

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ

DOI: 10.25065/1810-4894-2018-26-1-93-102

УДК 658.513.3

МОДЕЛИРОВАНИЕ КАЛЕНДАРНЫХ РАСПИСАНИЙ И ОБОСНОВАНИЕ НОРМАТИВОВ ДВИЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВА

В.И. Мамонов, В.А. Полуэктов

Новосибирский государственный технический университет
Россия, 630073, Новосибирск, пр-т К. Маркса, 20

Введение. Управление многономенклатурными потоками в реальном режиме времени требует решения задачи согласования производственных циклов изготовления изделий, синхронизации движения плано-учётных единиц и обеспечения их выпуска точно в срок, а, следовательно, требует решения задач оптимизации календарных расписаний. Решение таких задач для производственных систем с дискретным характером производства необходимо, так как позволяет дать статистическую оценку межоперационному времени.

Данные и методы. Предложена процедура определения величины межоперационного времени при обработке партий деталей на предметно-замкнутом участке и его использование при составлении графика запуска-выпуска партий. Такое значение межоперационного времени в длительности производственного цикла обеспечивает производственной системе более надёжное соблюдение сроков выпуска продукции, большую устойчивость к внешним воздействиям и отсутствие необходимости частого пересчёта календарных расписаний. В качестве метода определения межоперационного времени использован метод статистических испытаний с встроенными правилами предпочтения и разрешения конфликтных ситуаций.

Полученные результаты. Дана оценка количества генераций календарных расписаний, достаточных для получения вывода о близости полученных календарных графиков к оптимальному. Установлено, что величина суммарного межоперационного перерыва практически линейно зависит от ритма запуска партий на участке. Среднее значение коэффициента непрерывности обработки партий деталей несущественно зависит от величины ритма.

Заключение. Задачи составления календарных расписаний являются основным элементом в MES-системах. Использование статистических методов обеспечивает качество календарных расписаний. Временные нормативы движения производства, которые получены при использовании статистических методов, позволяют использовать нормативы при определении времени запуска и выпуска партий на предметно-замкнутых участках и обеспечивать надёжность их реализации во времени

Ключевые слова: календарное расписание, график запуска-выпуска, партия, имитационное моделирование, нормативы движения производства, среднее межоперационное время, коэффициент непрерывности обработки

Для цитирования:

Мамонов В.И., Полуэктов В.А. Моделирование календарных расписаний и обоснование нормативов движения производства // Организатор производства. 2018. Т.26. №1. С. 93-102. DOI: 10.25065/1810-4894-2018-26-1-93-102

Сведения об авторах:

Валерий Иванович Мамонов (канд. экон. наук, доцент, v.mamonov@corp.nstu.ru), доцент кафедры менеджмента.

Владимир Александрович Полуэктов (канд. экон. наук, доцент, poluektov@corp.nstu.ru), доцент кафедры менеджмента.

On authors:

Valeriy I. Mamonov (Cand. Sci. (Economic), Assistant Professor, v.mamonov@corp.nstu.ru), Assistant Professor of the Chair of Management.

Vladimir A. Poluektov (Cand. Sci. (Economic), Assistant Professor, poluektov@corp.nstu.ru), Assistant Professor of the Chair of Management.

MODELING CALENDAR SCHEDULING AND JUSTIFICATION OF THE NORMS
OF PRODUCTION FLOW

V.I. Mamonov, V.A. Poluektov

Novosibirsk State Technical University
20, K.Marks St., Novosibirsk, 630073, Russia

Introduction. Managing multinomenclature flows in real time requires solving the problem of coordinating the production cycles of product manufacturing, synchronizing the movement of accounting units and ensuring their release on time, and, therefore, requires the optimization of calendar schedules. The solution of such problems for production systems with a discrete nature of production is necessary, since it allows us to give a statistical estimate of the interoperational break.

