

ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКЦИИ СЕЗОННОГО СПРОСА НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

А.А. Александров

andrey.alexandrov@ibm.bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

Сформулирована задача организации производства на промышленных предприятиях, выпускающих продукцию для сезонных отраслей и видов деятельности. Разработана методика выбора оптимальной производственной мощности предприятия и формирования производственной программы, которая позволяет удовлетворять сезонное повышение спроса, одновременно обеспечивая рациональную загрузку персонала, производственного оборудования и складского хозяйства. В основе методики лежит поиск функции изменения объема производства за счет минимизации суммарных затрат на хранение и производство продукции при условии полного удовлетворения сезонного спроса на протяжении всего сезона. Приведены алгоритм численной реализации методики и пример расчета. Основными этапами алгоритма являются: задание функции спроса; вычисление базовой производственной мощности, соответствующей равномерной загрузке оборудования; варьирование производственной программой до выполнения условия минимума суммарных затрат. На основе модельных расчетов установлена зависимость оптимальной производственной мощности в долях базовой мощности при различных соотношениях затрат производства и хранения и коэффициента переплаты за дополнительные мощности

Ключевые слова

Производственная программа, сезонный спрос, базовая производственная мощность, оптимальная производственная мощность, минимизация производственных затрат

Поступила 14.02.2020

Принята 05.03.2020

© Автор(ы), 2020

Введение. В России законодательно выделено около 30 сезонных отраслей и видов деятельности — это нефтедобывающая и газовая промышленность, строительство и сопутствующие отрасли, передача тепловой

энергии, лесозаготовительная промышленность, судостроительная промышленность, перерабатывающая промышленность^{1,2} и др.

Постановка задачи. Для промышленных предприятий, выпускающих предназначенную для сезонных отраслей продукцию, актуальной задачей является формирование производственной программы, которая, с одной стороны, позволяла бы полностью удовлетворять сезонное повышение спроса, с другой стороны, обеспечивала бы наиболее рациональную загрузку персонала и основных фондов предприятия — производственного оборудования, складских помещений и транспорта [1–3].

Отметим две постановки задачи организации производства на промышленных предприятиях, выпускающих продукцию сезонного спроса.

Первая постановка задачи подразумевает полное удовлетворение спроса на продукцию в любой момент времени с учетом случайных пиковых увеличений. При этом основная цель — минимизация общих издержек предприятия за заданный период $C_{\Sigma}(T)$ [4]:

$$C_{\Sigma}(T) \rightarrow \min \text{ при условии } D(t) \leq Q(t) + x(t),$$

где $Q(t)$ — текущий объем производства; $x(t)$ — текущий наличный запас продукции на складе; $D(t)$ — текущий спрос на продукцию.

Искомой функцией в этой задаче является текущий объем производства $Q(t)$ — производственная программа. Общие затраты складываются из затрат на хранение текущего наличного запаса продукции $x(t)$ на складе и затрат на содержание и амортизацию производственных мощностей, способных обеспечить выполнение производственной программы.

Такая постановка задачи применима к промышленным предприятиям, выпускающим стратегическую продукцию и продукцию, имеющую большое народно-хозяйственное значение, а также к государственным монополиям, обязанным полностью удовлетворять спрос на свои услуги в любых ситуациях. Если речь идет об оказании услуг, то их накопление в виде наличного запаса невозможно. В этом случае задача сводится

¹ Перечень сезонных отраслей и видов деятельности, применяемый при предоставлении отсрочки или рассрочки по уплате налога. Постановление Правительства Российской Федерации от 06.04.1999 № 382; от 04.09.2001 № 649; от 17.10.2003 № 631; от 15.06.2009 № 471; от 03.09.2010 № 677; от 25.02.2014 № 141.

² Об утверждении перечня сезонных отраслей промышленности, работа в организациях которых в течение полного сезона при исчислении страхового стажа учитывается с таким расчетом, чтобы его продолжительность в соответствующем календарном году составила полный год. Постановление Правительства Российской Федерации от 04.07.2002 № 498.

к определению оптимального соотношения между объемами собственного производства и аутсорсингом — привлечением к работе сторонних коммерческих предприятий в период пикового спроса.

Вторая постановка задачи допускает неполное удовлетворение спроса на продукцию в определенные промежутки времени. При этом промышленное предприятие может упускать выгоду от продаж и платить штрафы за недопоставку продукции, но может экономить на производственной мощности и содержании складских запасов. В этом случае единственной целью предприятия является максимизация прибыли. На практике такая постановка задачи встречается редко и возможна при реализации исключительно коммерческих проектов [5, 6].

