

ЭКОНОМИКА.  
ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 339.00

*Т. В. Пузанова, В. А. Широченко*

**ОБОСНОВАНИЕ ОПЕРАТИВНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПЛАНА НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО СИНТЕЗА**

UDC 339.00

*T. V. Puzanova, V. A. Shirochenko*

**JUSTIFICATION OF THE DAY-TO-DAY PRODUCTION PLAN BASED ON THE METHODS OF PARAMETRIC SYNTHESIS**

**Аннотация**

Рассмотрена методика проектирования производственных процессов в рамках оперативно-производственного планирования для структурного подразделения предприятия с применением математических моделей для решения задач анализа и параметрического синтеза с целью обоснования календарно-плановых нормативов.

**Ключевые слова:**

производственные ресурсы, оперативно-производственное планирование, параметрический синтез, эффект синергии.

**Abstract**

The paper considers the techniques to design manufacturing processes as a part of the day-to-day production planning for a structural unit of the enterprise, which apply mathematical models to solve problems of analysis and parametric synthesis in order to justify planned and scheduled standards.

**Keywords:**

productive resources, day-to-day production planning, parametric synthesis, synergy effect.

Производственное предприятие независимо от формы собственности, сферы деятельности, вида и назначения производимой продукции (работ, услуг) стремится рационально использовать ограниченные производственные ресурсы для обеспечения экономической эффективности деятельности и конкурентоспособности на рынке. Для достижения указанных целей важнейшую роль играет одна из основных функций управления предприятием – планирование. При этом необходимо обеспечить

взаимосвязь и взаимообусловленность трех видов планирования: стратегического, тактического и оперативно-производственного. Это позволяет субъекту хозяйствования определять обоснованную стратегию развития на перспективу с учетом требований рынка, реализовывать ее, постоянно разрабатывая ежегодную тактику деятельности и обеспечивая эффект синергии от рационального распределения и сочетания имеющихся ограниченных производственных ресурсов в рамках оперативно-произ-



водственного планирования [1].

Современное производство характеризуется постепенным переходом от массового и крупносерийного к позаказному серийному, обеспечивая тем самым гибкость и приспособляемость к потребностям рынка. Это в свою очередь приводит к необходимости гибкой оперативной перестройки производства на выпуск востребованной на рынке продукции и повышению актуальности задач оперативно-производственного планирования. Рассматривая в качестве экономического объекта структурное производственное подразделение предприятия, распределению подлежат в первую очередь ограниченные производственные мощности. Планирование работы подразделения основано на анализе конструкторской и технологической документации, разработанной для производимого продукта, наличия соответствующего оборудования и планировки его расположения, а также организации его работы.

Многовариантность сочетания и распределения ограниченных производственных ресурсов обуславливает необходимость решения задач анализа и синтеза для объекта планирования. Это в свою очередь требует разработки математической модели экономического объекта, учитывающей все его параметры, которые следует определить. Внутренние параметры объекта представляют собой те производственные ресурсы, применение которых необходимо для достижения планируемого (ожидаемого) результата. Выходные параметры отражают результативность функционирования моделируемого объекта, т. е. плановые показатели производства и показатели эффективности использования производственных ресурсов. Внешние параметры характеризуют условия, в которых производственный объект будет функционировать, создаваемые как самим субъектом хозяйствования, так и представителями внешней среды.

Оперативно-производственное планирование предполагает обоснование принимаемых решений на основе оценки их экономической эффективности, т. е. количественных оценок ожидаемого результата, требуемых затрат и их соотношения. Для получения таких оценок необходимы разработка и применение математических моделей как в аналитическом виде (зависимость выходных параметров от внутренних и внешних), так и в графическом (графики движения предметов труда по операциям, графики-регламенты процессов организации производства, эпюры динамики оборотных заделов и т. п.).

В результате оперативно-производственный план должен содержать оптимальные внутренние параметры, выступающие в том числе и в роли обоснованных календарно-плановых нормативов организации производственного процесса (такт потока, число рабочих мест, длительность технологического цикла и т. д.), для определения которых необходимо решать ряд однокритериальных и многокритериальных оптимизационных задач.

