

DOI: 10.36622/VSTU.2020.73.44.005

УДК 338.32

МОДЕЛЬ ПЛАНИРОВАНИЯ ПЕРЕДАТОЧНЫХ ПАРТИЙ В ГРАФИКЕ ПРОИЗВОДСТВА

Е.М. Сафронова, Л.В. Черненькая

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
Россия, 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Введение. Данная статья посвящена решению задачи планирования передаточных партий операций на базе данных холдинга «ЛЕНПОЛИГРАФМАШ». Решение задачи планирования передаточных партий актуально, поскольку существующая ситуация «ручного» ввода размерности партий, отсутствие учета окончания партий при планировании ограничивают сокращение времени на производство продукции.

Данные и методы. Представленная в работе математическая модель имеет ряд допущений для уменьшения вычислительной сложности рассматриваемой задачи, а также из-за алгоритма планирования. В качестве целевой функции в модели выбрана минимизация начала планирования маршрутной карты. Для решения задачи предложен алгоритм, позволяющий вычислить необходимый размер партии и сопоставление партий предыдущей маршрутной карты со следующей маршрутной картой.

Полученные результаты. Апробация предложенного алгоритма проводилась на данных холдинга «ЛЕНПОЛИГРАФМАШ», в информационной системе IC:MES Оперативное управление производством, редакция 1.3 (далее IC:MES), что позволило удостовериться в выполнении ограничений при построении графика производства.

Заключение. Разработанные модель и алгоритм планирования передаточных партий для внедрения в IC:MES могут быть использованы на предприятии, позволят эффективнее регулировать загрузженность производственного оборудования с учетом передаточных партий и уменьшит срок выполнения заказов.

Ключевые слова: передаточные партии, выбор размера партии, математическая модель, график производства, маршрутная карта

Для цитирования:

Сафронова Е.М., Черненькая Л.В. Модель планирования передаточных партий в графике производства // Организатор производства. 2020. Т.28. № 4. С. 45-57. DOI: 10.36622/VSTU.2020.73.44.005.

Сведения об авторах:

Сафронова Елена Михайловна (solncuivetru@gmail.com), аспирант, направление подготовки: 27.06.01 Управление в технических системах, Высшая школа киберфизических систем и управления Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого.

Черненькая Людмила Васильевна (ludmila@qmd.spbstu.ru), доктор технических наук, профессор Высшей школы киберфизических систем и управления Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого

On authors:

Elena M. Safronova (solncuivetru@gmail.com), postgraduate student, direction of training: 06.27.01 Control in technical systems, Higher School of Cyber-Physical Systems and Control of the Institute for Computer Sciences and Technologies, Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University.

Liudmila V. Chernenkaya (ludmila@qmd.spbstu.ru), Doctor of Technical Sciences, Chief Researcher, Professor at the Higher School of Cyber-Physical Systems and Control of the Institute for Computer Sciences and Technologies, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University.

TRANSFER BATCH PLANNING MODEL IN THE PRODUCTION SCHEDULE

E.M. Safronova, L.V. Chernenkaya

Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University
29 Politechnicheskaya str., 195251 Saint Petersburg, Russia

Introduction. This article is devoted to solving the problem of planning transfer batches of operations based on the data of the LENPOLIGRAFMASH holding. The solution of the problem of planning transfer batches is relevant, since the existing situation of "manual" input of the batch size, the lack of consideration of the end of batches in planning limits the reduction of time for production.

Data and methods. The mathematical model presented in this paper has a number of assumptions to reduce the computational complexity of the problem under consideration, as well as due to the planning algorithm. The goal function in the model is to minimize the start of route map planning. To solve the problem, an algorithm is proposed that allows calculating the required batch size and comparing the batches of the previous route map with the next route map.

Obtained result. Testing of the proposed algorithm was carried out on the data of the LENPOLIGRAFMASH holding, in the information system 1C: MES Operational production management, version 1.3 (hereinafter 1C: MES). this allowed us to make sure that the restrictions were met when building the production schedule.

Conclusion. The developed model and algorithm for planning transfer batches for implementation in 1C: MES can be used at the enterprise, will allow you to more effectively regulate the workload of production equipment, taking into account transfer batches, and reduce the order completion time.

Keywords: transfer batches, batch size selection, mathematical model, production schedule, route map

For citation:

Safronova E. M., Chernenkaya L. V. Model of planning of transfer parties in the production schedule // production Organizer. 2020. Vol. 28. No. 4. Pp. 45-57. DOI: 10.36622/VSTU.2020.73.44.005.

Введение

При планировании производства важную роль играют передаточные партии. С одной стороны, с их помощью можно сократить запасы на складах и выгружать заказчикам продукцию в несколько этапов, с другой – появляется возможность совершать операции параллельно на различном оборудовании, подходящем по типу и функционалу для выполнения операции, тем самым ускоряя производство продукции. Также можно удовлетворить желание заказчика получить товар по мере его выпуска [1, 2].

Однако, при решении вопроса о передаточных партиях необходимо учесть следующие особенности и ограничения:

- Сложность определения оптимального размера партий. Помимо того, что для той или иной продукции может устанавливаться разная норма оптимального размера партии, необходимо определить критерии установки размера

партии с учетом особенностей технологического процесса и используемого оборудования.

- Возможное отсутствие выигрыша по времени или по объему затрат при разделении всей партии на передаточные партии. Это связано с необходимостью наладки и временными затратами на наладку, временными и материальными затратами на перемещение партий между подразделениями и оборудованием.

- Возможное увеличение износа оборудования, возвратной тары и других сопутствующих и вспомогательных инструментов.

- Ограничение по количеству возвратной тары или средствам для перемещения полуфабрикатов.

Алгоритм работы информационной системы

Конфигурация 1C:MES позволяет предприятиям управлять заказами на производство, планировать и отмечать выполнение операций, а

также предоставляет отчетность на всех этапах производства.

