

Научная статья
УДК 658.5
<https://doi.org/10.24143/2073-5537-2026-3-95-106>
EDN GUXIPS

Анализ и оценка применимости методов оптимизации производственной программы на предприятиях металлургической промышленности

Дарья Александровна Липатова[✉], Евгения Сергеевна Замбржицкая

*Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова,
Магнитогорск, Россия, Dashaaleks97@list.ru[✉]*

Аннотация. В современных условиях высокой неопределенности предприятия металлургической отрасли характеризуются повышенной уязвимостью к различного рода экономическим рискам ввиду сложной специфики производства и его высокой капитал- и материалоемкости, что определяет важность поиска эффективных методов адаптации их производственной программы к любым изменениям внешней среды как условия обеспечения устойчивого экономического роста их деятельности. Проведена оценка возможностей практического применения методического инструментария оптимизации производственной программы с учетом специфики предприятий металлургической промышленности и текущих условий их функционирования. Для реализации цели использованы общенаучные теоретические методы, позволяющие осуществить обобщение и систематизацию имеющегося научного материала по данному направлению. На основе анализа представлено описание достаточно обширного перечня методического инструментария, разработанного и используемого в рамках различных методологических подходов к оптимизации производственной программы промышленного предприятия, в частности математического линейного и нелинейного программирования, имитационного и мультиагентного моделирования, анализа данных и стратегического анализа. Выделены ключевые особенности практического применения рассмотренных методов и достигаемый ими эффект, позволяющие определить возможность их реализации в условиях металлургического производства. Представлена систематизация методов оптимизации производственной программы металлургических предприятий, позволяющих находить наилучший вариант ее построения в краткосрочном периоде при заданных критериях оптимальности и имеющих высокое практическое значение для металлургической отрасли в текущей ситуации неопределенности внешней среды.

Ключевые слова: металлургическая промышленность, металлургическое производство, производственное планирование, производственная программа, методический инструментарий, методы оптимизации

Для цитирования: Липатова Д. А., Замбржицкая Е. С. Анализ и оценка применимости методов оптимизации производственной программы на предприятиях металлургической промышленности // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Экономика. 2026. № 3. С. 95–106. <https://doi.org/10.24143/2073-5537-2026-3-95-106>. EDN GUXIPS.

Original article

Analysis and applicability of production program optimization methods at metallurgical enterprises

Daria A. Lipatova[✉], Evgeniya S. Zambrzhitskaya

*Nosov Magnitogorsk State Technical University,
Magnitogorsk, Russia, Dashaaleks97@list.ru[✉]*

Abstract. In today's environment of high uncertainty, enterprises in the metallurgical industry are characterized by increased vulnerability to various economic risks due to the complex specifics of their production processes and their high capital and material intensity, which underscores the importance of finding effective methods to adapt their production programs to any changes in the external environment as a condition for ensuring sustainable economic growth of their operations. An assessment has been carried out of the possibilities for the practical application of methodological tools for optimizing production programs, taking into account the specifics of metallurgical enterprises and the current conditions of their operation. To achieve the goal, general scientific theoretical methods were

used, which made it possible to generalize and systematize the available scientific material in this area. Based on the analysis, a description is provided of a fairly extensive list of methodological tools developed and used within various methodological approaches to optimizing the production program of an industrial enterprise, in particular, mathematical linear and nonlinear programming, simulation and multi-agent modeling, data analysis, and strategic analysis. The key features of the practical application of the considered methods and the effect they achieve are highlighted, which makes it possible to determine the feasibility of their implementation in the context of metallurgical production. The article presents a systematization of methods for optimizing the production program of metallurgical enterprises, which make it possible to find the best option for its design in the short term under given optimality criteria and are of high practical importance for the metallurgical industry in the current situation of environmental uncertainty.

Keywords: metallurgical industry, metallurgical production, production planning, production program, methodological tools, optimization methods

For citation: Lipatova D. A., Zambrzhitskaya E. S. Analysis and applicability of production program optimization methods at metallurgical enterprises. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Economics*. 2026;3:95-106. (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/2073-5537-2026-3-95-106>. EDN GUXIPS.

Введение

В условиях неопределенности внешней среды важную роль в сохранении промышленными предприятиями своих конкурентных позиций в отрасли играет производственное планирование, одним из составляющих аспектов которого является оптимизация, обеспечивающая преобразование производственной системы в новое качественное состояние с заданными критериями оптимальности и учетом существующих ограничений. Решение обозначенной задачи в текущей ситуации приобретает особую значимость в условиях металлургического производства как многономенклатурного и сложного типа производства, отличающегося широтой ассортимента выпускаемой продукции, многостадийностью, материало- и ресурсоемкостью, выраженными в множестве варьируемых и в большинстве случаев неизвестных и постоянно изменяющихся во времени параметров и ограничений, учитываемых в процессе формирования производственной программы [1]. При этом стоит отметить, что для производственной программы предприятий указанного типа производства характерна значительная инерционность, затрудняющая быстрое изменение и корректировку ассортимента выпускаемой продукции и, соответственно, объемов производства в связи с технологическими особенностями производственного процесса, его организацией, масштабами, длительностью производственного цикла и долей незавершенного производства [2]. В связи с этим любое изменение во внутренней или внешней среде влечет проведение определенных исследований, требующих временных и финансовых затрат, что в свою очередь обуславливает высокий уровень риска данного процесса, и, соответственно, предусматривает поиск эффективных инструментов решения задач оптимизации.

Цель исследования – поиск и оценка возможностей практического применения методического инструментария оптимизации производственной программы, адаптированного к специфике предприятий металлургической промышленности и текущим условиям их функционирования.

В статье использованы общенаучные теоретические методы (анализ, синтез, аналогия), соответствующие цели исследования и позволяющие осуществить поиск методического инструментария оптимизации производственной программы в соответствии со спецификой металлургической отрасли на основе изучения имеющегося научного материала.

Материалы и результаты исследования

Вопросы поиска методов нахождения оптимальных решений в области производственного планирования на промышленных предприятиях с многономенклатурным и непрерывным типом производства в настоящее время играют важную роль, вызванную необходимостью достижения наиболее полного и эффективного использования имеющихся ресурсов, обеспечивающего максимальный выпуск продукции. Решение обозначенных вопросов предполагает составление (корректировку) на оперативном уровне планирования оптимального краткосрочного плана выпуска продукции в контексте условно-постоянных факторов (производственных процессов, ресурсов, средств производства и требований к продукции) в соответствии со спецификой производства и существующими ограничениями: технологическими, сырьевыми, производственными и рыночными.