Данная задача является задачей проектирования, при этом оценку эффективности функционирования экономического объекта необходимо осуществлять по нескольким критериям. Для решения такой задачи в литературе по оперативному планированию нет четкого алгоритма последовательности действий для их вычисления. С точки зрения проектирования ее можно поставить и решить, как оптимизационную многокритериальную задачу с ограничениями, общая математическая формулировка которой имеет вид:

$$F(\bar{X}) \rightarrow \text{extr}; \quad (1)$$

$$\bar{A} \leq \bar{X} \leq \bar{B}; \quad (2)$$

$$\bar{\phi}(\bar{X}) > 0; \quad (3)$$



$$\bar{\psi}(\bar{X}) = 0, \quad (4)$$

где  $\bar{X}$  – вектор оптимизируемых параметров;  $F(\bar{X})$  – скалярная целевая функция, полученная на основе свертки из критериев оценки;  $\bar{A}$ ,  $\bar{B}$  – векторы допустимых минимальных и максимальных значений оптимизируемых параметров;  $\bar{\phi}(\bar{X})$ ,  $\bar{\psi}(\bar{X})$  – вектор-функции ограничений.

При организации производства продукции предприятий машиностроения необходимо обеспечивать возможность проектирования простых производственных процессов (детали) и связей между ними для построения сложного производственного процесса (сборочные узлы, изделия в целом) во времени и пространстве [2]. Проектирование простых процессов в условиях серийного производства с применением поточного метода требует использование различных критериев оценки: длительность производственного цикла, потребность в оборудовании и коэффициент его загрузки, потребность в рабочей силе и степень ее занятости, размер незавершенного производства. Необходимость многокритериальной оптимизации параметров любого экономического объекта обусловлена разнонаправленностью и конфликтностью его выходных параметров, выступающих в роли критериев оценки достижения эффекта синергии при функционировании объекта [3]. Так, увеличение количества оборудования в подразделении ведет к росту производительности совокупного производственного процесса, с одной стороны, и снижению среднего коэффициента загрузки оборудования и среднего коэффициента занятости рабочих – с другой. Поэтому решение задачи оперативно-производственного планирования – это поиск компромиссного варианта распределения ограниченных ресурсов с учетом важности обеспечения достижения желаемых (плановых) значений показателей эф-

фективности их использования.

Так как задача проектирования многокритериальна, то критерий оценки эффективности объекта является векторной величиной. Выбор лучшего значения из векторных величин крайне затруднителен. Для решения такой задачи осуществляется свертка векторного критерия в скалярную величину. Наиболее часто используются аддитивная, мультипликативная или минимаксная свертки. Механизмы получения свертки векторных критериев хорошо описаны в литературе. Для общего понимания приведем обобщенное описание аддитивной, мультипликативной и максиминной свертки соответственно:

$$F(\bar{X}) = \sum_{i=1}^n C_i \frac{Y_i(\bar{X})}{Y_i^0}; \quad (5)$$

$$F(\bar{X}) = \prod_{i=1}^n Y_i(\bar{X}); \quad (6)$$

$$F(\bar{X}) = \max(\min(b_i S_i(\bar{X}))), \quad (7)$$

где  $F(\bar{X})$  – целевая функция от векторного аргумента  $\bar{X}$ ;  $C_i$  – весовой коэффициент значимости  $i$ -го критерия;  $Y_i(\bar{X})$  – значение  $i$ -го критерия от векторного аргумента  $\bar{X}$ ;  $Y_i^0$  – нормировочный коэффициент, приводящий критерий оценки к безразмерному виду;  $n$  – количество критериев;  $S_i(\bar{X})$  – оценки степени достижения экстремума  $i$ -м критерием;  $b_i$  – коэффициент значимости  $i$ -го критерия.

Каждая из представленных свертки имеет свои преимущества и недостатки, поэтому часто их применяют одновременно, сравнивая результаты между собой и выбирая наиболее целесообразное решение.

Применение свертки критериев достаточно хорошо отработано и серьезных трудностей не вызывает. Однако решение данной задачи проектирования с применением такого подхода может дать не са-

мый эффективный результат. Проблема состоит в возможности получения на основе свертки многоэкстремальной целевой функции. Проиллюстрируем данное замечание. На рис. 1 и 2 представлены два критерия оценки:  $Y_1$ ,  $Y_2$  и целевая функция  $F$ , полученная на основе аддитивной свертки. На рис. 1 целевая функция имеет один явно выраженный экстремум, положение которого между

экстремумами критериев  $Y_1$  и  $Y_2$  определяется значениями весовых коэффициентов  $C_1$  и  $C_2$ .

На рис. 2 поведение кривых  $Y_1$  и  $Y_2$  несколько другое, и в результате целевая функция имеет два экстремума: глобальный и локальный. Аналогичная ситуация получается и с применением мультипликативной и максиминной свертки.

