Linkina A.V. Solving the problem of optimizing the resource efficiency of an enterprise using lean manufacturing technologies. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 4. pp. 321–325. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-4-321-325

программирования и метода рекуррентных уравнений Беллмана), позволяет определить закономерности, демонстрирующие ключевые характеристики моделей прогнозов с учетом разных вариантов планирования и при применении различных технологий снижения затрат на всех этапах производства. Материалы и методы.

В исследовании использовались методы, опирающиеся на концепцию теорий оптимального управления. Использовались подходы, применяемые в функциональном анализе и при решении дифференциальных уравнений и нахождения частных производных. Кроме того, применялся метод декомпозиции общей задачи на несколько более мелких задач, что обуславливало необходимость разбиения многошаговой оптимизационной задачи на несколько одношаговых.

Результаты

Структура разработанных в данном исследовании моделей в совокупности с алгоритмами решения оптимизационных задач определяются видом полученных функций. Авторами был осуществлен многошаговый поиск решения по заданному периоду планирования производственной деятельности. При анализе полученных результатов учтено, что выполнение экстремальных и граничных требований выполнялось разным образом, что обусловлено многовариантностью управленческих решений. Одним из перспективных подходов является использование метода экспертных оценок [10–20].

Требуемые варианты выбираются с учетом их ранжирования относительно их значимости. Большое значение для сокращения всех видов потерь имеет накопление опыта экспертов и участников производственного процесса при реализации инновационных подходов. Таким образом, одним из ключевых параметров в указанной многокритериальной системе является сохранение эффективной работы в подсистеме, связанной с интеллектуальной поддержкой принятия решений [8].

Оптимизацию в разработанной модели следует вести относительно распределений дополнительных затрат, которые вытекают из обеспечения условий роста ресурсо-эффективности предприятия. Одним из способов определения оптимального варианта в управленческих решениях может служить его верификация на основе сравнения рейтинга компании среди других аналогичных [4].

Как известно, любую оптимизационную задачу можно описать уравнением Беллмана, т. е. дифференциальным уравнением в частных производных с некоторыми начальными условиями,

которые определяются для последнего момента времени. При этом решение многошаговой задачи сводится к последовательному решению нескольких одношаговых задач оптимизации [5].

Для нашего случая предположим, что функция изменений ресурсоэффективности в технологиях бережливого производства задана по периоду планирования. Тогда в указанном выражении имеем уравнения:

– в виде зависимости роста ресурсоэффективности технологий бережливого производства от роста затрат по временным интервалам $\tau = \overline{1, \Delta}$;

– в виде последовательным образом определяемых значений ресурсоэффективности технологий бережливого производства, которые связаны с временными интервалами.

С привлечением модели следующего вида (1):

$$H = f(x_1, x_2, t) \quad (1)$$

можем осуществить прогноз роста ресурсоэффективности при применении технологий бережливого производства с учетом значения интервала планирования

$$T + \tau, \tau = \overline{1, \Delta}.$$

Примем следующие обозначения в (1):

x_1 – показатели, связанные с изменениями расходов предприятия, x_2 – показатели, связанные с расходами будущих периодов (т. е. затраты, понесенные организацией в предшествующем или настоящем периоде, но которые влияют на доходы в будущем).

Их значения имеют следующие ограничения: $0 \leq x_2 \leq X$, $\tau = \overline{1, \Delta}$.

Тогда по любому из значений τ и $x_{2\tau}$ с учетом ограничений, а также модели (1) ведется расчет функции

$$f(x_2, t), \forall \tau = \overline{1, \Delta} \quad (2)$$

Изменения в технологиях (с применением бережливого производства) по функциям (2) внутри периодов планирования демонстрируют, каким образом меняется ресурсоэффективность с учетом времени наблюдения $\tau = \overline{1, \Delta}$.

Зададим ограничения по объемам расходов:

$$\sum_{\tau}^{\Delta} x_{2\tau} \leq X \quad (3)$$

Введем функцию $f_2(x_{2\tau})$ зависящую от изменений в значениях $x_{2\tau}$ при ограничениях $0 \leq x_{2\tau} \leq X$.