Data and methods. A procedure is proposed for determining the amount of interoperational break during the processing of batches of parts on a object-locked districts and its use in drawing up a schedule for launching and issuing lots. Such a value of the interoperational break in the duration of the production cycle provides the production system with more reliable compliance with the terms of production, greater resistance to external influences and the absence of the need for frequent recalculation of calendar schedules. As a method for determining the interoperational break, the method of statistical tests with built-in rules of preference and resolution of conflict situations was used.

Results. The estimation of the number of generations of calendar schedules sufficient to obtain a conclusion about the closeness of the obtained calendar schedules to the optimal one is given. It is established that the magnitude of the total interoperational break is almost linearly dependent on the rhythm of launching lots on the site. The average value of the continuity factor for processing batches of parts does not significantly depend on the size of the rhythm.

The conclusion. The tasks of scheduling are the main element in MES-systems. The use of statistical methods ensures the quality of calendar schedules. Temporary standards for the movement of production, which are obtained using statistical methods, allow the use of standards in determining the time of launch and release of lots on the s object-locked districts and ensure the reliability of their implementation in time

Key words: calendar schedule, launch schedule-release, party, simulation, norms of production flow, mean inter-operation time, the coefficient of continuous processing

For citation:

Mamonov V.I., Poluektov V.A. (2018). Modeling calendar scheduling and justification of the norms of production flow. *Organizator proizvodstva* = Organizer of Production, 26(1), 93-102. DOI: 10.25065/1810-4894-2018-26-1-93-102 (in Russian)

Введение

Современные производственные системы с дискретным процессом производства, характерные для машино- и приборостроения, преимущественно ориентированы на производство широкой номенклатуры изделий, не требующихся в массовом количестве. Такая организация производства продукции выдвигает перед производственным менеджментом предприятий проблему управления многономенклатурными потоками в реальном режиме времени. Данная проблема является многоаспектной и для функционирующих предприятий требует

решения сложных, постоянно повторяющихся в производственной деятельности задач. Например, к перечню задач, которые постоянно требуется решать в оперативном режиме можно отнести: согласование производственных циклов изготовления изделий, обеспечение синхронизации движения планово-учётных единиц по производственным подсистемам, обеспечение требуемой надёжности выпуска (партий, узлов и комплектов) к установленному сроку, резервирование производственных систем и применение регуляторов оперативного управления, а также, оптимизация производственных расписаний.

Причём заметим, что под оптимизацией производственного расписания не может пониматься одноразовый акт; такие задачи должны решаться по необходимости, когда изменяются приоритеты в сроках выпуска продукции, при накоплении последствий от влияния случайных факторов производства и при других причинах корректировки календарных расписаний изготовления продукции.

Теория

Спрос на решение комплекса задач производственного планирования со стороны производства постоянно растёт, на что указывает состояние рынка программных продуктов. Среди известных на российском рынке MES-систем/систем оперативно-календарного планирования можно перечислить: ФОБОС, СПРУТ-ОКП, Zenit SPPS, PolyPlan, IT-Enterprise APS/MES, YSB.Enterprise.MES, APS/MES Preactor и другие. Все системы содержат модули составления календарных расписаний, основу которых составляют, как правило, эвристические процедуры, обобщающие богатый производственный опыт [1, 2, 3, 4, 5]. Использование таких процедур (решающих правил) является конструктивным, так как позволяет формировать расписания в оперативном режиме в случае любого нарушения хода производства. Применение оптимизационных методов составления расписаний для реальной практики является затруднительным по известным причинам. К тому же составленный оптимальный план обязательно при реализации в ближайшем будущем должен быть подвергнут пересчёту из-за рассогласования действий участников производственного процесса в технологической цепи [6, 7, 8].

