УДК 65.012.122
DOI: 10.17277/vestnik.2025.02.pp.212-222

# РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОГО КАЛЕНДАРНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВА ЕДИНИЧНОГО И МЕЛКОСЕРИЙНОГО ТИПОВ

**А. М. Пахомов✉, В. В. Конкина**

*Кафедра «Системы автоматизированной поддержки принятия решений», pahomoff.artiom2016@yandex.ru; ФГБОУ ВО «ТГТУ», Тамбов, Россия*

**Ключевые слова:** единичное и мелкосерийное производство; календарное планирование; метод Джонсона; метод Петрова–Соколицына; производственный процесс.

**Аннотация:** Актуальность задачи календарного планирования производства единичного и мелкосерийного типа обусловлена необходимостью повышения оптимальности планов и общей производительности предприятий, снижения перерасхода ресурсов и задержек в поставках. Исследования направлены на разработку системы календарного планирования производственных процессов. Реализован расчет норм выполнения изделий в смену для некоторых операций предприятий, занимающихся изготовлением игрушек из полимерных материалов. Рассмотрены методы оптимизации планирования производства, такие как методы Петрова–Соколицына и Джонсона. Сформулирована задача определения оптимальной очередности выполнения изделий. Решена поставленная задача методами Петрова–Соколицына и Джонсона.

## Введение

Календарное планирование производственных процессов – это элемент оперативно-производственного планирования, который направлен на осуществление календарного распределения плана производства продукции предприятием и его подразделением. В основе календарного плана лежит производственная программа предприятия и месячные оперативные планы производства [1]. Исходя из данных о поступивших заказах и характеристиках изделий, планируется порядок их выполнения на каждой из операций.

Системы календарного планирования производственных процессов позволяют уменьшить простои оборудования и рабочих, что в свою очередь увеличивает производственную мощность предприятия. Внедрение автоматизированных систем планирования в долгосрочной перспективе приводит к минимизации затрат и простоев, позволяет более эффективно распределять ресурсы, улучшает качество продукции, а также уменьшает время выполнения заказов.

Задача автоматизации календарного планирования особенно актуальна для предприятий мелкосерийного и единичного типов производств. Ввиду большого количества выпускаемой продукции, а также постоянного появления и запуска новых изделий на предприятиях этих типов производств возникают проблемы с расчетом и прогнозированием их норм времени, что в свою очередь препятствует планированию и диспетчированию производственных процессов. На предприятиях данных типов в зависимости от структуры заказов может меняться «узкое

место», то есть рабочее место, участок, цех, ограничивающие производительность всего предприятия. В связи с этим становится важной задача оперативного перераспределения трудовых ресурсов [2 – 4].

На предприятиях мелкосерийного и единичного типов производств остро встает вопрос об оптимальной последовательности запуска. Ее определение усложняется тем, что план охватывает множество разных изделий, имеющих отличающиеся трудоемкости на разных операциях [5, 6].

*Цель работы* – автоматизация и оптимизация календарного планирования производственных процессов предприятий единичного и мелкосерийного типов производства.

## Материалы и методы

Процедура поиска очередности используется для определения оптимального порядка выполнения заданий или клиентов сервисных систем через последовательность обрабатывающих или обслуживающих устройств.

В случае производственной системы задача формулируется более знакомо: требуется отыскать оптимальный порядок запуска ряда партий деталей в обработку на предметно-замкнутом участке (**ПЗУ**), где над ними выполняется некоторая последовательность операций. Информацией, необходимой для решения этой задачи, является время, затрачиваемое на каждой операции для обработки или изготовления изделия, а также последовательность операций для каждого изделия.

На предприятиях мелкосерийного и единичного типов производств при расчете и прогнозировании норм времени выполнения изделий возникают трудности из-за постоянного появления новых продуктов. Вследствие чего, были разработаны формулы на примере предприятия, изготавливающего игрушки из полимерных материалов, благодаря которым удастся справиться с возникшими проблемами.