Методика выбора оптимальной мощности сезонного производства. Сформулируем общий подход к организации производства продукции сезонного спроса, который позволит минимизировать общие издержки промышленного предприятия.

Удовлетворить сезонный спрос на продукцию без создания запасов готовой продукции можно только в случае использования производственных мощностей $P_{\max} = D_{\max}$, позволяющих наращивать объем производства от $D_{\min}$ до $D_{\max}$ (рис. 1). В этом случае производственная программа сов-

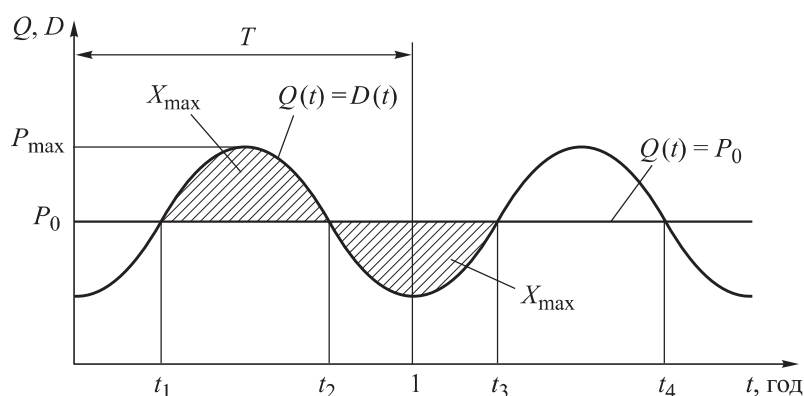


Рис. 1. Графики производственных программ при отсутствии наличных запасов $Q(t) = D(t)$ и при равномерной нагрузке $Q(t) = P_0$

падает с функцией спроса $Q(t) = D(t)$. Загрузка оборудования и производственных рабочих будет неравномерной. Большую часть времени производственные мощности будут недогружены, что приведет к удорожанию производства. Равномерная загрузка производственных мощностей возможна, если сезонный повышенный спрос будет удовлетворяться за счет сбыта

запасов готовой продукции, накопленной в период сниженного спроса [7]. При этом требуемая производственная мощность P_0 (базовая мощность) определяется по следующей зависимости:

$$P_0 = \frac{1}{T} \int_0^T D(t) dt,$$

где T — период спроса, равный, как правило, одному году.

Объем складских запасов $X_{\max}$, необходимый на начало периода повышенного спроса, а следовательно, и емкость хранилищ определяются так [2]:

$$X_{\max} = \int_{t_1}^{t_2} (D(t) - P_0(t)) dt,$$

где t_1 и t_2 — время начала и окончания периода повышенного спроса.

Ориентируясь на равномерное производство, можно использовать минимально необходимые производственные мощности. Однако появляются дополнительные расходы $C_{\text{хр}}$, связанные с хранением запасов готовой продукции, которые за год составят

$$C_{\text{хр}} = ic \int_{t_2}^{t_3} \left(\int_{t_2}^{t_3} (P_0 - D(t)) d\tau \right) dt,$$

где ic — затраты на хранение единицы продукции.

Экономия перехода к равномерной программе производства определяется следующим образом:

$$\Xi = C_{\text{пр}}(D_{\max}) - C_{\text{пр}}(P_0) - C_{\text{хр}},$$

где $C_{\text{пр}}(D_{\max})$ и $C_{\text{пр}}(P_0)$ — расходы на содержание максимально необходимых производственных мощностей и базовой производственной мощности.

Экономия может оказаться и отрицательной, если затраты на содержание производственных мощностей не сильно зависят от их величины, т. е. $dC(Q)/dQ$ чуть больше нуля.

Помимо двух рассмотренных крайних случаев — равномерного производства и производства по сезонному спросу, возможны промежуточные варианты, когда мощность P используемого оборудования лежит в пределах $P_0 \leq P \leq D_{\max}$.

Графики производственных программ $Q_1(t)$ (при выходе на полную мощность перед сезоном повышенного спроса для накопления запаса готовой продукции к пику потребления) и $Q_2(t)$ (при полной загрузке оборудования с остановкой в сезон низкого спроса) приведены на рис. 2.