Перед тем как перейти непосредственно к исследованию методов оптимизации производственной программы металлургических предприятий, необходимо, как уже было отмечено выше, сформулировать специфические характеристики металлургического производства, т. к. именно они определяют в дальнейшем критерии оптимизации производственной программы и выбор собственно метода решения поставленной задачи. Схематично специфика металлургического производства для целей идентификации выбора критериев в рамках решения задачи оптимизации производственной программы металлургического предприятия представлена на рис. 1.

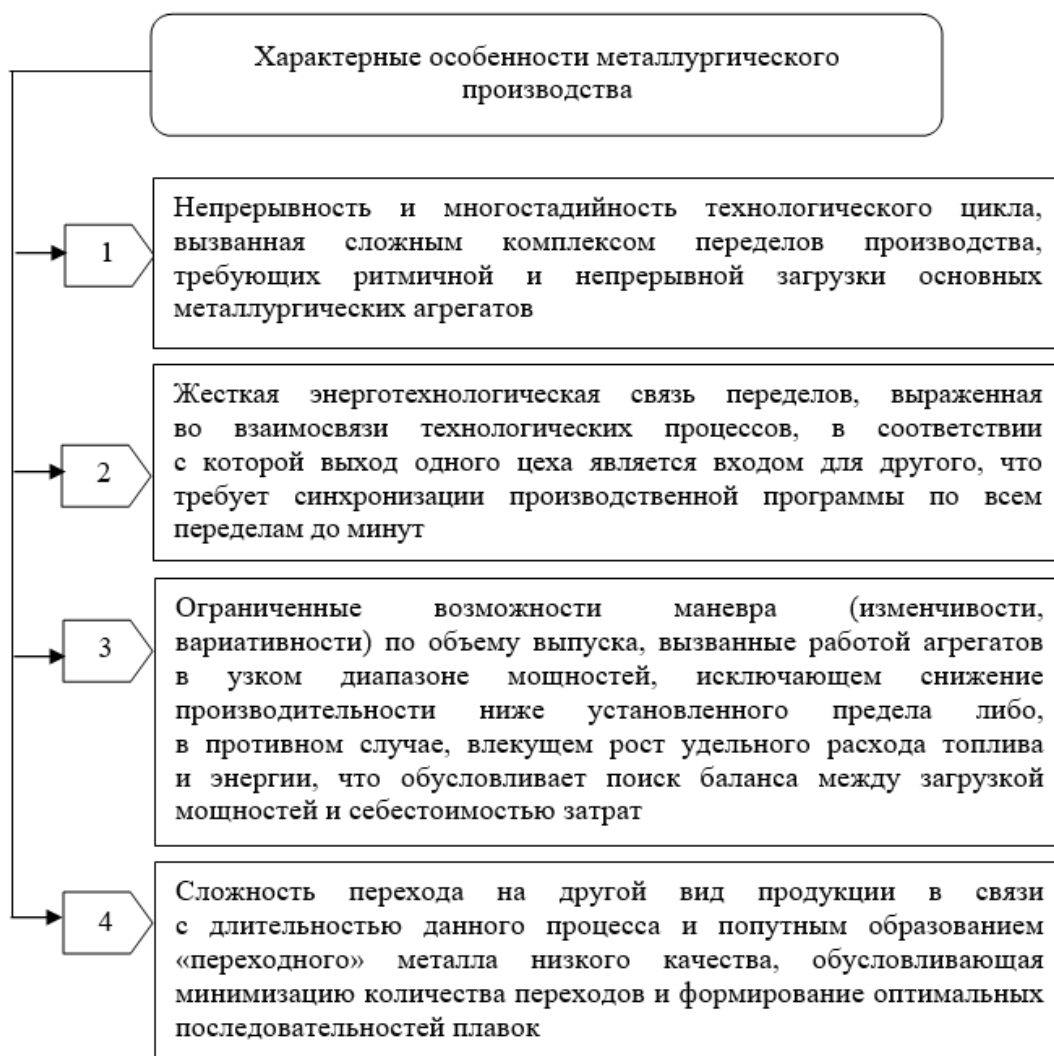


Рис. 1. Специфика металлургического производства для целей идентификации выбора критериев для решения задачи оптимизации производственной программы металлургического предприятия

Fig. 1. Specificity of metallurgical production for the purposes of identifying and selecting criteria for solving the problem of optimizing the production program of a metallurgical enterprise

Lipatova D. A., Zambzhinskaya E. S. Analysis and applicability of production program optimization methods at metallurgical enterprises

Определимся, что под составлением оптимального краткосрочного плана выпуска продукции понимается расчет оптимальной производственной программы, представляющей собой наилучшее сочетание использования факторов производства и структуры ассортимента продукции с учетом имеющихся ограничений, обеспечивающего получение максимальной экономической эффективности производства в текущих условиях хозяйствования. Соответственно, критериями эффективности производственной программы, как правило, выступают конечные результаты производства, представленные экономическими показателями объема и структуры товарной продукции, а также затрат на ее выпуск,

такими как минимальная себестоимость продукции, прибыль, производственная мощность и эффективность использования производственных ресурсов, выраженная в рентабельности продукции и производства [3–7]. Наряду с указанными критериями оптимизации, которые можно определить как универсальные в условиях большинства промышленных предприятий, для целей оптимизации производственной программы металлургических предприятий необходимо выделить специфические критерии, обусловленные особенностями металлургического производства, описанными выше. К числу указанных критериев можно отнести состав критериев, представленных на рис. 2.