Объем производства в смену на литье

$$V_{\text{tpa}} = \frac{G_{\text{tpa}}\, 0,01\left(100\% - P_{\text{бр}}\right)\text{Ef}}{C_{\text{авт}} + C_{\text{изв}}}, \tag{1}$$

где $G_{\text{tpa}}$ – гнездность пресс-формы (число изделий на одной пресс-форме), шт.; $P_{\text{бр}}$ – средний процент брака литьевого цеха, %; Ef – эффективный фонд времени в смену, с; $C_{\text{авт}}$, $C_{\text{изв}}$ – цикл автоматической работы станка при изготовлении изделия и цикл извлечения изделия из станка соответственно, с.

Ввиду существенных колебаний норм времени выполнения изделий на операции окраса, для их прогнозирования каждому изделию сопоставлено базовое изделие, наиболее похожее по типу окрашивания. Также при прогнозировании в расчет берется периодическая работа на данной операции. Периодическая работа – работа, выполняемая не в каждом цикле выполнения изделия, а один раз на несколько циклов.

Объем производства в смену на окрасе изделия

$$V_{\text{окр}} = \frac{\text{Ef}}{L/U + W_{\text{окр}}}, \tag{2}$$

где $L$ – длина окраса изделия, см; $U$ – скорость окраса базового изделия, см/с; $W_{\text{окр}}$ – периодическая работа на операции окраса изделия, с.

Объем производства в смену на окрасе глаз изделий

$$V_{\text{гл}} = \frac{\text{Ef}}{T_{\text{гл}} + W_{\text{гл}}}, \tag{3}$$

где $T_{гл}$ – норма времени на операции окраса глаз, с; $W_{гл}$ – периодическая работа на операции окраса глаз, с.

Объем производства в смену на тампопечати

$$V_{тамп} = \frac{\mathrm{Ef}}{T_{тамп} + W_{тамп}}, \tag{4}$$

где $T_{тамп}$ – норма времени на операции тампопечать, с; $W_{тамп}$ – периодическая работа на операции тампопечати, с.

Норма выполнения изделий в смену на запайке

$$V_{зап} = \frac{G_{зап} 0,01\left(100\% - P_{бр}\right)\mathrm{Ef}}{C_{авт} + C_{изв}}, \tag{5}$$

где $G_{зап}$ – гнездность запайщика, шт.

Время изготовления изделий $T$, с, одного вида на какой-либо операции

$$T = \frac{T_с N}{V}, \tag{6}$$

где $T_с$ – количество секунд в смене; $N$ – количество изделий, шт.; $V$ – норма выполнения изделий в смену, шт.

Задача определения очередности в статической постановке с критерием минимума совокупной длительности цикла имеет несколько хорошо известных из практики вариантов, когда $n$ заданий должны пройти в одинаковом порядке две, три и $m$ операций.

Простой и точный способ отыскания оптимального порядка запуска партий в обработку существует только для двух операционных ПЗУ. Он предложен английским ученым Джонсоном в 1954 году. Для трех операционных ПЗУ точный метод также существует, однако он достаточно сложен. Для многооперационных ПЗУ доказано, что точного метода не существует. Для них разработано большое число приближенных методов, среди которых общеизвестны методы, предложенные в работах [7, 8]. Приближенные методы позволяют все множество вариантов порядка запуска свести к нескольким вариантам, среди которых с большой долей вероятности находится оптимальный. Наиболее простым и употребительным из них до сих пор является метод Петрова–Соколицына.

Постановка задачи оптимизации запуска партий в обработку предполагает также, что время переналадки оборудования с одной партии на другую невелико и примерно одинаково для любого их чередования на ПЗУ [9 – 11]. Если это допущение не выполняется, то указанные методы не работают.

Рассмотрим метод Джонсона. Пусть $N = \{1, 2, \ldots, n\}$ – множество работ, которые выполняются на $m$ машинах, $m = 2$, каждая из которых имеет свой номер; пусть $t_{ij}$ – время выполнения $i$-й работы на $j$-й машине. Время простоя вычисляется по формуле

$$\max\left(t_{11}, t_{11} + t_{21} - t_{12}, t_{11} + t_{21} + t_{31} - t_{11} - t_{21}, \ldots, \sum_{i=1}^{n} t_{i1} - \sum_{j=1}^{n-1} t_{j2}\right), \tag{7}$$

где $t_{i1}$, $t_{j2}$ – время выполнения работы на первой и второй машинах соответственно; $n$ – число выполняемых работ.