Тогда для относительных значений переменных $x_{2\tau}$ имеем:

$$x_{2\tau} = \frac{X - x_{2\tau}}{x_{2\tau}} \cdot 100\% \quad (4)$$

$$f_2(\tau) = \frac{f(\tau) - f(\Delta)}{f(\Delta)} \cdot 100\%, \quad (5)$$

где $f(\Delta)$ – ресурсоэффективность технологий бережливого производства, которую получит компания при включении Δ -го временного интервала.

Для оптимального объема по затратам при ограничениях

$$0 \leq x_{2\tau} \leq X, \quad \tau = \overline{1, \Delta} \quad (6)$$

переменные (4) будут целочисленными, прогноз изменения в функции (5) осуществляется при ограничении

$$0 \leq f_2(\tau) \leq F. \quad (7)$$

Представленная функция будет иметь вид сплайна S-образной формы (рисунок 1).

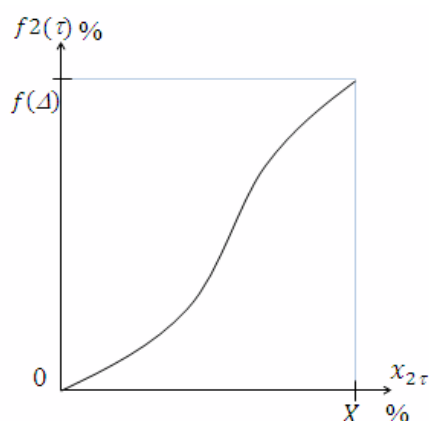


Рисунок 1. S-образная функция изменения ресурсоэффективности с применением технологий бережливого производства, %

Figure 1. S-shaped function of change in resource efficiency with the use of lean manufacturing technologies, %

Ресурсоэффективность технологий бережливого производства рассматривается с точки зрения того, что выполняются условия (6) и (7). Определим оптимальные объемы затрат. Их оценку можно осуществить разными способами [6]. Будем учитывать, что для решения данной задачи оптимизации для доходов должен наблюдаться процесс роста. Тогда значение функции для любого из рассчитываемых интервалов времени должно стремиться к максимуму:

$$\sum_{\tau} f(x_{2\tau}) \rightarrow \max_{x_{2\tau}, \tau = \overline{1, \Delta}} \quad (8)$$

Это достигается при решении задачи сепарабельного программирования с учетом значения функции (2), выполнения условия ограничения $x_{2\tau} > 0$ и условия оптимальности.

Обсуждение

С учетом допущения, что поставленная оптимизационная задача успешно решается и, анализируя три шага (при начальном условии представления многошаговой задачи в виде нескольких одношаговых), найдем 3 значения $x_{2\tau}$, которые соответствуют определенному интервалу. Мы придем к S-образным функциям, если будет сделан выбор $X = 5,8\%$, $f(\Delta) = 6,8\%$. Ниже показан переход к оптимизационной модели:

$$f(x_{2_{21}}) + f(x_{2_{22}}) + f(x_{2_{23}}) \rightarrow \max_{x_{2_{21}}, x_{2_{22}}, x_{2_{23}}}$$

$$x_{2_{21}} + x_{2_{22}} + x_{2_{23}} = 6$$

$$x_{2_{21}}, x_{2_{22}}, x_{2_{23}} = 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6.$$

Временные интервалы последовательным образом следуют друг за другом. Для каждого из них будет соответствующее состояние d_i анализируемой системы [3].

Процесс получения оптимального решения можно увидеть при анализе результатов в представленной таблице 1.

Первое значение $x_{2_6} = 0$ нами анализировалось как оптимальное. При этом в системе состояние $d_3 = 12$ будет искомым.

Работа экспертов заключается в реализации процесса выбора оптимального решения в рамках множества возможных. На практике каждая последовательность по вариантам будет обозначаться, соответственно, каждым из экспертов от худших вариантов к лучшим.