В статье рассматривается локальная задача: в качестве объекта изучения (производственной системы) взят предметно-замкнутый участок, на

котором исследуется проблема получения календарных расписаний, близких к оптимальному, с целью получения средних значений длительностей производственных циклов, межоперационных времён установления взаимосвязей между организационно-экономическими характеристиками работы участка. Нахождение средних значений длительностей производственных циклов обработки партий деталей, а также времени межоперационного пролёживания партий на участке позволяет в силу статистической устойчивости результатов точнее корректировать изменение сроков запуска-выпуска партий, определённых графиком запуска-выпуска с соответствующими ритмами, исследовать эффективность как объёмного (запасы), так и временного резервирования (опережения запуска партий) производственной системы. Включение в длительность производственного цикла средних значений межоперационного времени пролёживания целесообразно, так как только в этом случае план-график запуска-выпуска партий на предметно-замкнутом участке может быть практически руководством по отслеживанию хода производства. На рис. 1 в качестве примера приведён график запуска-выпуска двух смежных партий по деталям двух наименований. Приведённый на рисунке график запуска-выпуска партий характеризует работу предметно-замкнутого участка с единым для всех наименований партий деталей ритмом – R_0 . Через $D_{j,p}^{(z)}$, $D_{j,p}^{(e)}$ обозначены даты запуска и выпуска партий деталей j -го наименования; индекс p – порядковый номер партии. Разность между датами равна плановой длительности производственного цикла изготовления партии деталей на предметно-замкнутом участке.

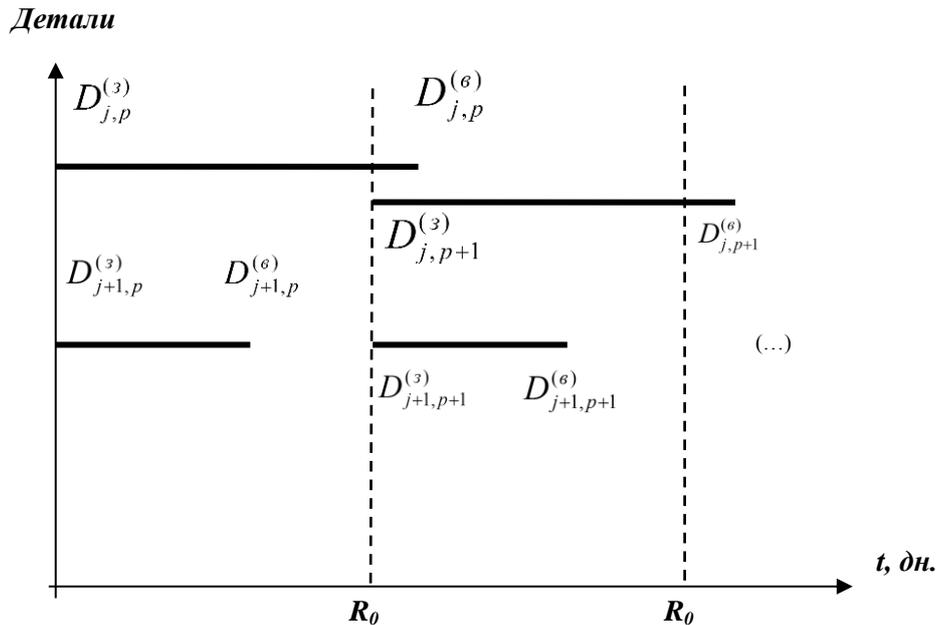


Рис. 1. График запуска-выпуска партий деталей
 Fig. 1. Start-release schedule for batches of parts

Данные и методы

Методом решения задачи составления календарных расписаний является имитационное моделирование, основу которого составляет процедура Монте-Карло с встроенными правилами предпочтения и разрешения конфликтных ситуаций. Описание метода дано в работе [9].

Решение поставленных задач реализовано с помощью специализированного программного продукта с многофункциональным пользовательским интерфейсом.

Выходными данными программы являются: выводимая на экран графическая (варианты календарных расписаний) и текстовая (отчеты о проведенных расчётах) информация.

Модель

Изучение задачи составления календарного расписания, отражающего потоки партий в реальном производстве, требует исследования задачи оценки близости полученных значений критерия эффективности расписания к оптимальному [10, 11, 12, 13]. Такая информация оказывается весьма важной при анализе ряда задач, таких как выявление взаимосвязей между нормативами движения производства, зависимостей между потерями фондов времени работы групп оборудования и эффективностью приме-

нения внутренних регуляторов в условиях работы по единому или разным ритмам [14, 15, 16].