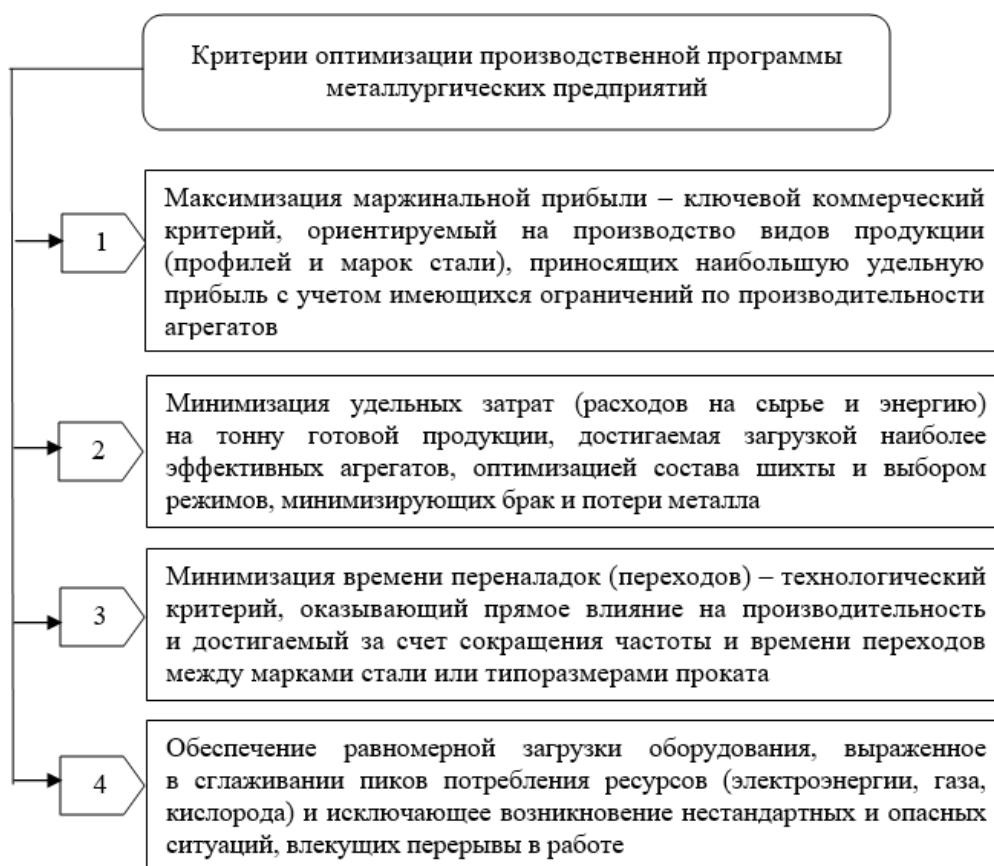


Рис. 2. Критерии оптимизации производственной программы металлургических предприятий

Fig. 2. Criteria for optimizing the production program of metallurgical enterprises

Выделенные показатели эффективности производственной программы, в свою очередь, определяют многокритериальный характер процесса ее оптимизации, заключающийся в построении множества оптимальных производственных планов и образующий одно из направлений теории принятия решений – методы многокритериальной оптимизации [5, 7–9].

Распространенную группу многокритериальных методов оптимизации производственной программы промышленных предприятий составляют детерминированные методы, входящие в раздел математического моделирования, суть которого сводится к формализации задачи оптимизации с описанием варьируемых параметров (переменных), построением целевой функции переменных и нахождением ее оптимального значения. Одним из наиболее применяемых в производственном планировании методов рассматриваемой группы является линейное программирование, или линейная оптимизация, характеризующееся линейным видом зависимости экономических зависимостей, в частности [4, 10]:

– линейной зависимостью показателя эффективности (целевой функции производственной программы) от элементов решения переменных;

– линейным видом равенств или неравенств, отражающих налагаемые на элементы решения ограничения.

Преимущества линейного программирования состоят в получении оптимальных объемов выпуска продукции и необходимых для производства объемов сырья при колебаниях рыночного спроса, обеспечивая тем самым снижение рисков невыполнения запланированных показателей, а также гибкость и оперативность реагирования производственной системы на изменения условий рынка сбыта за счет возможности подстройки производственного процесса под необходимую модель плана, отражающую реальный спрос на производимую продукцию [11]. При этом использование данного метода, как и других методов математического моделирования, представляется возможным исключительно на оперативном уровне планирования, т. е. в краткосрочном периоде ввиду неопре-

деленности перспектив и вероятного изменения факторов в долгосрочном периоде [12].

Для решения задач линейной оптимизации в производственном планировании промышленных предприятий применяются следующие методы (алгоритмы):

1. Метод сверстки критериев, предусматривающий преобразование многокритериальной задачи в однокритериальную путем сбора общего критерия всех исходных. Применение данного метода предполагает различные типы сверстки, наиболее распространенными из которых являются аддитивная и мультипликативная. Суть первого типа сверстки заключается в определении весовых коэффициентов критериев, которые должны быть неотрицательными и в сумме составлять единицу, их последующем преобразовании в обобщенный критерий с построением функции аддитивной сверстки и решении задачи однокритериальной оптимизации. Решение последнее в основном осуществляется с использованием симплексного метода, представляющего собой итерационный процесс перехода от текущего опорного плана к другому опорному плану с наилучшим значением целевой функции [13]. Второй тип сверстки – мультипликативная – предполагает объединение всех критериев в один так называемый «суперкритерий» и применяется в случаях, когда все параметры решаемой задачи критично значимы, взаимосвязаны и взаимозависимы.

2. Метод последовательных уступок, используемый для решения задач оптимизации по принципу их поэтапного упрощения при помощи последовательного исключения критериев в порядке убывания их значимости.

3. Метод идеальной точки, предусматривающий нахождение точки, наиболее близкой к идеальной и считающейся лучшей из всех возможных решений относительно каждого критерия.

Положенная в основу метода линейного программирования теория ограничений применительна и к металлургическому производству, т. к. позволяет выявлять ограничивающие его факторы, ранжировать их и осуществлять оптимизацию путем последовательного исключения заказов и видов продукции с наименьшим приоритетом по результатам многовариантных расчетов, проводимых в процессе формирования производственных планов. В частности, в числе таких факторов учитываются [14]:

- производственная структура предприятия, представленная в разрезе входящих производственных подразделений, производственного оборудования и агрегатов;

- номенклатура производимой продукции с учетом ее наименования, маркировки, характеристики проката, вида покрытия и т. д.;

- структура продукции, отражающая расход сырья и полуфабрикатов в виде соответствующих коэффициентов;

- технологические маршруты производства продукции в разрезе ее номенклатуры;

- основные статьи затрат на выпуск и реализацию продукции с дифференцированием их на постоянные и переменные;

- отпускные цены на готовую продукцию в разрезе ее номенклатуры;

- портфель заказов на производство продукции.

Повышение качества поиска оптимального решения в результате использования сложных математических методов, к которым относится линейное программирование, достигается за счет увеличения количества расчетов и более высокой их точности, что позволяет [6]:

- определить максимальную производственную программу с выявлением использования производственного оборудования и производственных площадей предприятия, включая «узкие» и «избыточные» места;

- рассчитать количество производственных рабочих для выполнения намечаемой производственной программы в разрезе профессий и разрядов;

- определить фонды заработной платы для выявленных контингентов производственных рабочих;

- определить потребности в необходимых для выполнения производственной программы основных и вспомогательных материалах;

- осуществить калькуляцию себестоимости основных видов производимой предприятием продукции.

Для достижения наилучшего результата оптимизации производственной программы метод линейного программирования также может быть дополнен совместным использованием метода ABC-анализа [14, 15], позволяющего учитывать разделение косвенных затрат на уровне единицы продукции, партии, цеха, обеспечивая тем самым их более объективный учет по сравнению с традиционными методами и повышение точности оценки производственной себестоимости продукции [16, 17].