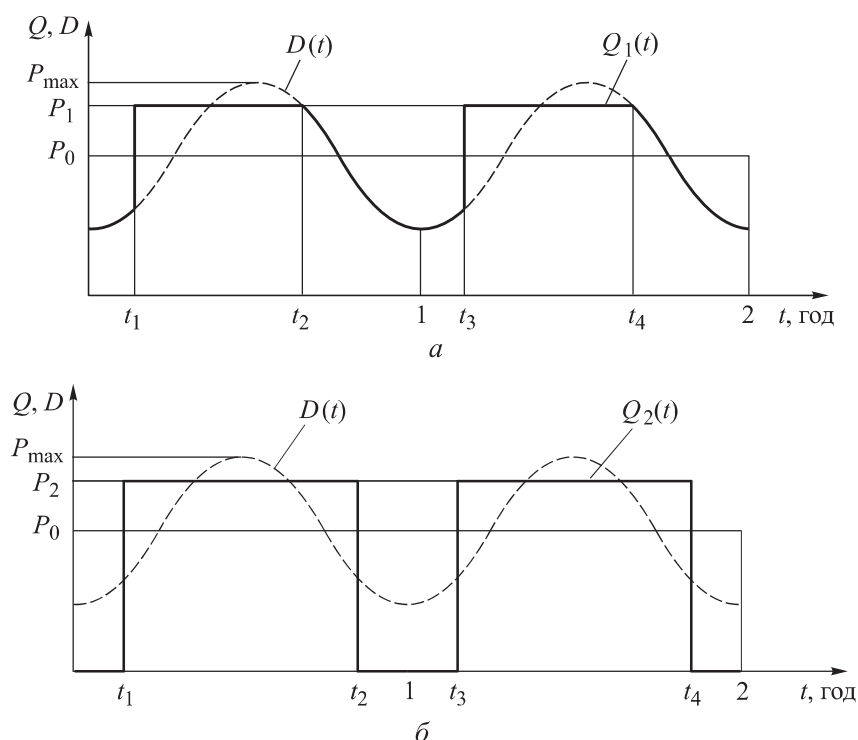


Рис. 2. Графики производственных программ $Q_1(t)$ (а) и $Q_2(t)$ (б)

Первый вариант производственной программы актуален при высоких затратах на хранение одной единицы продукции и ускоренном росте стоимости оборудования в зависимости от его мощности. Второй вариант производственной программы оптимален в случае необходимости проведения ежегодных ремонтно-профилактических работ на оборудовании [8–10].

В рассмотренных случаях функция сбыта $D(t)$ — это заданная периодическая функция с периодом, равным одному году. Минимизация издержек осуществляется за счет варьирования мощности оборудования и производственных программ. В реальных условиях функция сбыта меняется от периода к периоду и может быть спрогнозирована с учетом маркетинговых исследований рынка, включающих в себя экспертные оценки развития рынка и статистический анализ информации об объемах продаж. Учет прогнозов развития рынка также необходим при выборе мощности оборудования, позволяющей гибко менять производственную программу в зависимости от изменения прогнозной функции сбыта [11, 12].

Минимум суммарных затрат при условии полного удовлетворения потребительского спроса является основным критерием при выборе производственной программы, которая в реальных условиях определяется

не только программой сбыта, но и целым рядом ограничений, обусловленных технологией и спецификой конкретного промышленного предприятия [13].

Алгоритм численной реализации методики. Пример расчета. Рассмотрим алгоритм формирования оптимальной производственной программы промышленного предприятия при сезонном спросе и пример численной реализации алгоритма. Принятые в расчете исходные данные и их значения приведены в табл. 1.

Таблица 1

Исходные данные

Параметр	Обозначение	Значение	Единица измерения
Период колебаний спроса	T_D	1	год
Среднее сезонное значение спроса	D_m	2500	шт./день
Амплитуда сезонных колебаний спроса	D_a	1600	шт./день
Затраты на хранение единицы продукции	ic	3	у. е./шт./день
Коэффициент переплаты за дополнительную мощность оборудования	A	0,5	–
Рассматриваемый период	T	1	год
Производственные затраты при базовой мощности	C_0	$15 \cdot 10^7$	у. е./год

Принимаем, что спрос на продукцию промышленного предприятия меняется во времени по синусоидальному закону:

$$D(t) = D_m + D_a \sin\left(\frac{2\pi}{T_D}t + \varphi_0\right),$$

где φ_0 — начальная фаза; t — время. Считаем, что работа начинается при падении спроса. В таком случае удобно принять начальную фазу $\varphi_0 = \pi$.

Введем коэффициент асимметрии цикла

$$r = \frac{D_{\min}}{D_{\max}} = \frac{D_m - D_a}{D_m + D_a},$$

где $D_{\min}$, $D_{\max}$ — минимальное и максимальное значения спроса за период.