Требуется так организовать выполнение работ, чтобы суммарное время простоя машин оказалось минимальным. Сначала выбираются детали, у которых время выполнения первой операции короче времени выполнения второй операции. Эти детали обрабатываются в порядке возрастания времени выполнения первой операции. Остальные детали обрабатываются в порядке убывания времени

выполнения второй операции. Каждая работа состоит из двух операций с длительностями $a_i$ и $b_i$, минимизируется общее время обслуживания работ в следующей последовательности: запускаются работы, для которых $a_i \le b_i$ в порядке неубывания $a_i$; затем – для которых $a_i > b_i$ в порядке невозрастания $b_i$ (тем самым минимизируем простои второй машины из-за того, что первая еще не успела обработать какую-либо операцию).

Доказана оптимальность такой последовательности. Однако на случай $n > 2$ результаты не распространяются. Анализируя алгоритм Джонсона для задачи о двух станках, можно извлечь из него рекомендации, применимые и к общему случаю последовательной обработки деталей на станках при произвольном $m$:

1) в обработку сначала запускают детали, требующие минимального времени обработки на первом станке в порядке возрастания этого времени;

2) в обработку запускаются сначала детали, требующие максимального времени обработки на последнем станке в порядке убывания этого времени;

3) в обработку запускаются сначала детали, у которых узкое место находится дальше от начала процесса обработки (узким местом для данных деталей называется станок, на котором их обработка занимает наибольшее время);

4) обрабатываются вначале детали, у которых суммарное время обработки на всех станках максимальное в порядке убывания этого времени;

5) пятый метод решения этой задачи основан на усреднении результатов решения задачи по четырем известным рекомендациям.

Каждое из вышеописанных обобщений алгоритма Джонсона в определенных условиях имеет свои преимущества и недостатки. Применение первого метода способствует скорейшему вовлечению в обработку второго станка; второй – позволяет уменьшить конечный простой первого станка; третий – способствует наиболее быстрому «проскакиванию» к концу технологической линии тех деталей, для которых обработка на первом станке занимает меньшее время с тем, чтобы освободить первый станок деталям, для которых он является узким местом. Однако данные методы не совместимы друг с другом: последовательность обработки, найденная с использованием одного из них, не соответствует последовательности, полученной по другим.

Для оптимальной расстановки изделий на операции при их количестве, большем двух, зачастую применяется метод Петрова–Соколицына, при котором оптимальная последовательность работ будет наблюдаться в одном из случаев распределения работ в порядке:

1) возрастания суммарного времени выполнения от первой до предпоследней операции;

2) убывания суммарного времени выполнения от второй до последней операции;

3) убывания разницы между временем выполнения на последней и первой операции.

Таким образом, все множество вариантов запуска партий в обработку $K_д$ сводится к трем вариантам, среди которых, скорее всего, и определяется оптимальный. Если среди упорядочиваемых элементов находятся одинаковые, то количество вариантов возрастает. Поиск лучшего варианта из отобранных проводится прямым перебором [12]. С этой целью для каждой из последовательностей запуска должно быть найдено время $T_{сц}$ и проведен выбор последовательности, минимизирующей данную величину. Оптимальных последовательностей может быть и несколько с равными значениями $T_{сц}$. Расчет времени $T_{сц}$ выполняется с помощью графической либо математической модели (цепной метод расчета).

Расчет времени $T_{сц}$ происходит по формуле

$$T_{ij} = t_{ij} + \max\left(T_{i-1,j}, T_{i,j-1}\right), \tag{8}$$

где $t_{ij}$ – время выполнения работы $i$ на операции $j$, с; $T_{ij}$ – время завершения работы $i$ на операции $j$, с; $T_{сц}$ является $T_{ij}$ при последней итерации, то есть при $i$ равной $k_1$, а $j$ равной $k_2$.

В конце на основе общего выполнения работ выбирается оптимальный способ расстановки

$$f\left(K_{д}\right) \to \min , \tag{9}$$

где $f\left(K_{д}\right)$ – функция, возвращающая $T_{сц}$.

## Результаты и их обсуждение

Исходные данные, в которых содержится информация о времени выполнения семи операций для двенадцати деталей (вариант № 1) и четырех операций для десяти деталей (вариант № 2), представлены на рис. 1; диаграммы Ганта для последовательностей, распределенных методами Джонсона и Петрова–Соколицына, – рис. 2.