Наиболее простым методом многокритериальной оптимизации производственной программы на основе линейного программирования, адаптированным к специфике металлургического производства, считается одновременное получение оптимальных уровней двух и, как правило, взаимопrotivоречащих абсолютных критериев деятельности предприятия через естественное объединение их в экстремуме соответствующего относительного критерия. В данном случае при применении метода в качестве абсолютных критериев используются выручка предприятия, отражающая максимальный объем продаж продукции, и ее минимальная себестоимость за конкретный период. В свою очередь, относительным критерием, связы-

вающим перечисленные абсолютные критерии, является максимум чистого дохода предприятия на совокупные затраты в том же периоде. Алгоритм практического применения метода состоит из четырех этапов, заключающихся [7]:

- в построении модели расчета оптимальной производственной программы путем сравнительного графического анализа абсолютных критериев – максимума выручки от продажи продукции и минимума затрат на ее производство;
- построении модели расчета производственной программы по относительному критерию максимума чистого дохода на один рубль всех затрат;
- сведении задачи дробно-линейного программирования к эквивалентной задаче линейного программирования с последующим осуществлением ее графического анализа;
- сравнении полученных вариантов оптимальной производственной программы для выработки оптимального управленческого решения.

В условиях диверсификации производства, направленной на формирование рационального набора и объема выпускаемой продукции с учетом изменений спроса и потребностей рынка, рассмотренные выше количественные методы оптимизации производственной программы дополняются методами стратегического анализа, в частности матрицами Бостонской консультативной группы, «Дженерал Электрик – МакКинзи», а также рядом других методов, обеспечивающих в совокупности комплексный подход к разработке оперативно-тактических решений. Применение данных методов обосновано тем, что при диверсификации производства любое отклонение от планируемых показателей приводит к невосполнимым экономическим потерям для предприятий, предотвращение которых требует первоначального определения круга проблем, а также формирования концепции диверсификации и возможностей ее реализации в аспекте материальных и финансовых ресурсов.

Возможности методов стратегического анализа, используемые в оптимизации производственной программы промышленных предприятий, расширяются методами принятия решений, основанными на концепции сценарного планирования. В числе их преимуществ отмечается присущая им практическая адаптированность к ситуациям высокой степени неопределенности, достигаемая за счет конструирования множества вариантов развития объекта (в данном случае производственной системы промышленного предприятия) в зависимости от комбинации значимых внутренних и внешних факторов, в то время как использование традиционных методов стратегического анализа обеспечивает концентрацию исключительно на выборе лишь базового и инерционного вариантов. Суть

применения рассматриваемых методов состоит в реализации ряда этапов действий, а именно [12]:

- идентификации требующих решения ключевых стратегических вопросов с выделением границ внешней среды и согласованием горизонта планирования, позволяющих выделить проблемную область;
- идентификации ключевых участников, тенденций и факторов неопределенности средствами анализа внутренней и внешней среды предприятия для выделения и систематизации основных источников турбулентности и потенциальных разрывов, а также определения вероятных вариантов изменения значимых факторов;
- генерировании базовых сценариев развития объекта (производственной системы) путем комбинирования различных факторов для определения его будущего вероятного состояния в каждом из сценариев, выделения его качественных параметров, их сведения к количественным показателям (квантификации) и проведения оценки согласованности и непротиворечивости;
- разработке возможных траекторий развития будущих событий и оценке вероятности их возникновения, в том числе их последствий в случае наступления;
- проведении анализа стратегических опционов с определением возможных альтернатив развития, построением опережающих действий и выбором их наиболее оптимального варианта;
- реализации выбранной стратегии в конкретные планы действий;
- проведении мониторинга индикаторов реализации выбранного сценария плана действий;
- обновлении сценария плана действий путем его корректировки на основе проведения оценки актуальности и валидности полученных данных мониторинга.

Кроме отмеченных преимуществ методов сценарного планирования, не менее значимая их особенность заключается в возможности их преобразования из инструмента корректировки стратегии в механизм обеспечения динамической адаптивности производственной системы предприятия.

В сложившейся сегодня ситуации приемлемым становится использование детерминированных методов оптимизации производственной программы, предусматривающих проведение одновременного мониторинга внутренней и внешней среды, а также периодической адаптации производственной программы в соответствии с изменениями рыночных условий. Между тем использование данных методов на практике представляется достаточно сложным и требующим разработки соответствующей методики [3]. В то же время при разработке производственной программы для получения определенных достоверных данных для выполне-

ния соответствующих расчетов часто используется имитационное моделирование [18]:

1. Построение имитационной модели на основе сочетания аналитических и имитационных компонентов, представляющей собой сценарный аналог производственного процесса.

2. Проведение оптимизации средствами регрессионного анализа с построением уравнения регрессии, отражающим зависимость выходного параметра (отклика) от входных факторов и позволяющим найти экстремальную точку (минимум или максимум) с использованием метода оптимизации случайного поиска (Random Search Optimization, RSO).

3. Использование результатов имитационного моделирования методами математического программирования, в том числе:

- графическим методом при наличии переменных факторов не более двух;

- линейного программирования в случае, если число переменных-факторов не менее двух, в том числе симплекс-метода (в случае большего числа факторов);

- нелинейного программирования в сочетании с градиентными методами в случае получения уравнения регрессии второго порядка в области нахождения экстремума, в частности методом нелинейного программирования Франка – Вульфа с линейными ограничениями и методом Гаусса – Зейделя (метод покоординатного спуска). Последний представляет градиентный метод для решения задач безусловной многомерной оптимизации путем итерационного (последовательного) приближения к экстремуму. Данный метод отличается простотой применения по сравнению с методом Франка – Вульфа, обеспечиваемой покоординатным спуском на каждой из последующих итераций, что представляется особенно важным в случае невозможности определения вида функции и осуществления аналитического расчета градиента.

В зависимости от вида целевой функции методы нелинейного программирования включают метод множителей Лагранжа, квадратичное и выпуклое программирование. Суть метода множителей Лагранжа состоит в сведении задачи поиска условного экстремума целевой функции на множестве допустимых значений к задаче безусловной оптимизации вспомогательной функции – функции Лагранжа. Алгоритм использования данного метода предусматривает:

- построение функции Лагранжа из заданной целевой функции и системы ограничений;

- нахождение частных производных от функции Лагранжа по переменным и множителям Лагранжа в виде системы уравнений с соответствующим количеством неизвестных;

- решение полученной системы уравнений с нахождением точек, в которых целевая функция достигает экстремума;

- проверку найденных точек на соответствие экстремальности и вычисление значений функции в них.