Среднему значению спроса будет соответствовать базовая мощность производства $P_0 = D_m$. Для обеспечения переменной производственной программы $Q(t)$ необходима производственная мощность $P = Q_{\max}$, которую можно записать следующим образом:

$$P = Q_{\max} = P_0 \left(1 - k \frac{1-r}{1+r} \right), \quad (1)$$

где k — коэффициент вариации производительности; r — коэффициент асимметрии цикла. Отметим, что производству с постоянным объемом $Q(t) = P_0$ соответствует коэффициент вариации производительности $k_0 = 0$. Учитывая, что $P \leq D_{\max}$, область определения коэффициента вариации составит $k \in [0; 1]$.

Для оптимизации затрат на хранение продукции производство будет осуществляться в трех различных режимах: пониженном ($Q = Q_{\min}$); нормальном ($Q = P_0$); интенсивном ($Q = Q_{\max}$). Значение $Q_{\min}$ определяется по аналогии с (1):

$$Q_{\min} = P_0 \left(1 - k \frac{1-r}{1+r} \right).$$

Аналитически производственную программу (изменение объема производства во времени) можно описать следующим образом:

$$Q(t) = \begin{cases} P, & t : D(t) > P; \\ P_0, & t : P \geq D(t) > Q_{\min}; \\ Q_{\min}, & t : Q_{\min} \geq D(t). \end{cases}$$

Графики временных изменений спроса и объема производства при различных значениях коэффициента вариации k в течение периода T приведены на рис. 3.

Загруженность склада в течение рассматриваемого периода времени может быть определена как

$$x(t) = \int_0^t (Q(\tau) - D(\tau)) d\tau.$$

График изменения загруженности склада приведен на рис. 4.

Затраты на хранение продукции за период T можно рассчитать по формуле

$$C_{\text{хп}} = ic \int_0^T x(t) dt.$$

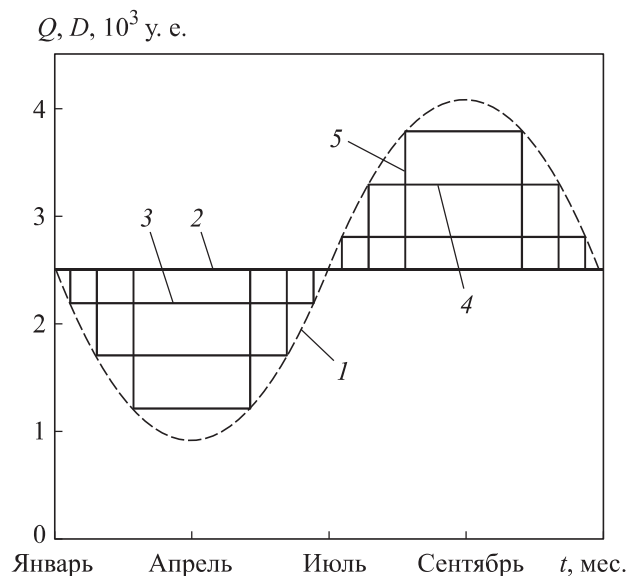


Рис. 3. График функции спроса $D(t)$ (1) и объема производства $Q(t)$ при различных значениях коэффициента вариации:
 2 — $k = 0$; 3 — $k = 0,2$; 4 — $k = 0,5$; 5 — $k = 0,8$

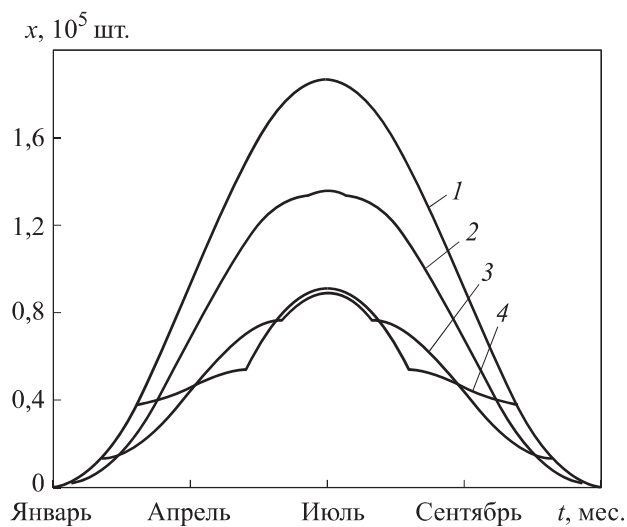


Рис. 4. График изменения загрузки склада в течение рассматриваемого периода времени:
 1 — $k = 0$; 2 — $k = 0,2$; 3 — $k = 0,5$; 4 — $k = 0,8$

Производственные затраты при варьировании мощностью производства в общем случае можно записать так:

$$C_{\text{пр}} = C_0 \left(1 + A \frac{\Delta P}{P_0} \right), \quad (2)$$

где C_0 — производственные затраты для обеспечения производства с базовой мощностью P_0 ; A — коэффициент, характеризующий переплату за дополнительную мощность оборудования; $\Delta P = (P - P_0)$ — увеличение базовой мощности для обеспечения текущего переменного режима выпуска.