Такую оценку можно получить, имея представление о структуре критерия оптимальности задачи. Речь идет о статистическом моделировании процесса обработки партий деталей, реализация которого осуществляется введением в алгоритм процедуры случайного выбора альтернативных партий и подлежащих загрузке освободившихся станков (разрешение конфликтных ситуаций).

Не рассматривая процедуры алгоритма составления календарных расписаний движения партий и загрузки станков, опишем содержание этапов, выполнение которых позволит дать оценку количества генераций расписаний на участке, достаточных для утверждения о получении расписаний (планов), которые соответствуют значениям, близким к минимальному значению продолжительности обработки партий. Метод статистических испытаний состоит из четырех этапов.

Этап 1. Проводим серию из n_1 независимых опытов – первую серию опытов. Пусть при этом случайная величина T (продолжительность обработки партий деталей на участке) приняла следующие значения:

$$T_1, T_2, \dots, T_{n_1}.$$

Величина:

$$T = \min_{1 \leq r \leq n_1} \left(\max_{1 \leq j \leq N} T_{jr} \right),$$

где T_{jr} – максимальное время обработки партии деталей j -го наименования в генерации расписания с номером r ; есть минимальное время обработки всех партий деталей за n_1 сгенерированных расписаний.

Используя эту последовательность чисел, определим статистические моменты случайной величины T : m_1 – первый начальный статистический момент; m_2 – второй центральный статистический момент.

Из имеющихся планов решения задачи после проведения этой серии опытов наилучшим будет тот, которому соответствует наименьший член последовательности или, иными словами, тот, которому соответствует значение целевой функции, равное:

$$T_0 = \min T_j, j = 1(1)n_1$$

Обозначим полученный план символом Π_0 . Из неравенства Чебышева следует: вероятность того, что произвольная случайная величина x с математическим ожиданием m_x и дисперсией D_x выйдет за пределы участка $(m_x - 3\sqrt{D_x}; m_x + 3\sqrt{D_x})$ не больше $1/9$. В действительности эта вероятность будет значительно меньше $1/9$ [17]. Поэтому в практических расчетах эту величину обычно считают «участком» практически возможных значений случайной величины. Учитывая это, поступаем следующим образом. Если $T_0 \leq m_1 - 3\sqrt{m_2}$, то в качестве оптимального плана принимаем план Π_0 . В противном случае разность $T_0 - (m_1 - 3\sqrt{m_2})$ обозначаем символом ΔT_0 и переходим к следующему этапу решения задачи.

Этап 2. На этом этапе исследуем характер распределения случайной величины T с использованием результатов проведенной первой серии опытов.

Для этого разделим весь диапазон n_1 значений на k_1 интервалов и подсчитаем m_i – число значений T из общего числа n_1 , попавших в i -й интервал $i = 1, 2, \dots, k_1$. Найдем частоту, соответствующую i -му интервалу:

$$P_i^* = \frac{m_i}{n_1}, i = 1, 2, \dots, k_1.$$

Так как случайная величина T является суммой многих случайных величин, то вполне оправданным является предположение о том, что ее распределение скорее всего следует нормальному закону. Следовательно, данное статистическое распределение следует выравнять нормальной кривой:

$$\varphi(T) = \frac{1}{\sqrt{2\pi m_2}} e^{-\frac{(T-m_1)^2}{2m_2}}.$$

В формуле вместо математического ожидания и дисперсии случайной величины T использованы их статистические аналоги. Закон распределения случайной величины T , заданный плотностью $\varphi(T)$, является теоретическим и с его помощью определяются теоретические вероятности попадания случайной величины в каждый из интервалов: P_1, P_2, \dots, P_{k_1} . Для проверки того, что случайная величина T имеет закон распределения, заданный плотностью $\varphi(T)$, используем критерий χ^2 , зависящий от параметра r , который в нашем случае равен $r = k_1 - 3$. Значение критерия определялось по формуле:

$$\chi_0^2 = n_1 \sum_{i=1}^{k_1} \left[\frac{(P_i^* - P_i)^2}{P_i} \right].$$

По таблицам для распределения χ^2 для значения χ_0^2 и параметра r находилась вероятность того, что случайная величина, распределенная по закону χ^2 , превзойдет значение χ_0^2 . При практических расчетах значение вероятности не было меньше $0,85$ и поэтому предположение о том, что случайная величина T распределена по нормальному закону, принималось как верное.