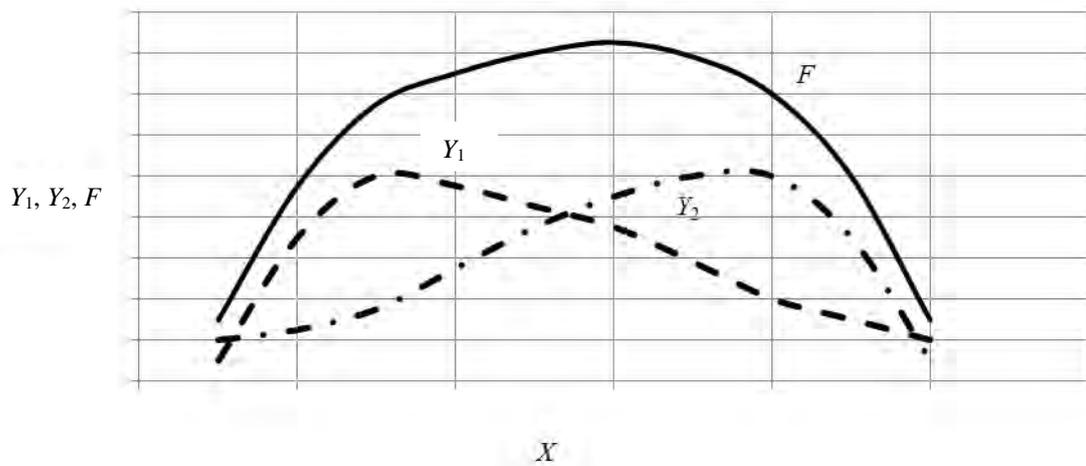


Рис. 1. Геометрическая интерпретация формирования одноэкстремальной многокритериальной целевой функции

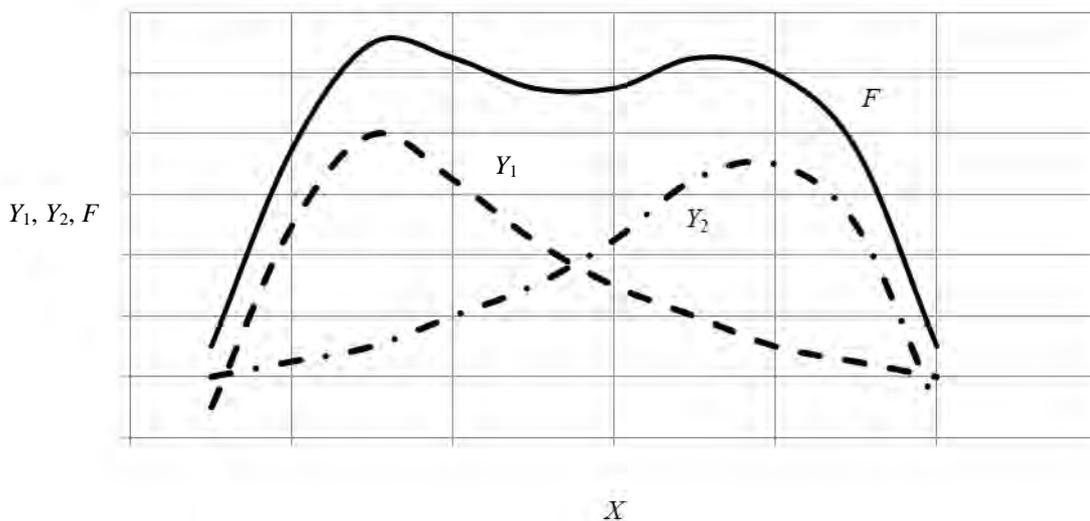


Рис. 2. Геометрическая интерпретация формирования многоэкстремальной многокритериальной целевой функции



Приведенные рисунки иллюстрируют различное поведение целевой функции, построенной на основе только двух критериев. При этом по рисункам видно, что поведение используемых критериев в обоих случаях очень похоже и спрогнозировать многоэкстремальность целевой функции без специального анализа довольно затруднительно.

Решение оптимизационных задач на основе численных методов обеспечивает поиск локальных экстремумов, расположенных вблизи заданного начального приближения. Если начальное приближение задавать в разных точках пространства управляемых параметров, то решения будут различаться. А это значит, что, получив решение оптимизационной задачи, нет никакой уверенности в том, что найденный экстремум глобальный.