Зависимость (2) с учетом формулы (1) можно записать следующим образом:

$$C_{\text{пр}} = C_0 \left(1 + Ak \frac{1-r}{1+r} \right).$$

Графики затрат $C_{\text{пр}}$ (производственных), $C_{\text{хр}}$ (на хранение) и $C_{\Sigma} = (C_{\text{хр}} + C_{\text{пр}})$ (суммарных) в зависимости от коэффициента вариации производительности приведены на рис. 5.

Как видно на рис. 5, минимальные суммарные затраты можно найти численным путем в результате итерационного уточнения:

$$k^{i+1} = k^i - s^i \lambda^i,$$

где s^i — коэффициент чувствительности к вариации производительности [14, 15]; λ^i — коэффициент, характеризующий процесс градиентного спуска. Здесь коэффициент чувствительности s^i представлен как частная производная от суммарных затрат по коэффициенту вариации:

$$s^i = \left. \frac{\partial C_{\Sigma}}{\partial k} \right|_{k=k^i} = \frac{C_{\Sigma} \left(k^i + \frac{\Delta k}{2} \right) - C_{\Sigma} \left(k^i - \frac{\Delta k}{2} \right)}{\Delta k},$$

где Δk — некоторое малое приращение коэффициента вариации. В таком случае итерационный процесс сводится к методу градиентного спуска. Коэффициент λ^i выбирается из условий скорости и сходимости метода. Гарантированная сходимость может быть обеспечена при $\lambda^i = (k^i - k^{i-1}) / (2 |s^i|)$.

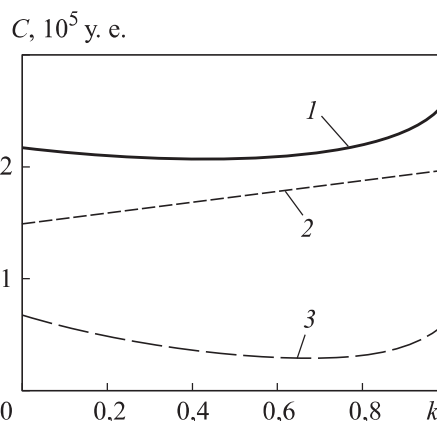


Рис. 5. Графики затрат в зависимости от коэффициента вариации производительности: 1 — затраты на хранение; 2 — производственные затраты; 3 — суммарные затраты

Блок-схема алгоритма определения оптимального коэффициента вариации процедурой вычисления суммарных затрат приведена на рис. 6.