Этап 3. На данном этапе определяется наиболее целесообразное число опытов n , которые нужно провести для того, чтобы найти приближенно оптимальное решение задачи расписания.

Заметим, что при большом числе опытов по выбору случайных планов решаемой задачи расписания можно с вероятностью, достаточно близкой к вероятности достоверного события, выбрать план, мало отличающийся от оптимального решения. Однако в процессе нахождения планов с наименьшими значениями критерия

приходится фиксировать полученные результаты в документах, с помощью которых реализуется расписание и осуществляется диспетчирование производственного процесса, что сопряжено с определенными затратами. Поэтому необходимо сопоставлять эффект, получаемый от сокращения продолжительности процесса обработки партий деталей с затратами по диспетчированию и подготовкой необходимой рабочей документации. Заметим, что под эффектом в данном случае можно понимать величину снижения штрафных санкций за опоздание партии к установленному сроку.

Если в качестве решения задачи использовать план Π_0 , то длительность процесса обработки составляет T_0 . Предположим теперь, что существует такой план задачи, которому соответствует значение целевой функции, равное $(T_0 - \Delta T_0)$, и появление которого хотя бы один раз в серии из n опытов можно было бы гарантировать с вероятностью P_0 . Очевидно, что в качестве P_0 целесообразно принимать значение не менее 0,90. В случае использования плана, которому соответствует значение целевой функции, равное $(T_0 - \Delta T_0)$, экономический эффект составляет $\mathcal{E} \cdot \Delta T_0$, где \mathcal{E} – величина эффекта, приходящаяся на единицу сокращения продолжительности обработки партий деталей. Однако при этом затраты, связанные с проведением опытов и сопутствующих этому дополнительных работ, очевидно составляют величину, равную $(n - n_1)Z$, где Z – затраты при проведении дополнительного опыта. Таким образом, от произведенных затрат $(n - n_1)Z$ с доверительной вероятностью P_0 следует ожидать получение экономического эффекта, равного $\mathcal{E} \Delta T_0$. Эффективность дополнительных затрат составит $\mathcal{E} \cdot \Delta T_0 / [(n - n_1) \cdot Z]$. Необходимо, чтобы эффективность дополнительных затрат была не ниже установленной нормы эффективности. Установление численного значения нормы эффективности простой задачей не является, однако заметим, что если она равна единице, то дополнительные затраты должны быть не больше величины ожидаемого экономического эффекта.

Определим другие условия, которым должна удовлетворять величина n . Вероятность того, что

случайная величина T примет при одном опыте значение меньше, чем число $(T - \Delta T_0)$, то есть

$P(T < T_0 - \Delta T_0)$, определяется следующим образом:

$$P(T < T_0 - \Delta T_0) = \Phi\left(\frac{T_0 - \Delta T_0 - m_1}{m_2}\right) + 0,5,$$

где $\Phi(x)$ – функция Лапласа.

Пусть вероятность $P_1 = P(T < T_0)$. Применяя теоремы сложения и умножения вероятностей, получаем [18]: $P_0 = 1 - (1 - P_1)^n$ откуда следует равенство:

$$n = E\left(\frac{\ln(1 - P_0)}{\ln(1 - P_1)}\right)$$

для определения искомого числа опытов.

Если n соответствует установленной норме эффективности, то переходим к четвертому этапу решения задачи. В противном случае в качестве нового значения величины ΔT_0 выберем значение меньше предыдущего. После этого повторяем процесс определения целесообразного значения величины n , удовлетворяющего всем рассмотренным условиям. Процедуру повторяем до тех пор, пока не определим значение n для величины $\Delta T_0 > 0$, либо убеждаемся в том, что такое число n не существует. В первом случае переходим к четвертому этапу, во втором – в качестве оптимального плана принимаем план Π_0 и заканчиваем процесс решения задачи.