Таблица 1.

Получение оптимального решения

Table 1.

Getting the optimal solution

1 шаг	d_i	0	7	8	9	10	11	12
1 step	$x_{2_{2i}}(d_i)$	0	7	8	9	10	11	12
2 шаг	d_i	0	7	8	9	10	11	12
2 step	$x_{2_{2i}}(d_i)$	0	7	8	9	10	11	12
3 шаг	d_i	0	7	8	9	10	11	12
3 step	$x_{2_{2i}}(d_i)$	0	0;1	0;1	0	0	0;1	0;1

Заключение

При внедрении подходов бережливого производства возможно не только выстраивание всей системы предприятия на LEAN-принципах (что требует значительных ресурсных и временных затрат), но и реализации отдельных технологий. Поэтому решение задач оптимизации может оказать существенное влияние не только

на снижение затрат и рост доходов, но и повышение ресурсоэффективности в целом.

Таким образом, приведенная в исследовании выборка оптимального решения в рамках множества возможных, может служить эффективным методом решения задач оптимизации многошаговых процессов, где критерии оптимальности

представлены функцией критериев оптимальности отдельных стадий.

Благодарности

Авторы выражают благодарность фонду поддержки гуманитарных и просветительских инициатив «Соработничество» за финансовую поддержку при реализации исследования.

Литература

- 1 Паспорт национального проекта «Производительность труда», утвержденного президиумом Совета при Президенте РФ по стратегическому развитию и национальным проектам протоколом от 24.12.2018 № 16. URL: <http://base.garant.ru/72185994/>
- 2 Ананьев И.И. Значение бережливого производства на современном этапе // Инновационная наука. 2017. №. 10.
- 3 Вэйдер М. Инструменты бережливого производства: Мини-руководство по внедрению методик бережливого производства; 9-е изд. Москва: Альпина Паблишер, 2019. 128 с. URL: <https://www.iprbookshop.ru/82861.html>
- 4 Балашова Е.С., Громова Е.А. Бережливое производство в Российской промышленности как инновационная стратегия развития // Инновационная наука. 2015. №. 8-1.
- 5 Линкина А.В., Преображенский А.П. Повышение эффективности деятельности образовательной организации с использованием инструментов бережливого производства (опыт применения интегрированной экосистемы ВИБТ-АНОО ВО с использованием цифровых инструментов) // Вестник Воронежского института высоких технологий. № 3 (38). 2021. С. 81–83.
- 6 Львович И.Я., Альтварг М.С., Абрамов М.И. Характеристики методов и средств управления программными проектами // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2021. № 1 (36). С. 47–50
- 7 Львович И.Я., Львович Э.М., Мельникова Т.В. Характеристики алгоритма моделирования системы риск-менеджмента для предприятия // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2020. № 2 (33). С. 41–45
- 8 Львович Э.М., Холодков А.М. Проблемы передачи информации в автоматизированных системах управления // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2020. № 3 (34). С. 60–62
- 9 Нерсисян Е.А., Прохорова О.К., Воронцов Р.О. Актуальные аспекты управления инновационным развитием предприятия // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2020. № 3 (34). С. 59–64
- 10 Преображенский Ю.П., Чопоров О.Н., Ружицкий Е. Характеристики проектов при реализации автоматизированных систем // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2021. № 1 (36). С. 43–46.
- 11 Преображенский Ю.П., Чупринская Ю.Л., Кравцова Н.Е. Об управлении проектами в организациях с применением информационных систем // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2020. № 2 (33). С. 60–62
- 12 Суворов А.П., Лесников А.С. Особенности развития современных телекоммуникационных сетей // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2020. № 1 (32). С. 46–48.
- 13 Polverini D., Ardente F., Sanchez I., Mathieux F. et al. Resource efficiency, privacy and security by design: a first experience on enterprise servers and data storage products triggered by a policy process // computers & security. 2018. V. 76. P. 295-310. doi: 10.1016/j.cose.2017.12.001
- 14 Vidayev I.G., Martyushev N., Ivashutenko A.S., Bogdan A.M. The resource efficiency assessment technique for the foundry production // Advanced Materials Research. Trans Tech Publications Ltd, 2014. V. 880. P. 141-145. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.880.141
- 15 Pan L., Zou H., Wang H. Compromising fairness for enterprise resource efficiency improvement // 2017 13th International Conference on Natural Computation, Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (ICNC-FSKD). IEEE, 2017. P. 959-963. doi: 10.1109/FSKD.2017.8393407
- 16 Shinkevich A., Barsegyan N., Petrov V., Klimenko T. Transformation of the management model of a petrochemical enterprise in the context of industry 4.0 challenges // E3S Web of Conferences. EDP Sciences, 2021. V. 296. P. 06008. doi: 10.1051/e3sconf/202129606008
- 17 Kukartsev V.V., Khramkov V.V., Fedorova N.V., Rozhkova A.V. et al. Features of evaluating the effectiveness of industrial enterprise marketing activities // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing, 2020. V. 734. №. 1. P. 012081.
- 18 Kadir F., Hall D.M. Resource efficiency in industrialized housing construction—A systematic review of current performance and future opportunities // Journal of Cleaner Production. 2021. V. 286. P. 125443. doi: 10.1016/j.jclepro.2020.125443
- 19 Hung-Yi T. Research on the application of big data in enterprise human resource management // Journal of Physics: Conference Series. IOP Publishing, 2021. V. 1744. №. 3. P. 032241.
- 20 Abernikhina I., Sokyrykska I. Efficiency of the enterprise resources usage: practical aspect // Herald of Ternopil National Economic University. 2020. №. 3 (97). P. 171-184. doi: 10.35774/visnyk2020.03.171