AP&S – (Advanced Planning & Scheduling) система планирования производства, позволяющая построить расписание всего оборудования в целом на все предприятие.

Доработка алгоритма AP&S планирования происходила на платформе 1С:Предприятие конфигурации 1С:MES. В данном продукте планирование AP&S уровня осуществляется в модуле «График производства», в котором предусмотрено отображение списка заказов на

выбранный период и изделий к каждому заказу. На диаграмме Ганта представлены блоки с указанием маршрутной карты и периода выполнения.

«Разузлование номенклатуры» - это разбиение номенклатуры с указанием количества, которое необходимо для производства той или иной номенклатуры, т. е. изделия или полуфабриката.

Для обозначения детали и сборочной единицы введем обозначение ДСЕ. На рис. 1 показан алгоритм разузлования номенклатуры.

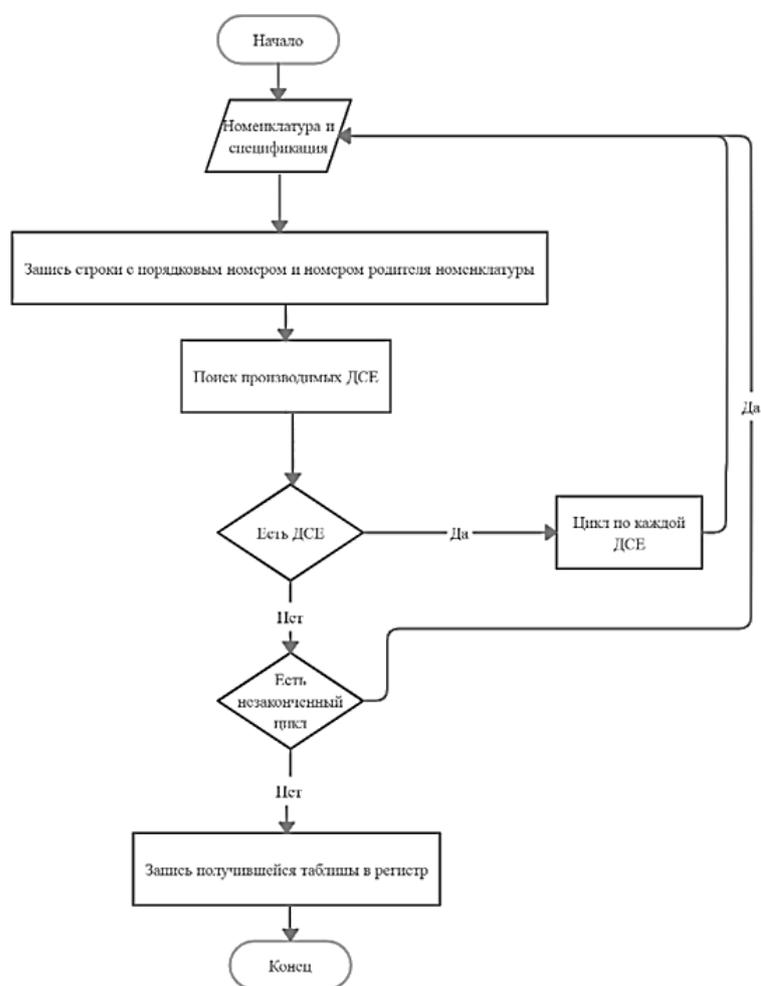


Рис. 1. Алгоритм разузлования номенклатуры
Fig. 1. Algorithm for exploding an item

Описание алгоритма приводится в сокращенном виде, поскольку не все функции важны для раскрытия данной темы.

Маршрутные карты производства

Маршрутная карта производства – документ, отвечающий за детализацию технического

процесса создания изделия. Включает в себя список операций с определением, на каком оборудовании и за какое время будет выпущена продукция, материалы и комплектующие для создания выпуска, возвратная тара.

На рис. 2 приведен пример рассчитанного графика производства для продукции с входящими производимыми деталями в количестве 655. Для этого в 1С:MES было автоматически

создано 656 маршрутных карт. Данный заказ распланирован практически на год при нулевой загрузке оборудования другими заказами [3 - 5].

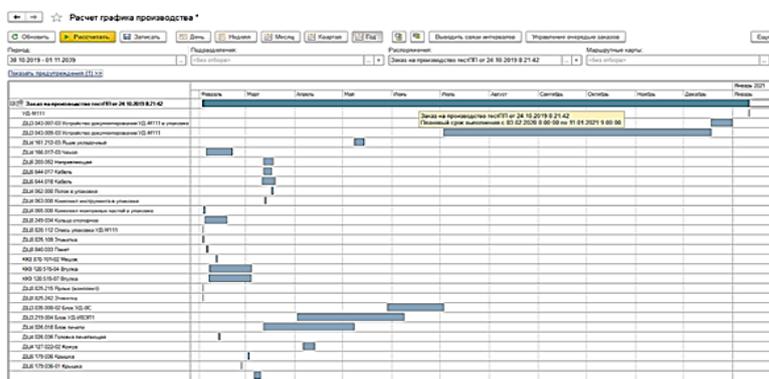


Рис. 2. График производства без передаточных партий
Fig. 2. Production schedule without transfer lots

Однако в системе было реализовано решение, позволяющее за размер партии на конкретной операции брать определенное количество изделий из технологической карты.

Технологические карты

Технологическая карта - это объект в системе 1С:MES, который отражает совокупность технологических операций, необходимых для создания конкретной продукции. В каждой технологической карте указаны операции, время операций, оборудование и группа заменяемости оборудования.

В системе 1С:PDM технологом было предложено устанавливать какое-то число, которое примерно отражает размер партии, но такое решение неприемлемо.