Этап 4. Проводим вторую серию из $(n - n_1)$ экспериментов. Наилучший план решения задачи, полученный после проведения опытов, обозначим символом Π_1 . Если значение целевой функции, соответствующее плану Π_1 , меньше значения, соответствующего плану Π_0 , то в качестве решения задачи принимаем план Π_1 ; в противном случае принимаем план Π_0 .

Применяемый метод статистических испытаний отличается от итерационных сходящихся методов тем, что строится последовательность случайных планов, наилучший из которых сходится по вероятности к решению задачи. В этом случае нельзя сказать, что, начиная с некоторого члена, каждый последующий член последовательности всегда расположен ближе к решению задачи, чем предыдущий, как это имеет место при итерационных сходящихся методах реше-

ния. Однако можно утверждать, что с увеличением последовательности возрастает уверенность в том, что лучший план новой увеличенной последовательности может являться оптимальным планом решения задачи составления расписания.

Полученные результаты

Процедура генерации расписаний с накоплением статистических данных позволяет располагать информацией для проведения расчёта количественных значений показателей, характеризующих качество календарных планов. К числу таких показателей относится коэффициент непрерывности обработки партии деталей, который характеризует долю перерывов между последовательными технологическими операциями обработки партии деталей в длительности производственного цикла. Например, по генерациям расписаний можно рассчитывать среднее время пролёживания перед каждой операцией по партиям деталей всех наименований, получать их средние значения по совокупности всех генераций, а также иметь данные о значениях межоперационного времени для планов, близких к оптимальному.

Экспериментальные расчёты проводились на предметно-замкнутых участках, параметры которых соответствуют реально действующим на машиностроительных предприятиях. При построении графика запуска-выпуска партий и формировании календарных расписаний был принят принцип работы предметно-замкнутого участка на основе единого ритма.

В ходе реализации метода, при неизменной производственной программе участка, были получены различные варианты календарных расписаний обработки партий деталей (более 300 вариантов). По всем вариантам расписаний для каждой обрабатываемой на участке детали были получены фактические значения длительности производственного цикла.

Так, например, на гистограмме (рис.2) для одной из партий деталей, обрабатываемых на участке, представлены полученные значения длительности производственного цикла и соответствующее им количество вариантов в общем числе генераций. При этом длительность технологического цикла обработки партии деталей данного наименования составляет 24 дня.



Рис. 2. Гистограмма распределения длительностей производственного цикла
 Fig. 2. A histogram of the distribution of the duration of the production cycle

Такая длительность цикла наблюдалась всего шесть раз в общем числе календарных расписаний эксперимента. В ходе анализа полученных результатов при сравнении средней величины длительности производственного цикла, рассчитанной по всем вариантам календарных расписаний, и длительности технологического цикла обработки партии деталей каждого наименования было установлено, что величина суммарного межоперационного перерыва практически линейно зависит от установленного ритма запуска партий на участке. Это свидетельствует о допущении использования такой зависимости при практических расчётах и построении графика запуска-выпуска партий в производственной системе. Поскольку ритмы функционально связаны с размером партий, то такой вывод справедлив и по отношению к размерам партий.

Однако такой вывод можно сделать, если в алгоритм составления расписаний не вносятся принципиально различные процедуры разрешения конфликтных ситуаций. В случае их изменения или использования системы приоритетов («меченые партии») суммарное межоперационное время может существенно изменяться и составлять порядка 15 – 43% от длительности технологического цикла обработки других партий деталей на участке.

Среднее значение коэффициента непрерывности обработки партии деталей по участку в целом не превысило уровня 0,77, что обусловлено изменением значений данного показателя в пределах 0,71 – 0,87 по отдельным партиям деталей. Изменение размера партий в меньшую сторону (или уменьшение единого ритма) к существенным изменениям коэффициента непрерывности не приводило.