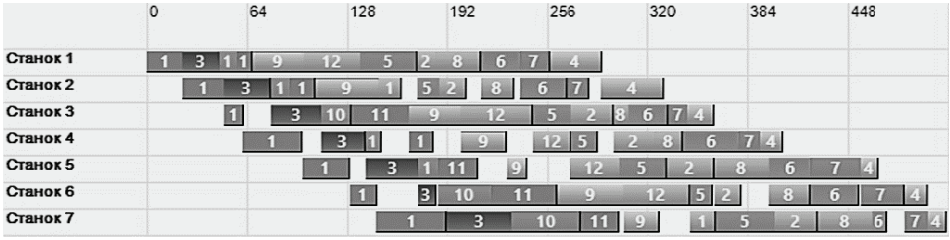
| Детали | Станок 1 | Станок 2 | Станок 3 | Станок 4 | Станок 5 | Станок 6 | Станок 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Деталь 1 | 54 | 65 | 8 | 23 | 45 | 32 | 98 |
| Деталь 2 | 18 | 38 | 86 | 35 | 2 | 97 | 29 |
| Деталь 3 | 68 | 61 | 4 | 2 | 75 | 59 | 82 |
| Деталь 4 | 92 | 79 | 14 | 90 | 2 | 22 | 52 |
| Деталь 5 | 88 | 35 | 94 | 1 | 5 | 41 | 12 |
| Деталь 6 | 75 | 63 | 2 | 14 | 28 | 32 | 3 |
| Деталь 7 | 57 | 19 | 31 | 8 | 95 | 67 | 13 |
| Деталь 8 | 86 | 77 | 65 | 59 | 95 | 82 | 62 |
| Деталь 9 | 96 | 94 | 33 | 43 | 11 | 47 | 31 |
| Деталь 10 | 3 | 92 | 35 | 97 | 56 | 18 | 93 |
| Деталь 11 | 99 | 3 | 89 | 47 | 27 | 79 | 35 |
| Деталь 12 | 61 | 84 | 83 | 7 | 55 | 39 | 2 |

*а*)

| Детали | Станок 1 | Станок 2 | Станок 3 | Станок 4 |
|---|---|---|---|---|
| Деталь 1 | 54 | 65 | 8 | 23 |
| Деталь 2 | 18 | 38 | 86 | 35 |
| Деталь 3 | 68 | 61 | 4 | 2 |
| Деталь 4 | 92 | 79 | 14 | 90 |
| Деталь 5 | 88 | 35 | 94 | 1 |
| Деталь 6 | 75 | 63 | 2 | 14 |
| Деталь 7 | 57 | 19 | 31 | 8 |
| Деталь 8 | 86 | 77 | 65 | 59 |
| Деталь 9 | 86 | 94 | 33 | 43 |
| Деталь 10 | 3 | 92 | 35 | 97 |

*б*)

**Рис. 1. Информация о времени выполнения операций, мс, для вариантов № 1 (*а*) и № 2 (*б*)**




*а*)

*б*)

**Рис. 2. Диаграммы Ганта для методов Джонсона (*а*) и Петрова–Соколицына (*б*)**

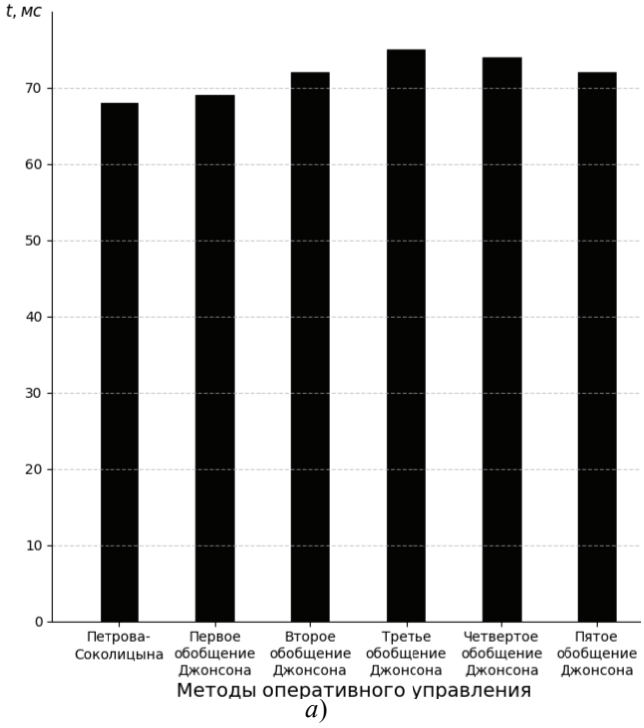
Проведем исследование эффективности методов оперативного управления с исходными данными: 6 станков, 6 деталей. Каждым реализованным методом было рассчитано по 50 технологических процессов со временем обработки:

1) малым (1…10 усл. ед.);

2) длительным (10…100 усл. ед.);

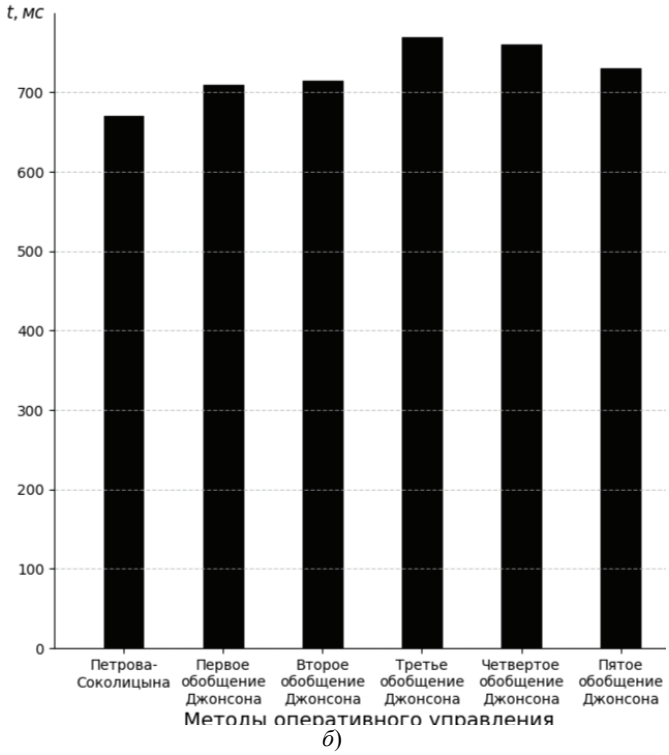
3) комбинированным (1…100 усл. ед.).

На рисунке 3 представлены гистограммы, показывающие среднее время длительности технологического цикла при малом, длительном и комбинированном времени технологической обработки для каждого метода.

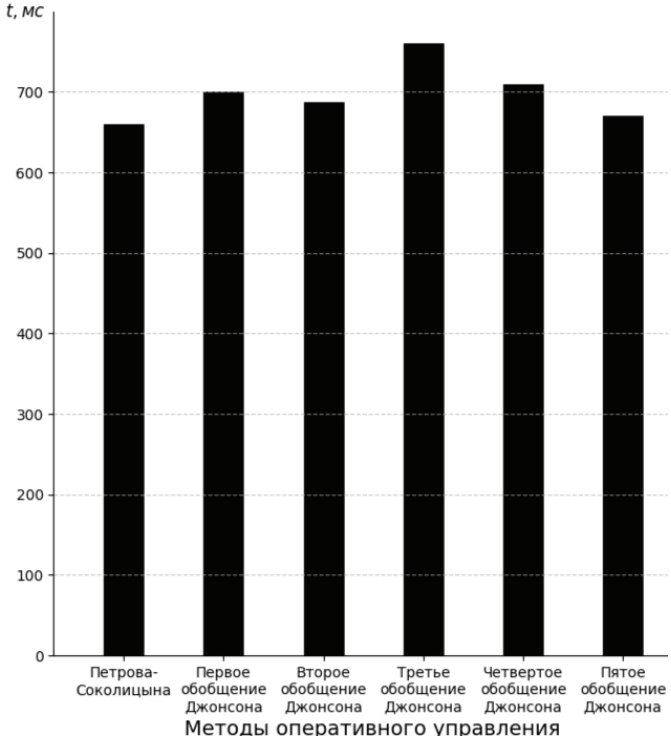



*а*)

**Рис. 3. Гистограммы, показывающие среднее время длительности технологического цикла при малом (*а*) времени технологической обработки для каждого метода** (начало)