Оборудование

Для выполнения той или иной технологической операции можно использовать как строго указанное оборудование, так и оборудование,

которое может подходить по параметрам. В системе 1С:MES реализованы два справочника. Справочник «Рабочие центры» определяет установленное оборудование, справочник «Группа заменяемости рабочих центров» объединяет станки, схожие по параметрам, что позволяет применять вариативность исполнения операции в системе и на производстве.

Ограничения существующего алгоритма

Для упрощения вычислений, связанных с планированием производства, в системе было решено упростить некоторые механизмы вычислений.

Описание ограничений

В системе было реализовано вычисление первой партии маршрутной карты у первой операции путем выбора последней партии из входящих маршрутных карт, сравнения последних партий и выбора максимальной (рис. 3).

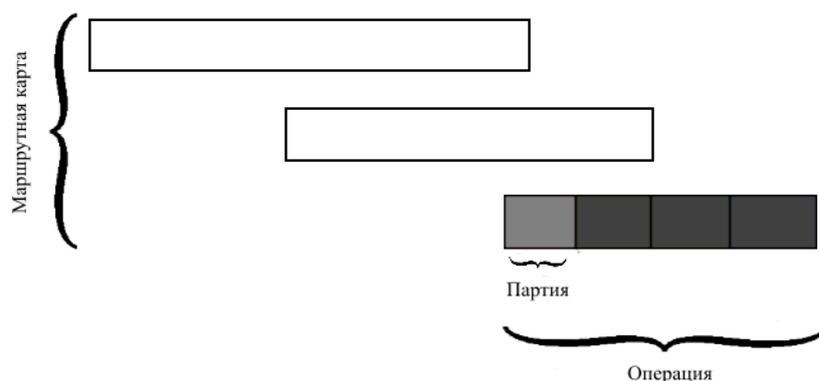


Рис. 3. Партия операции

Fig. 3. Operation batch

Точкой начала планирования (моментом партий из предыдущих маршрутных карт, которые размещены) считается максимальное время, которое входят в текущую планируемую маршрутную карту (рисунок 4). Точкой окончания обработки последних передаточных партий из предыдущих маршрутных карт, которые размещены в текущую планируемую маршрутную карту (рисунок 4).

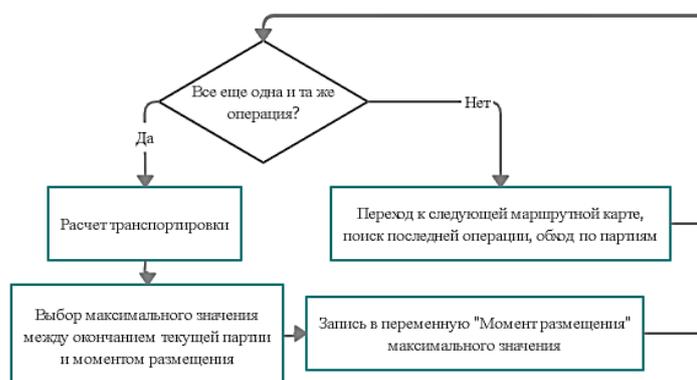


Рис. 4. Выбор максимального значения момента размещения из каждой партии

Fig. 4. Selection of the maximum value of the moment of placement from each batch

В модели приняты следующие обозначения:
 m – индекс для обозначения маршрутной карты;

o – индекс для обозначения операции маршрутной карты;

p – индекс для обозначения партии;

t_{MR} – момент размещения, с которого начинается планирование маршрутной карты и операций;

t_{NMR} – начальный момент размещения маршрутной карты;

t_{MR_p} – время окончания последней операции предыдущей маршрутной карты, входящей в текущую маршрутную карту, и время на транспортировку;

t_{PDN} – дата начала, определяется из горизонта планирования как начало периода;

t_{MDN} – дата начала, определяется из маршрутной карты;

t_{MP} – текущий момент, текущая дата сеанса, фиксируется один раз в момент начала планирования;

O – технологическая операция;

t_{VP} – время перемещения между подразделениями;

K_p – размер передаточной партии;

P_p – обрабатываемая партия;

N_{Op} – размер передаточной партии операции из свойств технологической операции;

t_{PNR} – дата возможного начала планирования данной маршрутной карты;

K_o – количество операций, которое осталось обработать, изначально данная переменная равна количеству операций;

N_p – номер партии;

$S_{t_S N_p}$ – соответствие, в котором хранится окончание партии и номер партии;

t_S – текущий момент размещения партии предыдущих маршрутных карт, который записывается вместе с номером партии в соответствие ($S_{t_S N_p}$);

Z_p – партия запуска;

K_N – количество входящей номенклатуры.

Задача может быть сформулирована следующим образом: необходимо найти максимально возможный момент размещения, t_{MR} в m группе подчиненных маршрутных карт для начальной точки планирования текущей маршрутной карты (1):

$$\sum_{m=1}^{m_i} t_{MR_m} \rightarrow \max \quad (1)$$

Ограничение (2) определяет, что момент размещения t_{MR} не может быть меньше или равно начального момента размещения (t_{NMR}) и на данном этапе алгоритма не может быть больше или равно момента размещения, равного окончанию партии и времени на транспортировку (t_{MR_p}) для последней операции из предыдущей маршрутной карты:

$$\begin{cases} t_{NMR_m} \leq t_{MR_m} \\ t_{MR_m} \leq t_{MR_p} \end{cases} \quad (2)$$

где начальный момент размещения для текущей маршрутной карты (t_{NMR_m}) рассчитывается (3) как максимум из значений дат: даты начала из периода планирования (t_{PDN}); даты начала маршрутной карты (t_{MDN}) и момента планирования как параметра (t_{MP}):

$$\forall a_i \in A: (a_i \geq t_{NMR_m} \rightarrow a_i = t_{NMR_m}) \quad (3)$$

где множество A – определяется тремя известными переменными (4):

$$A = [t_{PDN}, t_{MDN}, t_{MP}] \quad (4)$$

Для того, чтобы вычислить окончание предыдущей маршрутной карты, которая входит в текущую маршрутную карту, необходимо выбрать последнюю операцию. Для этого определяем количество строк в таблице опера-

ций маршрутной карты, затем находим последнюю операцию и по ее уникальному идентификатору выделяем все строки, принадлежащие к последней операции. Для каждой строки последней операции (несколько строк одной операции означает то, что операция поделена на партии) рассчитываем время транспортировки между последней операцией и операцией, которая должна начаться по текущей маршрутной карте. Время окончания последней операции t_{MR_p} получаем суммированием времени окончания выполнения партии и времени на транспортировку (5):

$$t_{MR_p} = O_p + t_{VP} \quad (5)$$

Затем выбираем максимальное из всех возможных значение времени окончания операций для всех партий всех предыдущих маршрутных карт и проводим планирование текущей маршрутной карты, начиная с вычисленного момента размещения t_{MR_m} .