Существующие методы глобальной оптимизации либо затратны, либо ненадежны. Поэтому целесообразен подход, при котором на первых шагах определяется точка начального приближения, а затем из нее осуществляется поиск глобального экстремума. При использовании в решаемой задаче более двух критериев целесообразность предлагаемого многошагового метода проектирования еще больше возрастает.

Таким образом, при планировании и организации сложных производственных процессов в машиностроении требуется пошаговое проектирование, при котором на каждом шаге необходима соответствующая постановка задачи параметрического синтеза с обоснованием критериев оценки и определением их значимости. Количество уровней проектирования определяется иерархией сложного изделия, отражающей виды входящих в состав элементов (деталей, узлов, агрегатов), их количество, последовательность выполнения простых производственных процессов и связи между ними.

Рассмотрим алгоритм такого проектирования. На первом шаге проекти-

рования целесообразно решение задачи обоснования потребности в оборудовании, которая формулируется следующим образом: определить минимально необходимое количество рабочих мест по операциям простого процесса для выполнения производственного задания в плановый срок. При этом в качестве критерия выступает минимальная плановая потребность в оборудовании в соответствии с требованиями технологической документации. Для данной однокритериальной задачи в качестве управляемых параметров выступает количество рабочих мест по операциям технологического процесса, значения которых ограничены наличием оборудования в подразделении, а также форма организации поточного производства, в том числе и вид движения партий предметов труда по операциям.

В результате решения задачи может быть выявлен дефицит имеющегося оборудования, что требует возврата на предыдущий шаг проектирования и изменения постановки задачи. При этом формируется вариант организации производственного процесса, в котором не всегда можно обеспечить синхронизацию операций простых процессов, т. е. одинаковую их производительность и высокий уровень загрузки оборудования. Повышение степени синхронизации операций может быть достигнуто на втором шаге на основе решения задачи по максимизации среднего коэффициента загрузки оборудования по линии. Достижение поставленной цели в этом случае возможно за счет выбора такого количества рабочих мест по операциям, при котором выравнивается их производительность, а следовательно, повышается эффективность использования оборудования и снижается уровень межоперационных оборотных заделов. Таким образом, будут получены альтернативные варианты решения по организации простых процессов на первых шагах проектирования.

Рассмотрим пример решения од-



нокритериальных оптимизационных задач, отражающих сформированные альтернативные варианты организации производства для детали червячное колесо, технология изготовления которого состоит из восьми операций. Результаты первого шага проектирования приведены в табл. 1 и 2.

В табл. 3 и 4 приведены значения

критериев оптимальности решений однокритериальных оптимизационных задач, представленных в табл. 1 и 2 для рассматриваемого примера соответственно. Очевидно, что различное распределение одного и того же количества рабочих мест позволяет изменять результативность вариантов организации.

Табл. 1. Пример результатов решения однокритериальных задач оптимизации параметров простого процесса при параллельном виде движения партий предметов труда по операциям

Номер операции	Норма времени на детали-операцию, мин	Минимизация длительности производственного цикла		Минимизация количества рабочих мест		Максимизация среднего коэффициента загрузки оборудования по линии	
		Количество рабочих мест по операциям	Средний коэффициент загрузки оборудования по операциям	Количество рабочих мест по операциям	Средний коэффициент загрузки оборудования по операциям	Количество рабочих мест по операциям	Средний коэффициент загрузки оборудования по операциям
1	6	2	0,8	1	0,92	1	0,96
2	3	1	0,8	1	0,46	1	0,48
3	5	2	0,67	1	0,77	1	0,8
4	6	2	0,8	1	0,92	1	0,96
5	15	5	0,8	3	0,77	3	0,8
6	5	2	0,67	1	0,77	1	0,8
7	12	7	0,95	4	0,96	6	0,67
8	8	5	0,96	3	0,92	3	0,96

Табл. 2. Пример результатов решения однокритериальных задач оптимизации параметров простого процесса при параллельно-последовательном виде движения партий предметов труда по операциям

Номер операции	Норма времени на детали-операцию, мин	Минимизация длительности производственного цикла		Минимизация количества рабочих мест		Максимизация среднего коэффициента загрузки оборудования по линии	
		Количество рабочих мест по операциям	Средний коэффициент загрузки оборудования по операциям	Количество рабочих мест по операциям	Средний коэффициент загрузки оборудования по операциям	Количество рабочих мест по операциям	Средний коэффициент загрузки оборудования по операциям
1	6	2	0,63	2	0,43	2	0,48
2	3	1	0,63	1	0,43	1	0,48
3	5	2	0,53	2	0,36	1	0,80
4	6	2	0,63	2	0,43	1	0,96
5	15	5	0,63	3	0,72	3	0,80
6	5	2	0,53	1	0,72	1	0,80
7	12	7	0,75	4	0,90	5	0,80
8	8	5	0,76	3	0,86	4	0,72