*б*)




*в*)

**Рис. 3. При длительном (*б*) и комбинированном (*в*) времени технологической обработки для каждого метода** (окончание)

Исходя из полученных данных, можно сделать вывод, что по критерию оптимальности – минимизации длительности технологического цикла, самым эффективным методом оперативного управления является метод Петрова–Соколицына, однако данный метод не так эффективен по другим критериям оптимальности, например, минимизации простоя станков. Обобщения Джонсона эффективней по другим критериям оптимальности. Применение *первого* из них способствует скорейшему вовлечению в обработку второго станка; *второй* – позволяет уменьшить конечный простой первого станка; *третий* – способствует наиболее быстрому «проскакиванию» к концу технологической линии тех деталей, для которых обработка на первом станке занимает меньшее время с тем, чтобы освободить первый станок деталям, для которых он является узким местом.

Обобщения Джонсона эффективней для минимизации простоя станков, но длительность технологического цикла в таком случае возрастает.

По времени расчета методов при малом количестве деталей (до 10) все методы примерно одинаковы – 4…15 мс. При большом количестве деталей (до 100) эффективней метод Петрова–Соколицына – 15…50 мс. При большом количестве деталей время расчета обобщений Джонсона больше 50 мс.

## Заключение

Рассмотрен вопрос разработки системы календарного планирования производственных процессов для предприятий мелкосерийного и единичного типов производства, разработаны формулы норм выполнений изделий для некоторых операций производства игрушек из полимерных материалов. Представлены методы оптимизации планирования, среди которых выбран наиболее эффективный по критерию минимизации длительности технологических процессов – метод Петрова–Соколицына, так как сокращение общего времени выполнения заказов особенно важно для предприятий с высокой изменчивостью номенклатуры и объемов выпуска продукции, что характерно для мелкосерийного производства.

*Список литературы*

1. Бабич, Т. Н. Планирование на предприятии / Т. Н. Бабич, Э. Н. Кузьбожев. – М. : КноРус, 2017. – 336 с.

2. Вумек, Дж. П. Бережливое производство. Как избавиться от потерь и добиться процветания вашей компании : пер. с англ. / Дж. П. Вумек, Д. Т. Джонс. – 7-е изд. – М. : Альпина Паблишер, 2013. – 472 с.

3. Голдсби, Т. Бережливое производство и 6 сигм в логистике. Руководство по оптимизации логистических процессов / Т. Голдсби, Р. Мартиченко. – М. : Гревцов Паблишер, 2019. – 416 с.

4. Задача управления многосвязной производственной системой с использованием принципов бережливого производства / Д. Ю. Муромцев, Б. С. Дмитриевский, А. А. Терехова, А. А. Третьяков, И. А. Елизаров, В. Н. Назаров // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2024. – Т. 30, № 4. – С. 6 – 16. doi: 10.17277/vestnik.2024.01.pp.006-016

5. Майстренко, А. В. Моделирование технологических установок ресурсосберегающих химико-технологических процессов на основе объектно-ориентированного подхода / А. В. Майстренко, Н. В. Майстренко // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2017. – № 1. – С. 62 – 68

6. Интеллектуальное управление процессами технологической подготовки машиностроительного производства / А. Г. Лютов, Ю. В. Рябов, Р. И. Шайдуллин,

И. И. Шамбазов // Вестн. ЮУрГУ. Сер.: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. – 2017. – Т. 17, № 3. – С. 117 – 124. doi: 10.14529/ctcr170312

7. Бухалков, М. И. Планирование на предприятии : учебник / М. И. Бухалков. – 4-е изд., испр. – М. : ИНФРА-М, 2023. – 416 с.

8. Горемыкин, В. А. Планирование на предприятии : учебник и практикум / В. А. Горемыкин. – 9-е изд., перераб. и доп. – М. : Юрайт, 2014. – 857 с.