Квадратичное и выпуклое программирования также относятся к классу оптимизационных методов нелинейного программирования, используемых для оптимизации производственной программы промышленных предприятий в условиях ограничений. Первый вид методов нелинейного программирования применяется в случаях, когда минимизируемая целевая функция имеет квадратичную форму, отражающую зависимость объема выпуска продукции от израсходованных ресурсов. В данном случае решение задачи оптимизации осуществляется с использованием аналитических и численных методов (метод активного множества, метод внутренней точки). Выпуклое программирование, напротив, применяется, когда целевая функция приобретает выпуклую форму, отражающую стоимостные характеристики производства при фиксированном объеме выпуска продукции. Основные методы решения задач оптимизации в этом случае (в дополнение к методу градиентного спуска):

- методы, основанные на теореме Куна – Такера и являющиеся обобщением рассмотренного выше метода множителей Лагранжа, но отличающиеся от него выражением ограничений на переменные в виде неравенств;

- процедуры, базирующиеся на эвристических приемах.

Возвращаясь к вопросу использования методов имитационного моделирования в оптимизации производственной программы промышленных предприятий, стоит выделить в их числе как наиболее распространенные методы, основанные на системно-динамическом подходе и представляющие собой мощный инструмент для исследования динамических процессов в сложных системах с обратной связью, примером которых является производственная система. Использование данных методов в оптимизации производственной программы позволяет выявлять глобальные зависимости и причинно-следственные связи в производственной системе промышленного предприятия [15].

В качестве подхода для решения задач многокритериальной оптимизации используются и методы динамического программирования, основанные на принципе оптимальности Р. Беллмана и применяемые в производственном планировании в случаях изменения во времени потребности в выпуске продукции и необходимости обеспечения оптимального распределения ресурсов между различными направлениями. Суть данного подхода отличается своей простотой и предусматривает решение задачи оптимизации путем решения ее отдельных частей (подзадач) с последующим объединением полученных их решений в одно общее решение.

ние. В практике производственного планирования в основном применяется [18]:

- динамическое программирование «сверху» или так называемый метод Top-Down, обеспечивающий преобразование задачи оптимизации из экспоненциальной в линейную путем ее разделения на подзадачи, их последующего решения и объединения полученных результатов в общее решение на основе простого запоминания вероятности их повторения;

- динамическое программирование «снизу», позволяющее так же, как и в предыдущем случае, разбить задачу оптимизации на составные части (подзадачи), но в виде рекурсивной последовательности, результаты решения которых затем комбинируются в общее решение исходной задачи.

Перечень методов оптимизации производственной программы промышленных предприятий преимущественно с многономенклатурным типом производства дополняется эвристическими методами, в частности мультиагентными методами. Наиболее простым методом из числа последних является мультиагентное моделирование или PSO-метод, служащий алгоритмом оптимизации, основанным на системной динамике, в том числе с использованием роя частиц (метод роя частиц – МРЧ), представляющих собой потенциальное оптимальное решение. Возможности практического использования PSO-метода в условиях многономенклатурного производства определяются присущими ему особенностями, обеспечивающими максимально быструю адаптацию производственной программы к изменениям окружающей среды, в том числе за счет достаточно большого количества настраиваемых параметров, и стохастичность поиска ее оптимального решения на основе решений агентов всего роя частиц, достигаемую в свою очередь вследствие отсутствия жестких требований к целевой функции, в связи с чем она может быть мультимодальной, негладкой и с разрывами, а также повышения скорости нахождения оптимального решения и расширяемости при помощи добавления в работу метода новых операторов для создания гибридных систем [1].

В зависимости от специфики промышленного предприятия при проведении моделирования оценка текущего рыночного спроса на продукцию может осуществляться с использованием статистических, эвристических (в том числе экспертных) и других методов [3, 19, 20, 21]. Однако применение статистических методов в текущих условиях имеет некоторые ограничения, не позволяющие их использовать при прогнозировании спроса в краткосрочном периоде. По этой же причине затруднено также практическое применение и экономико-математических методов прогнозирования, основанных на использовании статистических

закономерностей. В связи с этим наиболее адекватным методом прогнозирования спроса в текущих условиях является экспертный метод, дополняемый более сложными методами принятия решения, такими как стохастическое программирование, методы теории игр и принятия решений, в условиях неопределенности [3].

Основу математической постановки и решения задач оптимизации при использовании стохастического линейного программирования составляет теория стохастических дифференциальных уравнений [22]. В то же время данный подход характеризуется схожими особенностями, присущими динамическому линейному программированию и выраженными в многопериодном характере рассматриваемого процесса, а также количественном и качественном описании исходных данных. Основное его отличие от динамического линейного программирования заключается в том, что при решении стохастической задачи указанное описание осуществляется для каждого из сценариев, а не для каждого периода времени, как в динамической задаче. Другим не менее значимым отличием обозначенных подходов к решению задач линейной оптимизации является характер используемых исходных данных, который в случае динамического линейного программирования носит постоянный характер и определяет их детерминированность, в случае стохастического – напротив, вероятностный характер, обуславливающий необходимость рассмотрения нескольких сценариев в рамках одного периода времени, каждый из которых обладает определенной вероятностью возникновения. Помимо этого, детерминированная модель оптимизации обладает возможностями расширения и преобразования в стохастическую модель, позволяющую при планировании учитывать неопределенности и риски, а также прорабатывать одновременно множество сценариев [23].

Для решения стохастических задач оптимизации производственной программы применяются численные методы аппроксимации, в частности одношаговый метод Эйлера – Маруамы и различные его модификации, отличающиеся высокой точностью и простотой практического применения [22].

Поиск методического инструментария оптимизации производственной программы, адаптированного к специфике предприятий металлургической отрасли, позволяет в качестве основного направления выделить экономико-математические методы (рис. 3), объединенные в группу методов многокритериальной оптимизации, основанных на теории принятия решений и составляющих раздел математического программирования. Последний включает детерминированные и стохастические методы, представленные методами линейного и нелинейного программирования, а также мето-

дами динамического программирования, в соответствии с которыми модель оптимизации производственной программы приобретает детерминированный, стохастический или динамический вид, позволяющий учитывать влияние различных факторов (рыночных, производственных, сырьевых, технологических), их изменение во времени и степень неопределенности. Практическое использова-

ние указанных методов предполагает их сочетание с эвристическими, вероятностными, количественными и качественными методами анализа данных, дополняемыми методами стратегического анализа с целью обеспечения комплексного подхода к решению задач оптимизации производственной программы, соответствующего специфике металлургического производства.