Табл. 3. Значения критериев оптимальности по результатам решения задач оптимизации параметров простого процесса при параллельном виде движения партий предметов труда по операциям

Вид однокритериальной задачи	Общее число рабочих мест	Средний коэффициент загрузки оборудования на линии	Длительность производственного цикла, дн.
Минимизация длительности производственного цикла	26	0,81	191,8
Минимизация количества рабочих мест	15	0,82	333,1
Максимизация среднего коэффициента загрузки оборудования по линии	17	0,8	319,6

Табл. 4. Значения критериев оптимальности по результатам решения задач оптимизации параметров простого процесса при параллельно-последовательном виде движения партий предметов труда по операциям

Вид однокритериальной задачи	Общее число рабочих мест	Средний коэффициент загрузки оборудования на линии	Длительность производственного цикла, дн.
Минимизация длительности производственного цикла	26	0,83	217,7
Минимизация количества рабочих мест	18	0,61	318,5
Максимизация среднего коэффициента загрузки оборудования по линии	18	0,73	319,4

Выбор варианта может осуществить проектировщик путем решения многокритериальной оптимизационной задачи с учетом определенной на основе его опыта значимости вышеуказанных критериев, а также с учетом выбранной формы организации и вида движения предметов труда по операциям. При этом могут быть использованы и другие выходные параметры в качестве критериев оценки, например, длительность производственного цикла.

На основе выбранных вариантов простых процессов далее выполняется построение сложного производственного процесса для сборочных единиц и/или изделия в целом. При его проектировании может возникнуть ситуация, при которой необходимость и значимость некоторых критериев существенно меняется.

Так, длительность производственного цикла из критерия может перейти в ранг функционального ограничения, а для обеспечения синхронизации про-

стых процессов в сложном рациональным будет вариант с минимальной потребностью в оборудовании. Поэтому более значимым будет критерий потребности в оборудовании в сравнении с эффективностью его использования при организации производства данного сложного изделия.

На этом уровне проектирования важно обеспечить синхронизацию взаимосвязанных питающих и потребляющих простых процессов в сложном совокупном процессе с целью минимизации запасов незавершенного производства (межлинейных оборотных заделов). Для повышения степени синхронизации простых процессов может возникнуть необходимость возврата на предыдущий уровень проектирования простых процессов с целью пересмотра имеющихся альтернативных вариантов, т. к. ранее принятая значимость критериев оценки в этом случае требует изменения. Так, критерий минимизации длительности производственного цикла простого про-

цесса значим только для последовательно выполняемых простых процессов, определяющих длительность производственного цикла сложного процесса.

На рис. 3 приведен пример построения процесса производства сложного изделия во времени на основе

выбранных на предыдущем этапе проектирования простых процессов производства деталей, входящих в сборочный узел. При этом для каждой детали были сформированы альтернативные варианты аналогично приведенному в табл. 1–4 примеру.