References

- 1 Passport of the national project "Labor Productivity", approved by the Presidium of the Council under the President of the Russian Federation for Strategic Development and National Projects by Protocol No. 16 dated December 24, 2018. Available at: <http://base.garant.ru/72185994/> (in Russian).
- 2 Ananiev I.I. The value of lean production at the present stage. Innovative science. 2017. no. 10. (in Russian).
- 3 Vader M. Lean Tools: A Mini-Guide to Implementing Lean Practices; 9th ed. Moscow, Alpina Publisher, 2019. 128 p. Available at: <https://www.iprbookshop.ru/82861.html> (in Russian).


- 4 Balashova E.S., Gromova E.A. Lean production in the Russian industry as an innovative development strategy. *Innovatsionnaya nauka*. 2015. no. 8-1. (in Russian).
- 5 Linkina A.V., Preobrazhensky A.P. Improving the efficiency of an educational organization using lean production tools (experience in using the integrated ecosystem of VIVT-ANOO VO using digital tools). *Bulletin of the Voronezh Institute of High Technologies*. no. 3 (38). 2021. pp. 81–83. (in Russian).
- 6 Lvovich I.Ya., Altvarg M.S., Abramov M.I. Characteristics of methods and means of managing software projects. *Bulletin of the Voronezh Institute of High Technologies*. 2021. no. 1 (36). pp. 47–50. (in Russian).
- 7 Lvovich I.Ya., Lvovich E.M., Melnikova T.V. Characteristics of an algorithm for modeling a risk management system for an enterprise. *Bulletin of the Voronezh Institute of High Technologies*. 2020. no. 2 (33). pp. 41–45. (in Russian).
- 8 Lvovich E.M., Kholodkov A.M. Problems of information transmission in automated control systems. *Bulletin of the Voronezh Institute of High Technologies*. 2020. no. 3 (34). pp. 60–62. (in Russian).
- 9 Nersesyan E.A., Prokhorova O.K., Vorontsov R.O. Actual aspects of managing the innovative development of an enterprise. *Bulletin of the Voronezh Institute of High Technologies*. 2020. no. 3 (34). pp. 59–64. (in Russian).
- 10 Preobrazhensky Yu.P., Choporov O.N., Ruzhitsky E. Characteristics of projects in the implementation of automated systems. *Bulletin of the Voronezh Institute of High Technologies*. 2021. no. 1 (36). pp. 43–46. (in Russian).
- 11 Preobrazhensky Yu.P., Chuprinskaya Yu.L., Kravtsova N.E. On project management in organizations using information systems. *Bulletin of the Voronezh Institute of High Technologies*. 2020. no. 2 (33). pp. 60–62. (in Russian).
- 12 Suvorov A.P., Lesnikov A.S. Features of the development of modern telecommunication networks. *Bulletin of the Voronezh Institute of High Technologies*. 2020. no. 1 (32). pp. 46–48. (in Russian).
- 13 Polverini D., Ardente F., Sanchez I., Mathieux F. et al. Resource efficiency, privacy and security by design: a first experience on enterprise servers and data storage products triggered by a policy process. *computers & security*. 2018. vol. 76. pp. 295–310. doi: 10.1016/j.cose.2017.12.001