Одновременно решаем еще одну задачу: необходимо найти максимально-возможный размер передаточной партии для операций текущей маршрутной карты из группы операций из предыдущих маршрутных карт (6):

$$\sum_{o=1}^{o_i} K_{p_o} \rightarrow \max \quad (6)$$

После того, как определен максимум по моменту размещения, для каждой передаточной партии последней операции предыдущей маршрутной карты из очереди операций по всем маршрутным картам выбираем операции по текущей предыдущей маршрутной карте. Если такие операции есть, то выбираем последнюю партию последней операции и размер передаточной партии. Далее выбираем максимум из текущей передаточной партии и предыдущей передаточной партии. При первом проходе по циклу переменная, хранящая максимальный размер партии, равна передаточной партии последней операции, которая была выбрана при проходе цикла по маршрутной карте. Далее сравниваем значение уже существующего размера партии с новым (7):

$$\forall o_i \in O: (o_i \geq K_{p_o} \rightarrow o_i = K_{p_o}) \quad (7)$$

где множество O – это предыдущий максимальный размер партии и текущий размер партии (4).

$$O = [K_{p_o}, K_{p_{o+1}}] \quad (8)$$

Таким образом, ограничение (9) показывает, что размер передаточной партии для операции (K_{p_o}) может быть равен или больше нуля:

$$0 \leq K_{p_o} \quad (9)$$

Далее повторяем выбор размера первой партии при планировании операций зависимой маршрутной карты [6, 7]. Если передаточная партия больше нуля по входящим маршрутным картам, берем минимум из передаточной партии от входящих маршрутных карт и той передаточной партии, которая установлена в технологической карте, а впоследствии - в маршрутной карте (10).

$$\begin{cases} P_p = N_{Op}, \text{ где } K_{p_o} = 0 \\ P_p = \min(K_{p_o}, N_{Op}) \end{cases} \quad (10)$$

Зависимая маршрутная карта находится в работе с того момента, когда все детали готовы к использованию и выполнено условие, что вычисленный момент размещения равен или больше даты возможного начала планирования из маршрутной карты (11).

$$t_{MR_m} < t_{PNR} \rightarrow t_{MR_m} = t_{PNR} \quad (11)$$

Иными словами, зависимую маршрутную карту можно начинать планировать только после того, как выполнены все входящие маршрутные карты и проведено деление на передаточные партии, по размеру совпадающие с указанным в технологической карте, либо определен размер из последних передаточных партий последних операций входящих маршрутных карт [8]. В данном случае можно создать партии, распределить на различное оборудование для параллельного выполнения, но готовые детали из первых партий будут лежать на складе до окончания выполнения всей маршрутной карты.

Для первой партии операции планировали с учетом вычисленного размера партии, для следующих партий реализован следующий ОРГАНИЗАТОР ПРОИЗВОДСТВА. 2020. Т. 28. № 4

алгоритм: из количества операций вычитается размер партии, которая только что была распланирована; если операций осталось меньше, чем размер партии, то проводим планирование остатка операций, в противном случае проводим планирование размера партии [9] (12).

$$\begin{cases} K_p = K_o, \text{ где } K_o < OP \\ K_p = P_p, \text{ где } K_o \geq OP \end{cases} \quad (12)$$

Размер партии указывается в технологической карте и не зависит от количества деталей в заказе. Для изготовления единицы продукции обычно требуется не одна, а несколько штук конкретной детали. Это зависит от модификации изделия.

Также существуют ограничения в алгоритме планирования в самой системе, которые не позволяют создавать маршрутные карты с условием изготовления полуфабрикатов на разных этапах готовности для производства различной продукции [10]. В данный момент полуфабрикаты можно использовать при формировании новых заказов, но построить сложную цепочку изготовления продукции, когда на входе полуфабрикаты и детали, в настоящее время невозможно. Еще одно ограничение: все детали принимают только на первую операцию зависимой маршрутной карты. Это обусловлено сложностью реализации структуры хранения данных и возможностями архитектуры на данном этапе реализации системы. Все перечисленные ограничения в настоящее время еще существуют.

Разработка алгоритма формирования передаточных партий

В разработанном алгоритме был пересмотрен момент начала зависимой маршрутной карты.

Перед началом планирования проводим анализ передаточных партий входящих маршрутных карт. Из-за особенности алгоритма планирования каждая маршрутная карта и принадлежащие ей операции планируются по очереди. В цикле по входящим маршрутным картам выбираем партии, относящиеся к последней операции, которая завершает деталь, сохраняем моменты окончания партий. Аналогично поступаем с остальными партиями операций входящих маршрутных карт [11]. В

соответствии со структурой заказа получаем таблицу, записанную в регистр.

На входе этой процедуры создается две таблицы значений: ТМоментВремени и ТОкончанияПартий. ТМоментВремени имеет одну колонку "МоментРазмещения". ТОкончанияПартий содержит две колонки: "Номер партии" и "Момент Размещения". В обеих таблицах данные о моменте размещения содержат дату окончания партии.