9. Соловьев, Д. С. Метод объективизации значений весовых коэффициентов для принятия решений в многокритериальных задачах / Д. С. Соловьев // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2023. – Т. 23, № 1. – С. 161 – 168. doi: 10.17586/2226-1494-2023-23-1-161-168

10. Метод поиска субоптимального воздействия, обеспечивающего допустимые потери в качестве технологического процесса / Д. С. Соловьев, И. А. Соловьева, Ю. В. Литовка, В. А. Нестеров // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2020. – № 5. – С. 75 – 86. doi: 10.31857/S0235711920050144

11. Модификация метода анализа иерархий для повышения объективности принимаемых решений / И. А. Соловьева, Д. С. Соловьев, Ю. В. Литовка, И. Л. Коробова // Труды МАИ. – 2018. – № 98. – 16 с. URL : https://elibrary.ru/download/elibrary_32761971_19818704.pdf (дата обращения: 15.04.2025).

12. Литовка, Ю. В. Математические методы исследования операций : учеб. электрон. изд. / Ю. В. Литовка, Н. В. Майстренко, С. Я. Егоров. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ». – 2023. – 1 электрон. опт. диск(CD-ROM). – Системные требования: ПК не ниже класса Pentium II ; CD-ROM-дисковод; 978 Kb ; RAM ; Windows 95/98/XP ; мышь. – Загл. с экрана. URL : https://tstu.ru/book/elib1/pdf/2023/LitovkaUV.pdf (дата обращения: 15.04.2025).

---

## Solution to the Problem of Optimal Schedule Planning of Single and Small-Batch Production

**A. M. Pakhomov✉, V. V. Konkina**

*Department of Automated Decision Support Systems, pahomoff.artiom2016@yandex.ru; TSTU, Tambov, Russia*

**Keywords:** single and small-batch production; scheduling; Johnson method; Petrov-Sokolitsyn method; production process.

**Abstract:** The relevance of the scheduling problem of single and small-batch production is due to the need to improve the optimality of plans and the overall productivity of enterprises, reduce resource overruns and delays in deliveries. The research is aimed at developing a scheduling system for production processes. The calculation of standards to manufacture products per shift for some operations of enterprises engaged in the manufacture of toys from polymeric materials has been implemented. Methods for optimizing production planning, such as the Petrov-Sokolitsyn and Johnson methods, have been considered. The problem of determining the optimal order of production has been formulated. The problem has been solved using the Petrov-Sokolitsyn and Johnson methods.

*References*

1. Babich T.N., Kuzbozhev E.N. *Planirovaniye na predpriyatii* [Planning at the enterprise], Moscow: KnoRus, 2017, 336 p. (In Russ.)

2. Womack J.P., Jones D.T. *Lean Thinking. Banish waste and create wealth in your corporation*, FREE PRESS New York London Toronto Sydney Singapore, 472 p.

3. Goldsby T., Martichenko R. *Berezhlivoye proizvodstvo i 6 sigm v logistike. Rukovodstvo po optimizatsii logisticheskikh protsessov* [Lean Manufacturing and 6 sigma in Logistics. Guidelines for optimizing logistics processes], Moscow: Grevtsov Publisher, 2019, 416 p. (In Russ.)

4. Muromtsev D.Yu., Dmitrievsky B.S., Terekhova A.A., Tretyakov A.A., Elizarov I.A., Nazarov V.N. [The task of managing a multiconnected production system using the principles of lean production], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2024, vol. 30, no. 4, pp. 6-16. doi: 10.17277/vestnik.2024.01.pp.006-016 (In Russ., abstract in Eng.)

5. Maystrenko A.V., Maystrenko N.V. [Modeling of process units for resource-saving chemical-technological processes based on an object-oriented approach], *Vestnik Astrakhan. gos. tekhn. un-ta. Ser.: Upravleniye, vychislitel'naya tekhnika i informatika* [Bulletin of Astrakhan State Technical University. Series: Management, computing engineering and informatics], 2017, no. 1, pp. 62-68 (In Russ., abstract in Eng.)

6. Lyutov A.G., Ryabov Yu.V., Shaydullin R.I., Shambazov I.I. [Intelligent control of processes of technological preparation of mechanical engineering production], *Vestnik YuUrGU. Ser.: Komp'yuternyye tekhnologii, upravleniye, radioelektronika* [Bulletin of SUSU. Series: Computer technologies, control, radio electronics], 2017, vol. 17, no. 3, pp. 117-124. doi: 10.14529/ctcr170312 (In Russ., abstract in Eng.)