Lipatova D. A., Zambrzhinskaya E. S. Analysis and applicability of production program optimization methods at metallurgical enterprises

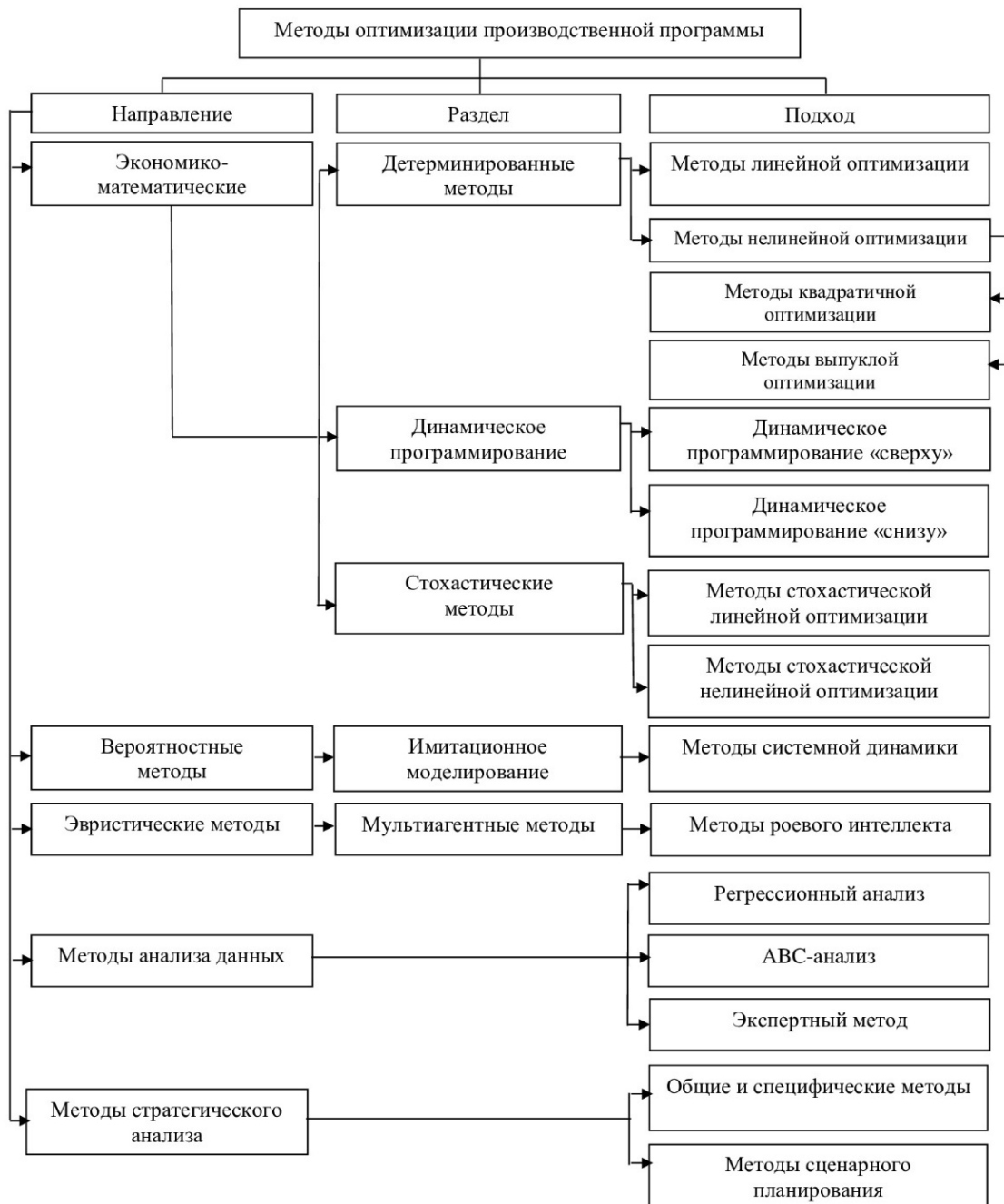


Рис. 3. Методы оптимизации производственной программы промышленных предприятий

Fig. 3. Methods for optimizing the production program of industrial enterprises

Заключение

Характерный для текущей ситуации высокий риск неопределенности внешней среды требует повышения адаптации производственной системы промышленных предприятий металлургической отрасли к новым и стремительно меняющимся условиям, обеспечивающей экономический рост их деятельности при удовлетворении потребностей рынка с учетом существующих ограничений. В связи с этим в настоящее время ключевой проблемой становится поиск эффективного и адаптированного к специфике отрасли методического инструментария оптимизации производственной

программы промышленных предприятий, составляющей центральное звено их производственной системы и определяющей объемы и структуру товарного предложения в плановом периоде в соответствии с изменением рыночного спроса и ресурсной обеспеченности. Решение обозначенной проблемы достигается комплексным использованием методов оптимизации производственной программы, позволяющих находить наилучший вариант ее построения в краткосрочном периоде при заданных критериях оптимальности с учетом специфики металлургического производства.