- 14 Vidayev I.G., Martyushev N., Ivashutenko A.S., Bogdan A.M. The resource efficiency assessment technique for the foundry production. *Advanced Materials Research*. Trans Tech Publications Ltd, 2014. vol. 880. pp. 141–145. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.880.141
- 15 Pan L., Zou H., Wang H. Compromising fairness for enterprise resource efficiency improvement. 2017 13th International Conference on Natural Computation, Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (ICNC-FSKD). IEEE, 2017. pp. 959–963. doi: 10.1109/FSKD.2017.8393407
- 16 Shinkevich A., Barsegyan N., Petrov V., Klimenko T. Transformation of the management model of a petrochemical enterprise in the context of industry 4.0 challenges. *E3S Web of Conferences*. EDP Sciences, 2021. vol. 296. pp. 06008. doi: 10.1051/e3sconf/202129606008
- 17 Kukartsev V.V., Khramkov V.V., Fedorova N.V., Rozhkova A.V. et al. Features of evaluating the effectiveness of industrial enterprise marketing activities. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. IOP Publishing, 2020. vol. 734. no. 1. pp. 012081.
- 18 Kadir F., Hall D.M. Resource efficiency in industrialized housing construction—A systematic review of current performance and future opportunities. *Journal of Cleaner Production*. 2021. vol. 286. pp. 125443. doi: 10.1016/j.jclepro.2020.125443
- 19 Hung-Yi T. Research on the application of big data in enterprise human resource management. *Journal of Physics: Conference Series*. IOP Publishing, 2021. vol. 1744. no. 3. pp. 032241.
- 20 Abernikhina I., Sokyrykska I. Efficiency of the enterprise resources usage: practical aspect. *Herald of Ternopil National Economic University*. 2020. no. 3 (97). pp. 171–184. doi: 10.35774/visnyk2020.03.171

Сведения об авторах

Андрей П. Преображенский д.т.н., профессор, Воронежский институт высоких технологий, ул. Ленина, 73 А г. Воронеж, 394043, Россия, app@vivt.ru


 <https://orcid.org/0000-0002-6911-8053>

Анна В. Линкина старший преподаватель, Воронежский институт высоких технологий, ул. Ленина, 73 А г. Воронеж, 394043, Россия, anna_linkina@rambler.ru


 <https://orcid.org/0000-0002-8429-1292>

Information about authors

Andrej P. Preobrazhenskij Dr. Sci. (Engin.), professor, Voronezh Institute of High Technologies, Lenina str., 73a Voronezh, 394043, Russia, app@vivt.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-6911-8053>

Anna V. Linkina senior lecturer, Voronezh Institute of High Technologies, Lenina str., 73a Voronezh, 394043, Russia, anna_linkina@rambler.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-8429-1292>

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 30/10/2020	После редакции 17/11/2020	Принята в печать 03/12/2020
Received 30/10/2020	Accepted in revised 17/11/2020	Accepted 03/12/2020