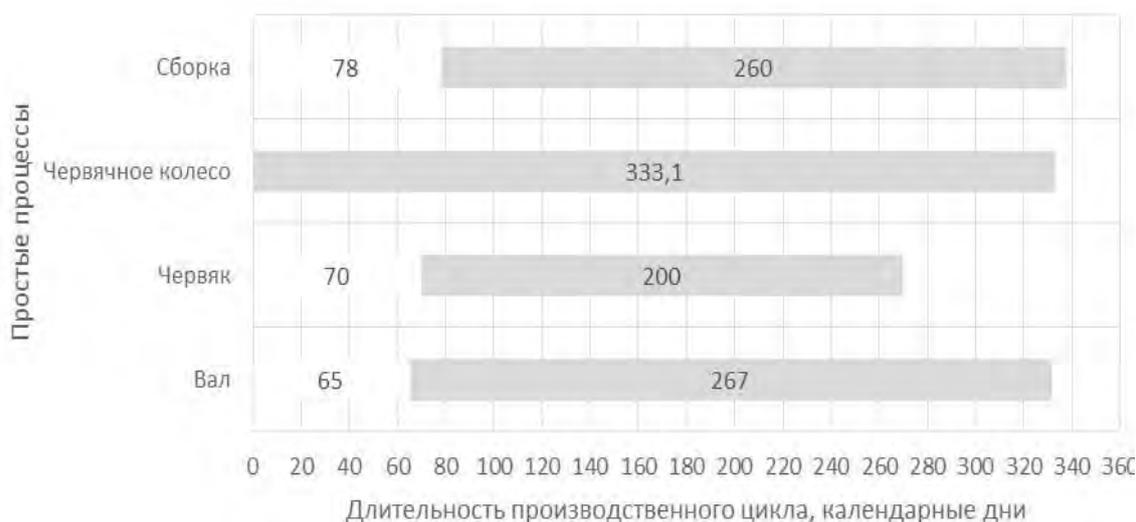


Рис. 3. Пример графика организации во времени сложного производственного процесса сборочного узла

Из рисунка видно, что длительность сложного производственного процесса определяется длительностью производственного цикла червячного колеса (вариант выбран из табл. 3) и процесса сборки узла, состоящего из трех деталей. При этом простые процессы максимально запараллелены, но не синхронизированы: процесс сборки и процессы производства червячного колеса и червяка имеют различную продолжительность (соответственно 260, 333,1 и 200 календарных дней), а следовательно, и производительность. Для простого производственного процесса (деталь червяк) более значимым может оказаться другой критерий, например, минимизация потребности в оборудовании, что позволит выровнять производительность за счет увеличения длительности производственного цикла.

В результате нового шага проектирования будет определен другой набор выбранных вариантов простых процессов, обеспечивающих их максимально возможную синхронизацию в сложном производственном процессе и минимизацию незавершенного производства.

Таким образом, пошаговое проектирование требует корректного выбора критериев оценки, определения их значимости на каждом этапе, что позволяет обеспечить достижение эффекта синергии в сложном процессе от взаимного поведения элементов производственной системы. Синергические связи обеспечивают ее функционирование в оптимальных режимах, т. е. достижение общей цели системы с минимальными затратами ресурсов. Это вовсе не означает, что каждый из элементов, будучи частью системы, всегда должен функ-



ционировать в оптимальных режимах. Так, отдельные простые процессы при проектировании сложного, например, не всегда могут обеспечить эффективное использование оборудования.

### Выводы

1. Задача формирования оперативного плана производства является многокритериальной задачей проектирования с множеством ограничений.

2. Учитывая возможную многоэкстремальность целевой функции при решении этой задачи численными методами, особое внимание необходимо уделять выбору точки начального приближения.

3. Наиболее целесообразно выбор точки начального приближения осуществлять на основе пошагового алгоритма, на каждом шаге которого реша-

ется однокритериальная оптимизационная задача.

4. Синергические связи, формируемые на основе параметрического синтеза с выбором соответствующих критериев оптимальности, предписывают поведение каждого подразделения предприятия в заданных (но не всегда оптимальных) режимах, определяемых общей целью производственной системы в целом.

5. Предложенная методика пошагового проектирования позволяет обосновать экономическую эффективность принимаемых решений при планировании и организации сложных производственных процессов в машиностроении и других отраслях промышленности, где необходимо реализовать многоуровневые иерархические производственные процессы.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ильин, А. И.** Планирование на предприятии / А. И. Ильин. – Москва: ИНФРА-М; Минск: Новое знание, 2014. – 668 с.

2. Экономика и организация производства: учебник / Под ред. Ю. И. Трещевского, Ю. В. Вертаковой, Л. П. Пидоймо, Ю. В. Вертакова. – Москва: ИНФРА-М, 2016. – 381 с.

3. **Пузанова, Т. В.** Обоснование плана продаж предприятия оптовой торговли / Т. В. Пузанова, М. В. Денисенкова // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2018. – № 3 (60). – С. 103–112.

*Статья сдана в редакцию 20 июня 2019 года*

**Татьяна Владимировна Пузанова**, канд. техн. наук, доц., Белорусско-Российский университет. Тел.: +375-296-63-17-35.

**Виктор Александрович Широченко**, канд. техн. наук, доц., Белорусско-Российский университет. Тел.: +375-296-08-80-96.

**Tatyana Vladimirovna Puzanova**, PhD (Engineering), Associate Prof., Belarusian-Russian University. Tel.: +375-296-63-17-35.

**Viktor Aleksandrovich Shirochenko**, PhD (Engineering), Associate Prof., Belarusian-Russian University. Tel.: +375-296-08-80-96.