Список источников

1. Макеенко М. В., Тихонова М. В. Подходы к формированию производственной программы предприятия // Экономика и управление. СПб.: Изд-во Санкт-Петербург. гос. ун-та экономики и финансов, 2011. С. 42–48.
2. Крюкова О. Г. Производственная программа – основа конкурентоспособности, финансовой устойчивости и безопасности предприятия // Финансы и кредит. 2003. № 19 (133). С. 53–56.
3. Берг Т. И. Теоретические аспекты планирования производственной программы промышленных предприятий пищевой отрасли // Экономика, экология и общество России в XXI столетии: сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф. (Санкт-Петербург, 18 февраля 2002 г.). СПб.: Изд-во СПбПУ, 2002. С. 296–300.
4. Волощук С. А., Гулакова С. А. Оптимизация производственной программы промышленного предприятия // Вестн. Приазов. гос. техн. ун-та. 2008. № 18. С. 304–308.
5. Гурьева М. В., Дронов В. В. Модели оптимизации производственной программы // Нов. ун-т. 2011. № 3. С. 74–78.
6. Ольховая М. В., Шинкевич А. Н. Проблемы формирования ассортиментной политики промышленного предприятия // Основные направления повышения эффективности экономики. Краснодар: Изд-во КубГТУ, 2005. Рр. 42–47.
7. Харсанов Э. Д. Применение сценарного планирования как метода принятия решений в корпорации // Вестн. Евраз. науки. URL: <https://esj.today/PDF/46FAVN125.pdf?ysclid=mdd7su7j6494862076> (дата обращения: 21.07.2025).
8. Замбрицкая Е. С., Липатова Д. А. Критерии сбалансированности производственной программы в условиях внутрифирменного планирования современных промышленных предприятий // Современные достижения университетских научных школ: сб. докл. нац. науч. шк.-конф. (Магнитогорск, 25–26 ноября 2024 г.). Магнитогорск: Изд-во МГТУ им. Г. И. Носова, 2024. С. 91–96.
9. Лычагин М. В., Маркова В. Д., Мироносецкий Н. Б. Оптимизация планов производства. Новосибирск: Наука, 1987. 212 с.
10. Замбрицкая Е. С., Липатова Д. А. Производственная программа как ключевой элемент внутрифирменного планирования на российских промышленных предприятиях // Экономика и предпринимательство. 2025. № 4 (177). С. 1377–1383.
11. Алферьев Д. А., Кремин А. Е. Многоцелевая оптимизация программы выпуска продукции // Вестн. ун-та. 2019. № 12. С. 92–101.
12. Шмагирев А. В. Модель оптимизации производственной программы многопрофильного промышленного предприятия (на примере ОАО «НЭВЗ») // Вестн. Новосибир. гос. ун-та. 2009. № 1. С. 54–59.
13. Кондрашова В. К. Возможности постоптимизационного анализа устойчивости управленческих решений на основе экономико-математических моделей и методов // Вестн. Моск. гос. ун-та печати им. Ивана Федорова. 2011. № 2. С. 27–37.
14. Жлудов В. В., Песин А. М., Салганик В. М. Определение оптимального ассортимента выпускаемой продукции на производственном предприятии // Математические методы информационные технологии в экономике: сб. материалов Междунар. науч.-техн. конф. (Пенза, 27–28 января 2000 г.). Пенза: Приволж. дом знаний, 2000. С. 112–113.
15. Журавлев С. С. Краткий обзор методов и средств имитационного моделирования производственных систем // Имитационное моделирование технических систем и технологических процессов. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kratkiy-obzor-metodov-i-sredstv-imitatsionnogo-modelirovaniya-proizvodstvennyh-sistem?ysclid=mdd5pzn2hj603214559> (дата обращения: 21.07.2025).
16. Астраханцева И. А., Одинцова Е. В. Управление производственной программы промышленного предприятия на основе оптимизации ассортиментной политики // Вестн. Иванов. гос. энергет. ун-та. 2008. № 1. С. 18–23.
17. Одинцова Е. В., Астраханцева И. А. Методические подходы к управлению производственной программой промышленного предприятия // Экон. науки. 2008. № 39. С. 173–178.
18. Емельянов А. А., Шильникова О. В., Емельянова Н. З. Оптимизация производственных программ на основе результатов имитационного моделирования // Приклад. информатика. 2015. Т. 10. № 3 (57). С. 109–121.
19. Перепечева Е. С., Вертакова Ю. В., Хорьков А. В. Инструментария формирования производственной программы промышленного предприятия // Глобализация экономики и российские производственные предприятия: сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф. (Новочеркасск, 18–20 мая 2015 г.). Новочеркасск: Изд-во ЮРГПУ им. М. И. Платова, 2015. С. 35–40.
20. Попова К. А., Кельчевская Н. Р., Слукина С. А. Оптимизация планирования производственной деятельности предприятия в условиях динамичной внешней среды // Экономика, предпринимательство, право. 2023. № 5. С. 1503–1520.
21. Порядина В. Л. Анализ модели расчета производственной программы по различным экономическим крите-

риям // Науч. вестн. Воронеж. гос. архитектур.-строит. ун-та. 2015. № 1 (7). С. 117–122.

22. Ильина Е. А., Сараев Л. А. Стохастические модели динамики максимальной и оптимальной прибыли производственного предприятия, внедряющего технологические инновации // Вестн. Самар. ун-та. 2023. № 2. С. 197–213.

References

1. Makeenko M. V., Tihonova M. V. Podhody k formirovaniyu proizvodstvennoy programmy predpriyatiya [Approaches to forming an enterprise's production program]. *Ekonomika i upravlenie*. Saint Petersburg, Izd-vo Sankt-Petersburgskogo gosudarstvennogo universiteta ekonomiki i finansov, 2011. Pp. 42–48.

2. Kryukova O. G. Proizvodstvennaya programma – osnova konkurentosposobnosti, finansovoy ustojchivosti i bezopasnosti predpriyatiya [The production program is the foundation of the company's competitiveness, financial stability, and security]. *Finansy i kredit*, 2003, no. 19 (133), pp. 53–56.

3. Berg T. I. Teoreticheskie aspekty planirovaniya proizvodstvennoy programmy promyshlennyyh predpriyatij pishchevoy otrasli. *Ekonomika, ekologiya i obshchestvo Rossii v XXI stoletii* [Theoretical aspects of planning the production program of industrial enterprises in the food industry. The economy, ecology, and society of Russia in the 21st century]. *Sbornik materialov Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii (Sankt-Peterburg, 18 fevralya 2002 g.)*. Saint Petersburg, Izd-vo SPbPU, 2002. Pp. 296–300.

4. Voloshchuk S. A., Gulakova S. A. Optimizatsiya proizvodstvennoy programmy promyshlennogo predpriyatiya [Optimization of the production program of an industrial enterprise]. *Vestnik Priazovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2008, no. 18, pp. 304–308.

5. Gur'eva M. V., Dronov V. V. Modeli optimizatsii proizvodstvennoy programmy [Production program optimization models]. *Novyy universitet*, 2011, no. 3, pp. 74–78.

6. Ol'hovaya M. V., Shinkevich A. N. Problemy formirovaniya assortimentnoy politiki promyshlennogo predpriyatiya [Problems of forming the assortment policy of an industrial enterprise]. *Osnovnye napravleniya povysheniya effektivnosti ekonomiki*. Krasnodar, Izd-vo KubGTU, 2005. Pp. 42–47.

7. Harsanov E. D. Primenenie scenarnogo planirovaniya kak metoda prinyatiya reshenij v korporatsii [The use of scenario planning as a decision making method in a corporation]. *Vestnik Evrazijskoy nauki*. Available at: <https://esj.today/PDF/46FAV-N125.pdf?ysclid=mdd7su7j6494862076> (accessed: 21.07.2025).

8. Zambrzhickaya E. S., Lipatova D. A. Kriterii sbalansirovannosti proizvodstvennoy programmy v usloviyah vnutrifirmennogo planirovaniya sovremennyh promyshlennyyh predpriyatij. *Sovremennye dostizheniya universitetskikh nauchnykh shkol* [Criteria for the balance of the production program in the context of intra company planning at modern industrial enterprises. Modern achievements of university research schools]. *Sbornik dokladov nacional'noy nauchnoy shkoly-konferencii (Magnitogorsk, 25–26 noyabrya 2024 g.)*. Magnitogorsk, Izd-vo MGTU imeni G. I. Nosova, 2024. Pp. 91–96.

9. Lychagin M. V., Markova V. D., Mironoseckij N. B. *Optimizatsiya planov proizvodstva* [Optimization of production plans]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1987. 212 p.