Реализация алгоритма поиска оптимального (в соответствии с заданным критерием) варианта календарного расписания, позволяет не просто сократить среднее время межоперационного перерыва по ряду деталей, но и получить более «плотную» загрузку рабочих мест, что подтверждается изменением среднего значения коэффициента непрерывности обработки партии деталей по участку в целом. Так, например, значение данного показателя по оптимальному плану в нашем случае составило 0,82. Однако следует иметь в виду, что рекомендации исполь-

зовать оптимальные расписания с высоким коэффициентом непрерывности сопряжены с решением задачи эффективного временного резервирования производственных систем.

Заключение

Задачи составления календарных расписаний в производственных системах с дискретным характером производства остаются актуальным предметом исследований, так как позволяют производству располагать необходимым механизмом организации равномерной и ритмичной организации производства. Комплекс задач календарного планирования является ядром в MES- системах. Качество календарных планов заметно влияет на многие важные характеристики систем: экономику производственных систем, устойчивость их работы, соблюдение требований заказчика относительно сроков готовности продукции и другие. В статье затронуты далеко не все вопросы, которые могли бы быть поставлены и обсуждены на основе полученной по итогам экспериментов информации, которой для этого вполне достаточно. Вместе с тем, полученные результаты по значениям межоперационного времени позволяют использовать их при составлении графика запуска партий деталей на предметно-замкнутых участках и тем самым обеспечивать устойчивость их реализации в реальном режиме времени.

Библиографический список

1. Мауэргауз Ю. Е. «Продвинутое» планирование и расписания (AP&S) в производстве и цепочках поставок. М.: Экономика, 2012. 574 с.
2. Mauergauz Y. Cost-Efficiency Method for Production Scheduling. Proceedings of the World Congress on Engineering 2013 Vol I, WCE 2013, July 3 - 5, 2013, London, U.K. [Электронный ресурс]. URL: http://www.iaeng.org/publication/WCE2013/WCE2013_pp587-593.pdf (дата обращения 16.12.2017)
3. Ильин А.И., Коваленко Н.С., Сидорович Н.И. Модели оптимизации оперативно-календарного планирования машиностроительных предприятий // Проблемы управления (Минск). 2016. №3(60). С.45-50.
4. Саратов А.А. Конкурентный метод синтеза производственных расписаний // Известия ТулГУ. Технические науки. 2014. №.3 С.104-110.

5. Мухин И.Н. Автоматизация процесса производственного планирования при мелкосерийном и позаказном производстве//Автоматизация в промышленности. 2012. №10. С.26-29.
6. Лазарев А.А. Гафаров Е.Р. Теория расписаний. Задачи и алгоритмы. М.: МГУ им. М. В. Ломоносова. 2011. 222 с.
7. Адамия К.Г. Разработка методов и средств оперативной коррекции производственных расписаний механообрабатывающего цеха в условиях мелкосерийного производства. Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. М.:1996. 21 с.
8. Бекмурзаев А.В. Повышение эффективности управления производственным процессом на основе оптимальной загрузки оборудования и минимизации возможных отклонений от производственного расписания. Автореф. дис. ... канд. экон. наук. М.: 2001. 18 с.
9. Мамонов В.И., Полуэктов В.А. Методы и модели оперативно-производственного менеджмента. Новосибирск. НГУЭУ.2011. 168 с.
10. Львов Ю.А., Сатановский Р.Л. Интенсификация машиностроительного производства: организация и планирование. Л.: Машиностроение, 1984.182 с.
11. Танаев В.С., Шкурба В.В. Введение в теорию расписаний. М.: Наука. 1975. 256 с.
12. Первозванский А.А. Математические модели в управлении производством. М.: Наука 1975. 616 с.
13. Петров В.А. Групповое производство и автоматизированное оперативное управление. Л.: Машиностроение, 1975. 312с.
14. Ватник П.А. Статистические методы оперативного управления производством. М.: Статистика, 1978. 240 с.
15. Мамонов В.И., Полуэктов В.А. Эффективность применения внутренних регуляторов оперативного управления предметно-замкнутыми участками в условиях единого ритма // Вестник машиностроения. 2007. №12. С.80 – 84.
16. Мамонов В.И., Полуэктов В.А. Обеспечение устойчивого функционирования подразделений на основе регуляторов оперативного управления // Вестник НГУЭУ. 2010. №2. С.55-64.
17. Смирнов Н.В., И.В. Дунин-Барковский. Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений. М.: Наука. 1965. 512 с.
18. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Прикладные задачи теории вероятности. М.: Радио и связь, 1983. 416 с.