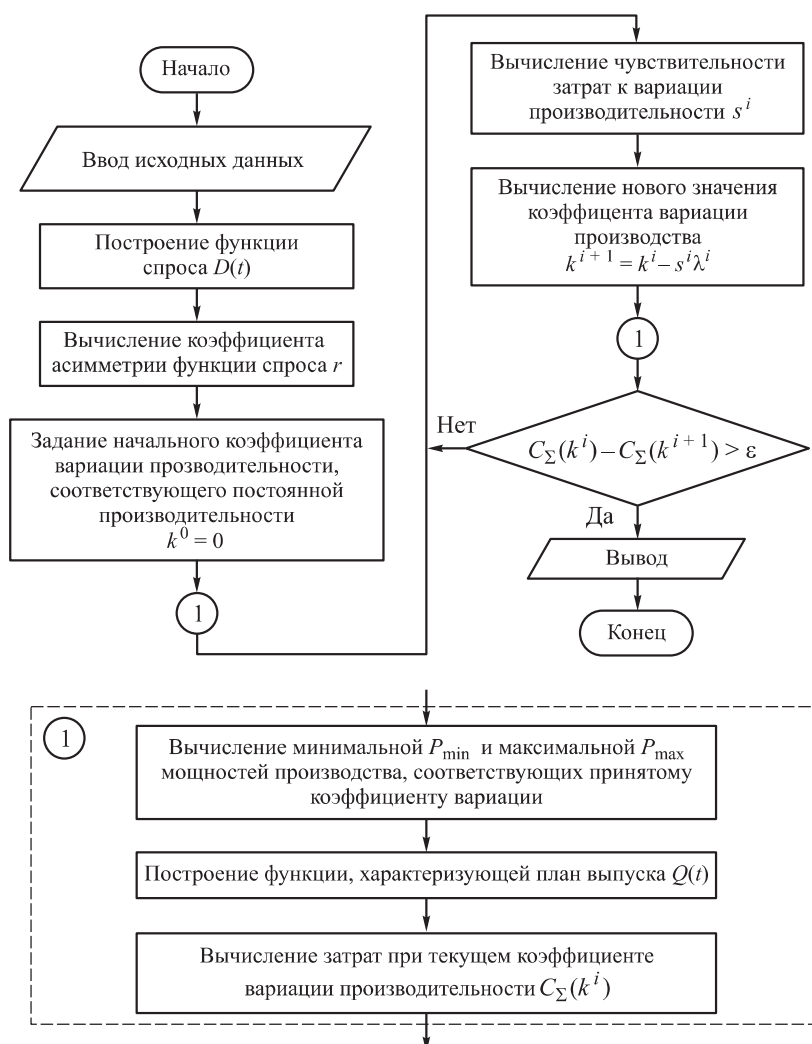


Рис. 6. Блок-схема алгоритма определения оптимального коэффициента вариации процедурой вычисления суммарных затрат

Результаты расчета. Для примера отметим, что суммарные затраты достигают минимума при коэффициенте вариации производительности, равном 0,4. Это означает, что значение оптимальной производственной мощности, согласно уравнению (1), составит $P_{\text{opt}} = 1,26 P_0$. При этом экономия суммарных затрат относительно варианта использования базовой мощности составит $\frac{C_\Sigma(P_0) - C_\Sigma(P_{\text{opt}})}{C_\Sigma(P_0)} \cdot 100 \% = 5,62 \%$.

Конкретный вид функции объема производства $Q(t)$ — производственной программы, позволяющей добиваться минимума затрат при заданной функции спроса на продукцию промышленного предприятия, показан на рис. 7. В рассмотренном случае для минимизации общих затрат объем выпуска продукции должен меняться следующим образом: $Q(t) = P_0$ — в переходные периоды спроса общей продолжительностью четыре месяца; $Q(t) = P_{\max} = 1,26P_0$ — в период повышенного спроса в течение четырех месяцев; $Q(t) = P_{\min} = 0,74P_0$ — в период падения спроса также в течение четырех месяцев.

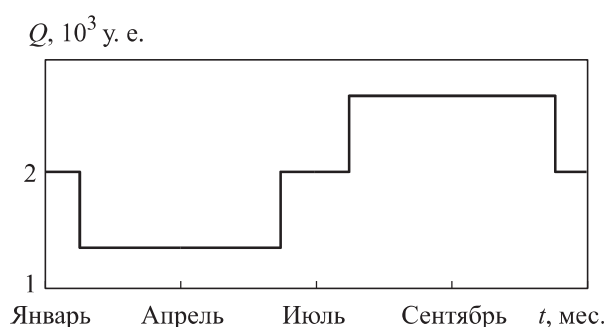


Рис. 7. Изменение объема производства при оптимальной производственной программе

С помощью вычислительной программы, составленной на основе разработанного алгоритма, выполнена серия модельных расчетов. Таким образом установлена зависимость оптимальной производственной мощности в долях базовой мощности при различных соотношениях затрат на производство и хранение, а также от коэффициента переплаты за дополнительные мощности (табл. 2).

Таблица 2

Значения оптимальной мощности

$C_{\text{хр}}/C_{\text{пр}}$	Коэффициент A переплаты за дополнительные мощности							
	0,25	0,5	0,75	1	1,25	1,5	2	2,5
0,1	P_0	P_0	P_0	P_0	P_0	P_0	P_0	P_0
0,2	$1,37P_0$	P_0	P_0	P_0	P_0	P_0	P_0	P_0
0,3	$1,47P_0$	$1,25P_0$	P_0	P_0	P_0	P_0	P_0	P_0
0,5	$1,55P_0$	$1,43P_0$	$1,3P_0$	$1,14P_0$	P_0	P_0	P_0	P_0
1	$1,61P_0$	$1,55P_0$	$1,5P_0$	$1,43P_0$	$1,37P_0$	$1,3P_0$	$1,14P_0$	P_0

Из данных табл. 2 следует, что в достаточном числе случаев базовая мощность является оптимальной или близкой к оптимальному значению. Это наблюдается при низких затратах на хранение и высоких предельных издержках при увеличении производственных мощностей. В то же время при больших затратах на хранение и высоком коэффициенте переплаты за дополнительные мощности менее половины оптимальных производственных мощностей в ряде случаев превышают базовую мощность более чем 1,3 раза. Учет этого фактора при организации производства продукции сезонного спроса позволяет значительно уменьшить общие издержки промышленного предприятия.