При каждом прохождении партии заполняется служебная таблица окончаний партий. Текущий момент размещения равен времени окончания партии предыдущей маршрутной карты и времени на транспортировку для начала зависимой маршрутной карты (5).

В соответствии с исходным алгоритмом обход партий операций происходит с последней партии к первой. Поэтому была добавлена еще одна переменная, которая сравнивает момент размещения и текущий момент размещения и выбирает минимум. Момент размещения - это переменная, которая необходима для начала планирования каждой маршрутной карты. Эта переменная изменяема.

По типовому варианту в переменную «Момент размещения» до процедуры добавляется дата планирования заказа.

В процедуре, позволяющей рассчитать момент размещения с учетом входящих маршрутных карт, реализовано два цикла. Первый цикл выполняется по списку входящих маршрутных карт. Второй цикл реализован внутри первого и проходит по списку передаточных партий последней операции [12].

Для каждой партии рассчитывается возможное время транспортировки (если такая есть) и добавляется к каждому окончанию партии (5).

Далее выбираем максимум из момента времени, который либо был изначально, либо обновился в ходе циклов и текущего момента времени - это окончание партии + время на транспортировку. Этот максимум из двух дат записывается снова в момент размещения (2).

В разрабатываемом алгоритме добавлена строка, которая берет минимум из текущего момента времени и обновленного момента времени. Тем самым алгоритм не позволит взять слишком раннюю дату, так как момент размещения уже обновлен на максимум, но переменная, в которую записывается вычисляемый минимум -

Момент размещения минимум - выберет снова из дат минимальную (13,14):

$$\sum_{m=1}^{m_i} t_{MR_{mp}} \rightarrow \min \quad (13)$$

$$\begin{cases} t_{NMR_{mp}} \geq t_{MR_{mp}} \\ MR_{mp} \leq t_{MR_p} \end{cases} \quad (14)$$

На следующем шаге в таблицу ТОкончанияПартий добавляется новая строка с текущим моментом времени и номером партии (15):

$$t_{MR_{mp}} \in \begin{pmatrix} t_{MR_{mp}} & N_{p_o} \\ t_{MR_{mpi}} & N_{p_{oi}} \end{pmatrix} \quad (15)$$

При каждом прохождении внутреннего цикла по партиям переменная «Момент размещения» определяет максимум из текущего размещения и момента размещения по предыдущей партии из цикла. А «Момент размещения минимум» определяет минимальное значение из обновленного момента размещения и текущего момента размещения. Таким образом, на выходе из внутреннего цикла заполняется таблица ТОкончанияПартий со списком всех партий и окончаний [13, 14]. Обновляется «Момент размещения» и выбирается максимальное окончание партий. Переменная «Момент размещения минимум» заполняется минимальным окончанием партий.

После окончания прохода по внутреннему циклу в таблицу ТМоментВремени добавляется переменная «Момент размещения минимум». Выполняется переход на следующую входящую маршрутную карту и повторяются действия (16):

$$t_{MR_{mp}} \in \begin{pmatrix} t_{MR_{mp}} \\ \dots \\ t_{MR_{mpi}} \end{pmatrix} \quad (16)$$

На выходе получаем две таблицы. ТМоментВремени проверяется на заполненность и сортируется по переменной «Момент размещения минимум» по убыванию. Тем самым выбирается максимальная дата окончания партий по входящим маршрутным картам из их минимальных окончаний партий операций (17, 18). Найденная дата записывается как стартовая точка планирования зависимой маршрутной карты.

$$\sum_{m=1}^{m_i} t_{MR_m} \rightarrow \min \quad (17)$$

$$\forall a_i \in A: (a_i \leq t_{MR_m} \rightarrow a_i = t_{MR_m}) \quad (18)$$

где множество A – это массив переменных «Момент размещения» каждой партии в рамках входящих маршрутных карт ($t_{MR_{mp}}$) (19):

$$A = [t_{MR_{mp}}, \dots, t_{MR_{mpi}}] \quad (19)$$

Вторая таблица значений передается как параметр для дальнейшего планирования операций зависимой маршрутной карты.

Дальше алгоритм переходит к непосредственному планированию маршрутной карты, для которой проверялись входящие в нее маршрутные карты [15].

Вначале еще раз определяется момент размещения (t_{MR_m}). Если до этого по какой-то причине t_{MR_m} не было определено, тогда, если это прямое планирование, выбирается максимум из периода даты начала (t_{PDN}), даты начала маршрутной карты (t_{MDN}) и текущей даты (t_{MP}) (20):

$$\forall a_i \in A: (a_i \geq t_{MR_m} \rightarrow a_i = t_{MR_m}) \quad (20)$$

где множество A – это три известных переменных (21):

$$A = [t_{PDN}, t_{MDN}, t_{MP}] \quad (21)$$

Далее следует уточнение, нужно ли планировать не ранее какой-то даты (11).

Затем в цикле по очереди планируется операция маршрутной карты. Добавлено ограничение, что первая операция, если есть предшествующие маршрутные карты и вычислен размер партии операции, участвует в условии вычисления размерности. Создается соответствие. Проверяется, есть ли строки в таблице ТОкончанияПартий. Таблица сортируется по колонке «Момент размещения» по возрастанию. Записывается в переменную «Момент размещения» в целом для маршрутной карты.