10. Zambrzhickaya E. S., Lipatova D. A. Proizvodstvennaya programma kak klyuchevoj element vnutrifirmennogo planirovaniya na rossijskikh promyshlennyyh predpriyatiyah [The production program as a key element of intra company planning

23. Бочкарев А. А., Нос В. А., Гончаренко Е. А. Динамические и стохастические задачи линейного программирования в логистике и управлении цепями поставок // Экономика, предпринимательство и право. 2024. № 4. С. 1123–1148.

at Russian industrial enterprises]. *Ekonomika i predprinimatel'stvo*, 2025, no. 4 (177), pp. 1377–1383.

11. Alfer'ev D. A., Kremin A. E. Mnogocелеvaya optimizatsiya programmy vypuska produktsii [Multi-purpose optimization of the product release program]. *Vestnik universiteta*, 2019, no. 12, pp. 92–101.

12. Shmagirev A. V. Model' optimizatsii proizvodstvennoy programmy mnogoprofil'nogo promyshlennogo predpriyatiya (na primere OAO «NEVZ») [Model for optimizing the production program of a diversified industrial enterprise (using NEVZ LLC as an example)]. *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2009, no. 1, pp. 54–59.

13. Kondrashova V. K. Vozmozhnosti postoptimizatsionnogo analiza ustojchivosti upravlencheskikh reshenij na osnove ekonomiko-matematicheskikh modelej i metodov [The possibilities of post optimization analysis of the stability of management decisions based on economic and mathematical models and methods]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta pechati imeni Ivana Fedorova*, 2011, no. 2, pp. 27–37.

14. Zhiludov V. V., Pesin A. M., Salganik V. M. Opredelenie optimal'nogo assortimenta vypuskaemoy produktsii na proizvodstvennom predpriyatii. *Matematicheskie metody informatsionnykh tekhnologii v ekonomike* [Determining the optimal product range at a manufacturing enterprise. Mathematical methods and information technologies in economics]. *Sbornik materialov Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii (Penza, 27–28 yanvarya 2000 g.)*. Penza, Privolzhskij dom znanij Publ., 2000. Pp. 112–113.

15. Zhuravlev S. S. Kratkij obzor metodov i sredstv imitatsionnogo modelirovaniya proizvodstvennykh sistem [A brief overview of methods and tools for simulation modeling of production systems]. *Imitatsionnoe modelirovanie tekhnicheskikh sistem i tekhnologicheskikh processov*. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/kratkij-obzor-metodov-i-sredstv-imitatsionnogo-modelirovaniya-proizvodstvennykh-sistem?ysclid=mdd5pzn2hj603214559> (accessed: 21.07.2025).

16. Astrahanceva I. A., Odincova E. V. Upravlenie proizvodstvennoy programmy promyshlennogo predpriyatiya na osnove optimizatsii assortimentnoy politiki [Managing the production program of an industrial enterprise based on optimizing the assortment policy]. *Vestnik Ivanovskogo gosudarstvennogo energeticheskogo universiteta*, 2008, no. 1, pp. 18–23.

17. Odincova E. V., Astrahanceva I. A. Metodicheskie podhody k upravleniyu proizvodstvennoy programmoj promyshlennogo predpriyatiya [Methodological approaches to managing the production program of an industrial enterprise]. *Ekonomicheskie nauki*, 2008, no. 39, pp. 173–178.

18. Emel'yanov A. A., Shil'nikova O. V., Emel'yanova N. Z. Optimizatsiya proizvodstvennyh programm na osnove rezul'tatov imitatsionnogo modelirovaniya [Optimization of production programs based on the results of simulation modeling]. *Prikladnaya informatika*, 2015, vol. 10, no. 3 (57), pp. 109–121.

19. Perepechaeva E. S., Vertakova Yu. V., Hor'kov A. V. Instrumentariya formirovaniya proizvodstvennoy programmy promyshlennogo predpriyatiya. *Globalizatsiya ekonomiki*

i rossijskie proizvodstvennye predpriyatiya [Tools for forming the production program of an industrial enterprise. Globalization of the economy and Russian manufacturing enterprises]. *Sbornik materialov Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii (Novocherkassk, 18–20 maya 2015 g.)*. Novocherkassk, Izd-vo YuRGPU imeni M. I. Platova, 2015. Pp. 35–40.

20. Popova K. A., Kel'chevskaya N. R., Slukina S. A. Optimizatsiya planirovaniya proizvodstvennoj deyatel'nosti predpriyatiya v usloviyah dinamichnoj vneshnej sredy [Optimizing the planning of a company's production activities in a dynamic external environment]. *Ekonomika, predprinimatel'stvo, pravo*, 2023, no. 5, pp. 1503–1520.

21. Poryadina V. L. Analiz modeli rascheta proizvodstvennoj programmy po razlichnym ekonomicheskim kriteriyam [Analysis of the production program calculation model based on various economic criteria]. *Nauchnyj vestnik Voronezhskogo*

gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta, 2015, no. 1 (7), pp. 117–122.

22. Il'ina E. A., Saraev L. A. Stokhasticheskie modeli dinamiki maksimal'noj i optimal'noj pribyli proizvodstvennogo predpriyatiya, vnedryayushchego tekhnologicheskie innovacii [Stochastic models of the dynamics of maximum and optimal profits of a manufacturing enterprise implementing technological innovations.]. *Vestnik Samarskogo universiteta*, 2023, no. 2, pp. 197–213.

23. Bochkarev A. A., Nos V. A., Goncharenko E. A. Dinamicheskie i stokhasticheskie zadachi linejnogo programmirovaniya v logistike i upravlenii cepyami postavok [Dynamic and stochastic linear programming problems in logistics and supply chain management]. *Ekonomika, predprinimatel'stvo i pravo*, 2024, no. 4, pp. 1123–1148.

Статья поступила в редакцию 23.12.2025; одобрена после рецензирования 16.02.2026; принята к публикации 25.08.2026
The article was submitted 23.12.2025; approved after reviewing 16.02.2026; accepted for publication 25.08.2026

Информация об авторах / Information about the authors

Дарья Александровна Липатова – аспирант кафедры экономики; Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова; Dashaaleks97@list.ru

Daria A. Lipatova – Postgraduate Student of the Department of Economics; Nosov Magnitogorsk State Technical University; Dashaaleks97@list.ru

Евгения Сергеевна Замбржицкая – доктор экономических наук, доцент; доцент кафедры менеджмента и государственного управления; директор института экономики и управления; Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова; zambr.es@yandex.ru

Evgeniya S. Zambrzhitskaya – Doctor of Economic Sciences, Assistant Professor; Assistant Professor of the Department of Management and Public Administration; Director of the Institute of Economics and Management; Nosov Magnitogorsk State Technical University; zambr.es@yandex.ru