Заключение. Использование в организации производства продукции научно-обоснованного сезонного спроса позволяет существенно уменьшить общие издержки промышленных предприятий. Рациональное сокращение собственных издержек предприятия в областях управления, производства и логистики является основным фактором, определяющим его финансовую устойчивость и конкурентоспособность. Наличие существенной «дельты» между ценой и полной себестоимостью единицы продукции позволяет руководству промышленного предприятия проводить гибкую ценовую политику для стимулирования сбыта и гарантирует предприятию получение прибыли в долгосрочном периоде.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Савицкая Г.В. Комплексный анализ хозяйственной деятельности предприятия. М., Инфра-М, 2016.
- [2] Кирикова Ю.Н. Сезонность и сглаживание сезонных колебаний в бизнесе. *Материалы науч. конф. с междунар. участ. «Неделя науки СПбПУ»*. СПб., Политех-пресс, 2018, с. 194–196.
- [3] Маленко О.И. Повышение эффективности работы предприятия в период сезонного спада спроса на услуги. *Материалы V Междунар. науч.-практ. конф. «Наука и образование: проблемы и перспективы»*. М., Перо, 2016, с. 50–53.
- [4] Захаров М.Н., Колобов А.А., ред. Контроль и минимизация затрат предприятия в системе логистики. М., Экзамен, 2006.
- [5] Rodriguez M.A., Vecchietti A. Inventory and delivery optimization under seasonal demand in the supply chain. *Comput. Chem. Eng.*, 2010, vol. 34, no. 10, pp. 1705–1718. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2010.02.009>
- [6] Sakulsom N., Tharmmaphornphilas W. Heuristics for a periodic-review policy in a two-echelon inventory problem with seasonal demand. *Comput. Ind. Eng.*, 2019, vol. 133, pp. 292–302. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.05.017>

- [7] Banerjee S., Sharma A. Optimal procurement and pricing policies for inventory models with price and time dependent seasonal demand. *Math. Comput. Model.*, 2010, vol. 51, no. 5-6, pp. 700–714. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mcm.2009.10.022>
- [8] Карпов К.А. Технологическое прогнозирование развития производств нефтегазохимического комплекса. СПб., Лань, 2017.
- [9] Захаров М.Н., Омельченко И.Н., Саркисов А.С. Ситуации инженерно-экономического анализа. М., Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014.
- [10] Vasilieva E.O. Management of stocks at the enterprise rational with changing conditions of design documentation constantly. *IX International scientific review of the technical sciences, mathematics and computer science*. Boston, Problems of Science, 2019, pp. 66–73.
- [11] Омельченко И.Н., Борисова Е.В. Финансово-экономическая стабильность как составная часть организационно-экономической устойчивости предприятий. *Вестник машиностроения*, 2007, № 4, с. 63–74.
- [12] Саркисов А.С. Финансовая математика и методы принятия решений в нефтегазовой промышленности. М., Нефть и газ, 2002.
- [13] Захаров М.Н., Третьякова В.А. Критерии эффективности производственных процессов предприятия. *Вестник машиностроения*, 2013, № 10, с. 78–80.
- [14] Гасников А.В. Современные численные методы оптимизации. Метод универсального градиентного спуска. М., МФТИ, 2018.
- [15] Карпенко А.П. Современные алгоритмы поисковой оптимизации. Алгоритмы, вдохновленные природой. М., Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014.

Александров Андрей Анатольевич — аспирант кафедры «Промышленная логистика» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Александров А.А. Организация производства продукции сезонного спроса на промышленных предприятиях. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение*, 2020, № 3, с. 47–61. DOI: <https://doi.org/10.18698/0236-3941-2020-3-47-61>

IMPLEMENTING PRODUCTION OF SEASONAL DEMAND GOODS AT INDUSTRIAL ENTERPRISES

A.A. Aleksandrov

andrey.alexandrov@ibm.bmstu.ru

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

The paper states an industrial engineering problem concerning industrial enterprises manufacturing goods for seasonal industries and activities. We developed a method for selecting optimum enterprise production capacity and forming a

Keywords

Production plan, seasonal demand, core production capacity, optimum production capacity, production expenditure minimisation

production plan that allows for meeting seasonal increases in demand, simultaneously ensuring rational utilisation of human resources, manufacturing equipment and storage facilities. The basis of the method is seeking the production volume function by minimising total expenditures for storage and manufacturing of goods, provided the seasonal demand is fully met over the whole period. We present a numerical implementation algorithm for our method and a calculation example. The main stages of the algorithm are as follows: setting the demand function; computing the core production capacity as dictated by steady equipment utilisation; varying the production plan until the minimum total expenditure condition is met. We ran a series of simulations that allowed us to establish the function describing the optimum production capacity as a fraction of the core capacity for various ratios of manufacturing expenditures to storage expenditures, and as a function of the overpayment rate for additional capacities