7. Bukhalkov M.I. *Planirovaniye na predpriyatii: uchebnik* [Planning at the enterprise: textbook], Moscow: INFRA-M, 2023, 416 p. (In Russ.)

8. Goremykin V.A. *Planirovaniye na predpriyatii: uchebnik i praktikum* [Planning at the enterprise: textbook and practical course], Moscow: Yurayt, 2014, 857 p. (In Russ.)

9. Solov'yev D.S. [Method of objectification of values of weighting coefficients for decision-making in multicriteria problems], *Nauchno-tekhnicheskiy vestnik informatsionnykh tekhnologiy, mekhaniki i optiki* [Scientific and technical bulletin of information technologies, mechanics and optics], 2023, vol. 23, no. 1, pp. 161-168. doi: 10.17586/2226-1494-2023-23-1-161-168 (In Russ., abstract in Eng.)

10. Solov'yev D.S., Solov'yeva I.A., Litovka Yu.V., Nesterov V.A. [Method for searching for suboptimal impact that ensures acceptable losses in the quality of a technological process], *Problemy mashinostroyeniya i nadezhnosti mashin* [Problems of mechanical engineering and machine reliability], 2020, no. 5, pp. 75-86. doi: 10.31857/S0235711920050144 (In Russ., abstract in Eng.)

11. Solov'yeva I.A., Solov'yev D.S., Litovka Yu.V., Korobova I.L. [Modification of the analytic hierarchy process method to improve the objectivity of decisions made], *Trudy MAI* [Proceedings of MAI], 2018, no. 98, 16 p. available at: https://elibrary.ru/download/elibrary_32761971_19818704.pdf (accessed 15 April 2025).

12. Litovka Yu.V., Maystrenko N.V., Yegorov S.Ya. *Matematicheskiye metody issledovaniya operatsiy: ucheb. elektron. izd.* [Mathematical methods of operations research: educational electronic publication], Tambov: Izdatel'skiy tsentr TGTU, 2023. available at: https://tstu.ru/book/elib1/pdf/2023/LitovkaUV.pdf (accessed 15 April 2025).

## Lösung des Problems der optimalen Terminierung der Produktionsplanung von Einzel- und Kleinserienarten

**Zusammenfassung:** Die Dringlichkeit der Aufgabe der Kalenderplanung der Produktion von Stück- und Kleinserienfertigung ist durch die Notwendigkeit bedingt, die Optimalität der Pläne und die Gesamtproduktivität der Unternehmen zu erhöhen, den Ressourcenverbrauch und die Lieferverzögerungen zu verringern. Die Forschungen sind auf die Entwicklung des Systems der Kalenderplanung der Produktionsprozesse gerichtet. Es ist die Berechnung der Normen der Produkterfüllung pro Schicht für einige Operationen der Unternehmen, die sich mit der Herstellung der Spielzeuge aus den polymeren Materialien beschäftigen, realisiert. Es sind Methoden der Optimierung der Produktionsplanung, wie die Petrov-Sokolitsyn- und Johnson-Methode, betrachtet. Es ist das Problem der Bestimmung der optimalen Reihenfolge der Erfüllung der Produkte formuliert. Das gestellte Problem ist mit den Methoden von Petrov-Sokolitsyn und Johnson gelöst.

---

## Solution du problème de la planification optimale du calendrier de la production des types unitaires et petits lots

**Résumé:** La pertinence de la tâche de planification de la production à l'unité et à petite échelle est due à la nécessité d'améliorer l'optimalité des plans et la productivité globale des entreprises, de réduire les dépassements de ressources et les retards de livraison. La recherche vise à développer un système de planification des processus de production. Est mis en œuvre du calcul des normes d'exécution des produits en remplacement de certaines opérations des entreprises engagées dans la fabrication de jouets en matériaux polymères. Sont examinées les méthodes d'optimisation de la planification de la production, telles que celles de Petrov-Sokolitsyn et de Johnson. Est formulée la tâche de déterminer l'ordre optimal d'exécution des produits. Est résolue la tâche présentée par les méthodes de Petrov-Sokolitsyn et de Johnson.

---

**Авторы:** ***Пахомов Артем Максимович*** – студент; ***Конкина Виктория Викторовна*** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Системы автоматизированной поддержки принятия решений», ФГБОУ ВО «ТГТУ», Тамбов, Россия.