Ограничения:

1. Дальнейшее составление соответствия ($S_{t_s N_p}$) будет продолжено, если номер операции равен 1, так как в текущем алгоритме предусмотрено получение предыдущих

полуфабрикатов и деталей только на первую операцию (22):

$$O_i = 1 \quad (22)$$

2. Выполнение алгоритма может быть продолжено, если хотя бы 1 строка присутствует в таблице значений «ТОкончанияПартий» (23):

$$\exists 1, 1 \in \begin{pmatrix} t_{MR_{mp}} & N_{p_o} \\ t_{MR_{mpi}} & N_{p_{oi}} \end{pmatrix} \quad (23)$$

Далее идет цикл по строкам данной таблицы. Запоминается номер партии и «Момент размещения». Проверяется условие: если в соответствии уже есть запись с ключом по номеру партии, то выполняется сравнение дат – даты в переменной из цикла и даты, которая присутствует в соответствии (24). Если записей с таким номером партии нет, то записывается текущая дата из цикла.

$$\begin{cases} t_s \geq t_{MR_{mp}} \rightarrow t_s \\ t_s < t_{MR_{mp}} \rightarrow t_{MR_{mp}} \end{cases} \quad (24)$$

В итоге получается таблица соответствий для каждой партии с максимальным окончанием из всех предыдущих маршрутных карт. Таблица значений «ТОкончанияПартий» очищается.

Назначается переменная «Номер партии» и в нее записывается цифра 1. Следом идет цикл по количеству из операции, пока количество больше нуля (25). В данном цикле перед планированием операции по переменной «Номер партии» идет поиск строки с соответствующим ключом. Если такая строка существует, то текущий момент размещения партии приравнивается к найденной дате. Так происходит с каждой партией операции перед началом ее планирования на оборудовании. В дальнейшем в коде идет проверка возможности разместить текущую планируемую партию с начала полученной даты. Если график доступности оборудования не имеет свободного интервала, к которому принадлежит эта точка, выбирается следующий доступный интервал [16].

$$K_o > 0 \quad (25)$$

Таким образом, планирование маршрутных карт, зависящих от предыдущих маршрутных карт, начинается раньше и приближается к окончанию первых партий предыдущих маршрутных карт.

Обеспечение контролируемой размерности партий операций

В документе «Заказ на производство» при формировании заказа у каждой номенклатуры указывается размер партии в дополнительной колонке. Введена проверка на возможность поделить количество предполагаемого выпуска на равные партии (делится ли количество выпускаемой номенклатуры на установленный размер партии без остатка).

При формировании структуры заказа, обеспечивающей разуклобывание конечной продукции на производимые входящие детали, рассчитывается количество партий по головному изделию и дублируется на каждую входящую изготавливаемую деталь (26):

$$\begin{cases} Z_p = 0 \rightarrow Z_p = 1 \\ Z_p = 1 \rightarrow Z_p = 1 \\ Z_p = K_N / Z_p \end{cases} \quad (26)$$

При сборе данных для планирования для каждой операции рассчитывается размер партий по следующему принципу: если размер передаточной партии головного изделия равен нулю, то размер передаточной партии и операции равен количеству из операции, другими словами, количество из операции делится на частное количество из операции и размер передаточной партии головного изделия (партия запуска) (27):

$$\begin{cases} K_p = 0 \rightarrow K_p = K_N \\ K_p \neq 0 \rightarrow K_p = K_N / (\frac{K_N}{Z_p}) \end{cases} \quad (27)$$

Таким образом, осуществляется целостность выпускаемой продукции и не остается излишков или, наоборот, недостатка изделий на каждом уровне. Детали выпускаются в соответствии с потребностями, а реализованный механизм, используемый для нахождения точки начала планирования для каждой партии, в данном случае гарантирует большую достоверность. При несоблюдении количества партий может сло-

зиться ситуация, когда отличается количество партий между связанными маршрутными картами, а планирование несвязанных партий начинается с некорректной даты.

Данный алгоритм был разработан для того, чтобы использовать его при жадном алгоритме планирования, построенном на прямом и обратном механизмах. В таком алгоритме используется главный критерий – это попытка успеть в срок, равно как и сокращение сроков. Учет стоимости и оптимальности выбранных решений выполняется не корректно из-за того, что не рассматривается вариант, когда планирование отталкивается от «узких» мест. Однако, алгоритм может быть использован при решении задач многих заказчиков. Таким образом, передаточные партии в данном алгоритме позволяют сэкономить время выполнения заказа путем параллельной загрузки рабочих центров, а также обеспечивают соблюдение кратности партий между маршрутными картами внутри заказа на производство.

Одна из важных особенностей такого метода заключается в том, что параллельность выполнения передаточной партии может быть реализована только после того, как будут заполнены все свободные периоды в рамках дня у рабочего центра, выбранного первым. Существуют и ряд ограничений, таких как:

1. Партии между маршрутными картами связаны: «Последняя-Первая» и никак иначе.
2. На данный момент нет возможности указать различные размеры партий в рамках одного заказа.
3. Не предусмотрен расчет оптимального размера передаточной партии в зависимости от сложившейся ситуации на предприятии.
4. Система не может работать при малых размерах партий.

На представленных ниже рисунках 5 и 6 показан изначальный график выполнения заказа при условии, что заказ будет выполнен за 4 года без использования механизма расчета и учета передаточных партий. В заказе на производство была выбрана номенклатура под названием «УД-М111», в которую входит 655 деталей, соответственно, структура заказа будет иметь 656 маршрутных карт.

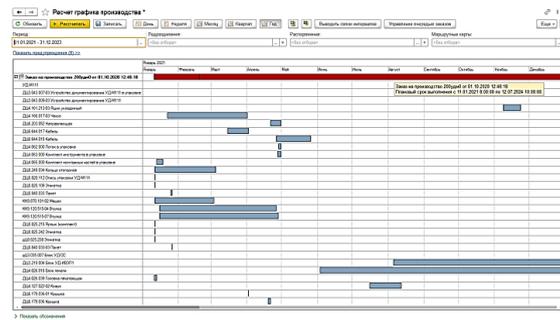


Рис. 5. График заказа на производство без передаточных партий
Fig. 5. Schedule a production order without transfer lots

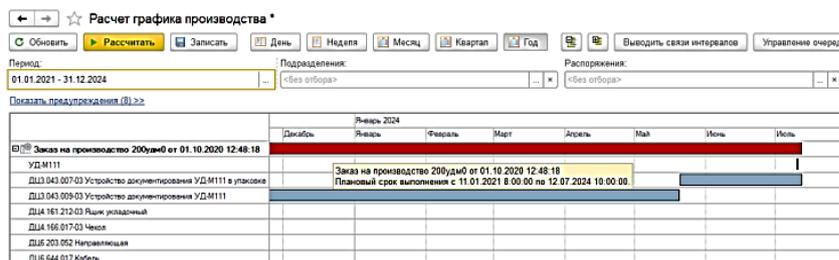


Рис. 6. Окончание графика заказа на производство без передаточных партий
Fig. 6. End of production order schedule without transfer lots

На предприятии, где производится данная номенклатура, при выполнении заказа на 200 изделий срок выполнения составляет 1 год.