Received 14.02.2020

Accepted 05.03.2020

© Author(s), 2020

REFERENCES

- [1] Savitskaya G.V. Kompleksnyy analiz khozyaystvennoy deyatelnosti predpriyatiya [Complex analysis of the company's economic activity]. Moscow, Infra-M Publ., 2016.
- [2] Kirikova Yu.N. [Seasonality and seasonal smoothing in business]. *Mat. nauch. konf. s mezhdunar. uchast. "Nedelya nauki SPbPU"* [Proc. Sc. Conf. with Int. Participation "SPbPU Science Week"]. St. Petersburg, Politekh-press Publ., 2018, pp. 194–196.
- [3] Malenko O.I. [Improving enterprise efficiency during seasonal demand recession for services]. *Mat. V Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. "Nauka i obrazovanie: problemy i perspektivy"* [Proc. V. Int. Sc.-Pract. Conf. "Science and Education: Problems and Prospects"]. Moscow, Pero Publ., 2016, pp. 50–53 (in Russ.).
- [4] Zakharov M.N., Kolobov A.A., ed. Kontrol' i minimizatsiya zatrat predpriyatiya v sisteme logistiki [Control and minimization of enterprise expenses in logistics system]. Moscow, Ekzamen Publ., 2006.
- [5] Rodriguez M.A., Vecchietti A. Inventory and delivery optimization under seasonal demand in the supply chain. *Comput. Chem. Eng.*, 2010, vol. 34, no. 10, pp. 1705–1718. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2010.02.009>
- [6] Sakulsom N., Tharmmaphornphilas W. Heuristics for a periodic-review policy in a two-echelon inventory problem with seasonal demand. *Comput. Ind. Eng.*, 2019, vol. 133, pp. 292–302. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.05.017>

- [7] Banerjee S., Sharma A. Optimal procurement and pricing policies for inventory models with price and time dependent seasonal demand. *Math. Comput. Model.*, 2010, vol. 51, no. 5-6, pp. 700–714. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mcm.2009.10.022>
- [8] Karpov K.A. Tekhnologicheskoe prognozirovanie razvitiya proizvodstv neftegazokhimicheskogo kompleksa [Technological forecasting of oil and gas industry development]. St. Petersburg, Lan Publ., 2017.
- [9] Zakharov M.N., Omelchenko I.N., Sarkisov A.S. Situatsii inzhenerno-ekonomicheskogo analiza [Cases of economic-engineering analysis]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2014.
- [10] Vasilieva E.O. Management of stocks at the enterprise rational with changing conditions of design documentation constantly. *IX International scientific review of the technical sciences, mathematics and computer science*. Boston, Problems of Science, 2019, pp. 66–73.
- [11] Omelchenko I.N., Borisova E.V. Financial-and-economical stability as a component of the plant managerial-and-economical steadiness. *Vestnik mashinostroeniya*, 2007, no. 4, pp. 63–74 (in Russ.).
- [12] Sarkisov A.S. Finansovaya matematika i metody prinyatiya resheniy v neftegazovoy promyshlennosti [Financial mathematics and decision-making technique in oil and gas industry]. Moscow, Neft' i gaz Publ., 2002.
- [13] Zakharov M.N., Tretyakova V.A. Effectiveness criteria of production processes of an industrial enterprise. *Vestnik mashinostroeniya*, 2013, no. 10, pp. 78–80 (in Russ.).
- [14] Gasnikov A.V. Sovremennye chislennyye metody optimizatsii. Metod universal'nogo gradientnogo spuska [Modern numerical optimization methods. Universal gradient descent method]. Moscow, MIPT Publ., 2018.
- [15] Karpenko A.P. Sovremennyye algoritmy poiskovoy optimizatsii. Algoritmy, vdokhnovlennyye prirodoy [Modern search optimization algorithms. Algorithms inspired by nature]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2014.

Aleksandrov A.A. — Post-Graduate Student, Department of Industrial Logistics, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5, str. 1, Moscow, 105005 Russian Federation).

Please cite this article in English as:

Aleksandrov A.A. Implementing production of seasonal demand goods at industrial enterprises. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University, Series Mechanical Engineering*, 2020, no. 3, pp. 47–61 (in Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.18698/0236-3941-2020-3-47-61>