Поступила в редакцию – 6 февраля 2018 г.
Принята в печать – 2 марта 2018 г.

References

1. Mauergauz Yu. E. (2012). “Advanced” planning and scheduling (AP&S) in production and supply chains. Moscow: Ekonomika, 574 p.
2. Mauergauz Y. (2013). Cost-Efficiency Method for Production Scheduling. Proceedings of the World Congress on Engineering 2013 Vol I, WCE 2013, July 3 - 5, 2013, London, U.K. Available at: http://www.iaeng.org/publication/WCE2013/WCE2013_pp587-593.pdf (accessed 16.12.2017).
3. Il'in A.I., Kovalenko N.S., Sidorovich N.I. (2016). Models of current calendar planning optimization of engineering enterprises. *Problemy upravlenija (Minsk) = Problems of Management (Minsk)*, 3(60), 45-50.
4. Saratov A.A. (2014). Competitive method of synthesis of the machine scheduling. *Izvestija TulGU. Tehnicheskie nauki*, 3, 104-110.
5. Muhin I.N. (2012). Automation of the process of production planning in small-scale and custom production. *Avtomatizacija v promyshlennosti = Automation in the industry*, 10, 26-29.
6. Lazarev A.A. Gafarov E. R. (2011). Theory of schedules. Tasks and algorithms. Moscow: MSU, 222 p.
7. Adamija K.G.(1993). Development of methods and tools for quick correction of production schedules of a machining workshop in small-scale production. The abstract of the Candidate’s Dissertation in Technical Science. Moscow, 21 p.
8. Bekmurzaev A.V. (2001). Increase the efficiency of managing the production process on the basis of optimal equipment utilization and minimization of possible deviations from the production schedule. The

abstract of the Candidate's Dissertation in Economic Science. Moscow, 18 p.

9. Mamonov V.I., Polujektov V.A. (2011). Methods and models of operational and production management. Novosibirsk: NSUEM, 168 s.

10. L'vov Ju.A., Satanovskij R.L. (1984). Intensification of machine-building production: organization and planning. Leningrad: Mashinostroenie, 182 p.

11. Tanaev V.S., Shkurba V.V. (1975). Introduction to the theory of schedules. Moscow: Nauka, 256 p.

12. Pervozvanskij A.A. (1975). Mathematical models in production management. Moscow: Nauka, 616 p.

13. Petrov V.A. (1975). Group production and automated operational management. Leningrad: Mashinostroenie, 312 p.

14. Vatnik P.A. (1978). Statistical methods of operational management of production. Moscow: Statistika, 240 p.

15. Mamonov V.I., Polujektov V.A. (2007). An application efficiency of on-line control internal regulators by the object-locked districts in the united rhythm conditions. Vestnik mashinostroenija, 12, 80 - 84.

16. Mamonov V.I., Polujektov V.A. (2010). The provision of stable functioning of subdivisions on the basis of regulators of operational control. Vestnik NSUEM, 2, 55-64.

17. Smirnov N.V., I.V. Dunin-Barkovskij. (1965). Course of probability theory and mathematical statistics for technical applications. Moscow: Nauka, 512 p.

18. Ventcel' E.S., Ovcharov L.A. (1983). Applied problems of probability theory. Moscow: Radio i svjaz', 416 p.

Received – 6 February 2018.

Accepted for publication – 2 March 2018.