Если разбить заказ на передаточные партии и установить размер партии, равный 10 издели-

ям, получим график, представленный на рисунке 7. Тогда заказ на производство будет выполнен меньше, чем за год.

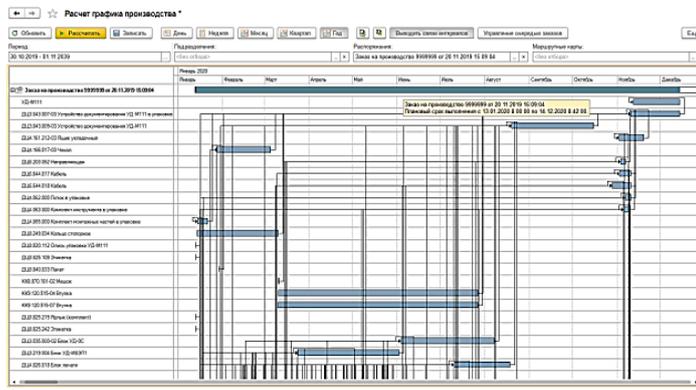


Рис. 7. График выполнения заказа с размером передаточных партий 10 штук
Fig. 7. Schedule of order fulfillment with a transfer batch size of 10 pieces

Если разбить заказ на передаточные партии и установить размер партии, равный 5 изделиям, то получим график, представленный на рисунке 8. Система не смогла спланировать заказ, так как

произошло переполнение стока встроенного языка на сервере. Это означает, что системе пришлось обрабатывать слишком много данных.

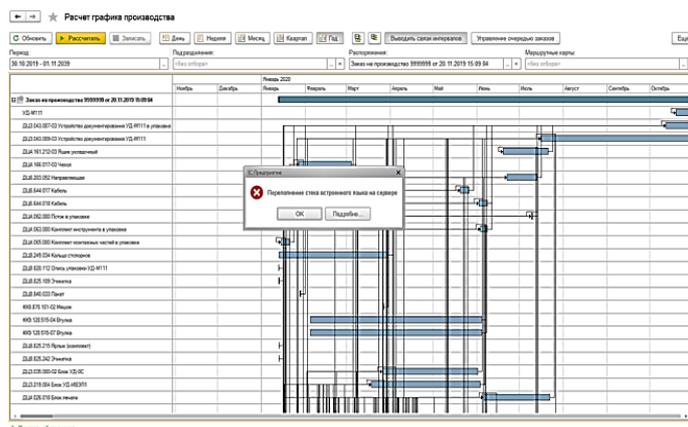


Рис. 8. График выполнения заказа с размером передаточных партий 5 штук
 Fig. 8. Schedule of order fulfillment with the size of transfer lots of 5 pieces

Если разбить заказ на передаточные партии и установить размер партии, равный 20 изделиям, то получим график, представленный на

рисунке 9. Заказ на производство будет выполнен за 9,5 месяцев.

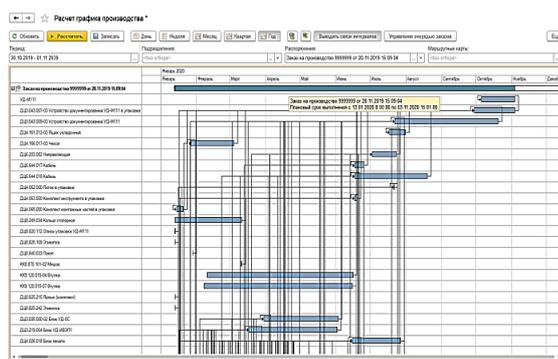


Рис. 9. График выполнения заказа с размером передаточных партий 20 штук
 Fig. 9. Schedule of order fulfillment with a transfer batch size of 20 pieces

Заключение

Таким образом, использование разработанного алгоритма передаточных партий существенно сокращает время выполнения заказа на производство 200 штук «УД-М111». Алгоритм имеет ограничение при большом количестве обрабатываемых данных и не может быть использован для партий малого размера, поэтому стоит обратить внимание на автоматический расчёт оптимального размера партии. Учитывая архитектуру алгоритма планирования, расчёт оптимального размера передаточных партий без существенной доработки алгоритма, является затруднительным.

Библиографический список

1. Организация и планирование машиностроительного производства: Учебник / Под ред.

М.И. Ипатова, В.И. Постникова, М.Н. Захаровой. – М.: Высш. шк., 1988. – 367 с.

2. Организация производства и управление предприятием: Учебник/ Туровец О.Г., Бухалков М.И., Родинов В. Б и др.; Под ред. О.Г. Туровец. – 2-е изд. – М.: ИНФРА-М, 2008. – 544 с. (Высшее образование).

3. Dong Chen, Peter B. Luh, Lakshman S. Thakur & Jack Moreno Jr (2003) Optimization-based manufacturing scheduling with multiple resources, setup requirements, and transfer lots

4. Jin, B. & Luh, Peter. (1999). An effective optimization-based algorithm for job shop scheduling with fixed-size transfer lots. 18. 284-298.

5. Gema Calleja & Rafael Pastor (2014) A dispatching algorithm for flexible job-shop scheduling with transfer batches: an industrial application, Production Planning & Control

6. Hemant V. Kher, Manoj K. Malhotra & Daniel C. Steele (2000) The effect of push and pull lot splitting approaches on lot traceability and material handling costs in stochastic flow shop environments, *International Journal of Production Research*
7. Nuno O. Fernandes, Matthias Thürer, Mark Stevenson & Silvio Carmo-Silva (2020) Lot synchronization in make-to-order shops with order release control: an assessment by simulation, *International Journal of Production Research*
8. M. Cheng, N.J. Mukherjee & S.C. Sarin (2013) A review of lot streaming, *International Journal of Production Research*
9. Фазылов В.Р. Простейшая задача выбора размеров передаточных партий / Р.Н. Булатов, В.Р. Фазылов, И.М. Хасаншин // Исслед. по прикл. матем. Казань: изд-во Казан. ун-та, 1984. Вып. 11. Ч. 1. С. 53-62.
10. Родионова В.Н., Туровец О.Г. Организация производства и управление предприятием: Учеб. пособие. – М.: Издательство РИОР, 2005. – 128 с.
11. M. Shukla, N. Shukla, M. K. Tiwari, F. T. S. Chan. (2009) Integrated model for the batch-sequencing problem in a multi-stage supply chain: an artificial immune system based approach. *International Journal of Production Research* 47:4, pages 1015-1037
12. Blackstone, J. H., D. T. Phillips, and G. L. Hogg. 1982. "A State-of-the-Art Survey of Dispatching Rules for Manufacturing Job Shop Operations." *International Journal of Production Research* 20(1): 27–45.
13. Çetinkaya, J. C. 2006. "Unit sized Transfer Batch Scheduling in an Automated Two-Machine Flow-Line Cell with One Transport Agent." *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 29(1–2): 178–183.
14. Chen, J. C., K. H. Chen, J. J. Wu, and C. W. Chen. 2008. "A Study of the Flexible Job Shop Scheduling Problem with Parallel Machines and Reentrant Process." *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 39(3–4): 344–354.
15. Holthaus, O., and C. Rajendran. 2000. "Efficient Jobshop Dispatching Rules: Further Developments." *Production Planning and Control* 11(2): 171–178.
16. Lars, M., and J. Zimmermann. 2011. "A Computational Study of a Shifting Bottleneck Heuristic for Multi-Product Complex Job Shops." *Production Planning and Control* 22(1): 25–40.

Поступила в редакцию – 01 сентября 2020 г.

Принята в печать – 07 сентября 2020 г.

Bibliography

1. Organization and planning of mechanical engineering production: Textbook / Edited by M.I. Ipatova, V.I. Postnikova, M.N. Zakharova. Moscow: graduate School 1988, 367.
2. Organization of production and enterprise management: Textbook / Turovets OG, Bukhalkov MI, Rodinov VB and others; Edited by O.G. Turovets. Moscow: INFRA-M 2008, (2), 544.
3. Dong Chen, Peter B. Luh, Lakshman S. Thakur & Jack Moreno Jr (2003) Optimization-based manufacturing scheduling with multiple resources, setup requirements, and transfer lots
4. Jin, B. & Luh, Peter. (1999). An effective optimization-based algorithm for job shop scheduling with fixed-size transfer lots. 18. 284-298.
5. Gema Calleja & Rafael Pastor (2014) A dispatching algorithm for flexible job-shop scheduling with transfer batches: an industrial application, *Production Planning & Control*
6. Hemant V. Kher, Manoj K. Malhotra & Daniel C. Steele (2000) The effect of push and pull lot splitting approaches on lot traceability and material handling costs in stochastic flow shop environments, *International Journal of Production Research*
7. Nuno O. Fernandes, Matthias Thürer, Mark Stevenson & Silvio Carmo-Silva (2020) Lot synchronization in make-to-order shops with order release control: an assessment by simulation, *International Journal of Production Research*
8. M. Cheng, N.J. Mukherjee & S.C. Sarin (2013) A review of lot streaming, *International Journal of Production Research*

9. Fazylov V.R. (1984) The simplest task of choosing the sizes of transfer lots / R.N. Bulatov, V.R. Fazylov, I.M. Khasanshin // Is-trace. by app. mat. Kazan: Kazan publishing house. un-that. 11, (1), 53-62.
10. Rodionova V.N., Turovets O.G. (2005) Organization of production and enterprise management: Textbook. allowance. - Moscow: Publishing house RIOR, 128.
11. M. Shukla, N. Shukla, M. K. Tiwari, F. T. S. Chan. (2009) Integrated model for the batch sequencing problem in a multi-stage supply chain: an artificial immune system based approach. International Journal of Production Re-search 47:4, pages 1015-1037
12. Blackstone, J. H., D. T. Phillips, and G. L. Hogg. 1982. "A State-of-the-Art Survey of Dispatching Rules for Manufacturing Job Shop Operations." International Journal of Production Research 20(1): 27-45.
13. Çetinkaya, J. C. 2006. "Unit sized Transfer Batch Scheduling in an Automated Two-Machine Flow-Line Cell with One Transport Agent." International Journal of Advanced Manufacturing Technology 29(1-2): 178-183.
14. Chen, J. C., K. H. Chen, J. J. Wu, and C. W. Chen. 2008. "A Study of the Flexible Job Shop Scheduling Problem with Parallel Machines and Reentrant Process." International Journal of Advanced Manufacturing Technology 39(3-4): 344-354.
15. Holthaus, O., and C. Rajendran. 2000. "Efficient Jobshop Dispatching Rules: Further Developments." Production Planning and Control 11(2): 171-178.
16. Lars, M., and J. Zimmermann. 2011. "A Computational Study of a Shifting Bottleneck Heuristic for Multi-Product Complex Job Shops." Production Planning and Control 22(1): 25-40.

Received – 01 September 2020

Accepted for publication – 07 September 2020