

С.В. Таран

Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск,
кафедра компьютерных информационных технологий
E-mail: taransveta@yandex.ru

КОМПЛЕКСНАЯ МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ ПЛАНА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ РАБОТ ДЛЯ ЦЕХА ЕДИНИЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Аннотация

Таран С.В. Комплексная модель оптимизации план производственных работ для цеха единичного производства. Изучены сложности составления оптимальных планов. Выделены параметры назначения оборудования для обработки детали. Предложена комплексная многослойная модель оптимизации графика выполнения производственных работ по критерию минимального времени изготовления деталей с учетом случайных факторов. На основе использования конечного автомата выполняется поиск цепочки обработки детали по критерию наименьшей стоимости.

Ключевые слова: оперативное планирование, машиностроение, загрузка оборудования, маршрут обработки, модель оптимизации.

Общая постановка проблемы.

На машиностроительном предприятии планирование работы механического цеха имеет большую важность, т.к. оптимальная загрузка оборудования непосредственно связана с повышением эффективности производственного процесса. Как правило, задача оперативного и объемного планирования решается путем рассмотрения следующих вопросов [1, 2]:

- распределение деталей по оборудованию с учетом данных технологических процессов (ТП);
- определение порядка запуска деталей в обработку согласно директивным срокам, т.е. момент готовности детали должен быть не позже, чем указанный в плане.

Разнообразие в номенклатуре продукции в цехах с единичным типом производства, часто изменяющейся и не повторяющейся, усложняет оперативное планирование, контроль и регулирование производственного процесса. В производственной практике возникают ситуации, когда оборудование, необходимое для обработки детали, выходит из строя. В этом случае необходимо оперативно принимать решение либо о приостановке обработки детали, что может привести к несоблюдению директивного срока, либо о поиске другого подходящего оборудования, что не предусмотрено производственным планом, а, следовательно, приводит к непроизводительным затратам времени.

Традиционным решением этой проблемы является поиск близких к оптимальному расписаний работы оборудования за счет использования эвристических приоритетных правил, алгоритмов решения с помощью линейного целочисленного и динамического программирования [3-5]. Однако эти подходы не позволяют в полной мере учесть влияние стохастических факторов на производственный процесс.

Цель статьи и постановка задачи исследования.

Целью работы является разработка комплексной модели, позволяющей оптимизировать производственный процесс в цехе единичного производства на основе параллельно решаемых задач распределения деталей по оборудованию и определения порядка запуска деталей в обработку с учетом влияния стохастических факторов.

Достижение поставленной цели обеспечивается решением следующих задач:

1. Разработка математической модели для распределения и упорядочения деталей по оборудованию в цехе единичного производства с учетом отказов станков.

2. Разработка алгоритма для формирования оперативного плана реализации производственной программы цеха, который обеспечивает оптимальную загрузку рабочих мест в течение суток.

3. Разработка программного средства, которое реализует предложенную математическую модель для решения задачи планирования работы оборудования в цехе с учетом особенностей производственного процесса изготовления единичных изделий.

Основное содержание.

Задача назначения оборудования относится к структурной оптимизации, параметрами которой являются допустимые модели станков. Назначение станка может зависеть от следующих характеристик процесса обработки:

- параметры заготовки (материал, форма, габаритные размеры, вес);
- схема установки заготовки, тип крепления заготовки на станке;
- точность и качество обрабатываемой поверхности;
- мощность главного привода станка;
- себестоимость обработки за единицу времени выполняемой операции, которая зависит от вида операции, разряда закрепленного станочника, вида заготовки (например, «дешевая» заготовка – круглый прокат даст дорогую механическую обработку, «дорогая» заготовка – штамповка обеспечит дешевую механическую обработку);
- надежность станка, которая характеризуется значением наработки на отказ.

Условия применимости (УП) станков для выполнения операций по обработке детали могут быть сформулированы на основе их паспортных данных в виде:

$$УП = \begin{cases} D_d \leq D_{s \max} , \\ H_d \leq H_{s \max} , \\ L_d \leq L_{s \max} , \\ ms \leq ms_{\max} , \end{cases} \quad (1)$$

где D_d – диаметр обрабатываемой детали, $D_{s \max}$ – максимально возможный диаметр обрабатываемых поверхностей, H_d – высота детали, $H_{s \max}$ – максимальная высота устанавливаемой заготовки, L_d – длина обрабатываемой детали; $L_{s \max}$ – наибольшая допустимая длина заготовок, ms – масса детали, ms_{\max} – максимально допустимая масса обрабатываемой заготовки.

В соответствии с условием (1) для каждой детали можно получить множество допустимого оборудования. При этом возможны ситуации, когда одна и та же технологическая операция может быть выполнена на различном оборудовании. В этом случае при моделировании загрузки оборудования необходимо обеспечить рациональный выбор станка, для чего могут быть использованы условия вида:

$$\min_k \left(\frac{L_{s \max k}}{L_{di}} ; \frac{H_{s \max k}}{H_{di}} \right) \text{ (призматическая деталь) } \mid \frac{H_{s \max k}}{D_{di}} \text{ (тело вращения) ; } \frac{ms_{\max k}}{ms_i} \text{ ,} \quad (2)$$

где K – множество станков, $\{k = \overline{1, n}\}$, $k \in K$, I – множество деталей, $\{i = \overline{1, m}\}$, $i \in I$.

Маршрут изготовления детали определяется технологическим процессом на основании технических требований чертежей заготовки и детали, начиная с выбора метода обработки, который должен обеспечить заданную точность и требуемое состояние поверхности. При этом возможно несколько видов обработки, в результате применения

которых могут быть получены одинаковые технологические показатели. Количество вариантов маршрутов обработки детали может быть большим (рис. 1), при этом они будут различными по времени изготовления детали, себестоимости и другим параметрам.

Возможные варианты обработки деталей на станках могут быть формализованы в виде грамматики [6], правила которой позволяют генерировать различные маршруты обработки детали. Например, для детали, граф обработки которой представленный на рис. 1, может быть определена грамматика вида:

$$G = (VT, VN, P, S), \tag{3}$$

где $VT = \{a, b, c, d, e, f, g, h, i, k, m, n, o, p, r, s, t, y\}$ – множество терминальных символов (операции обработки), $VN = \{N, A, B, C, D, E, F, H, I, K\}$ – множество нетерминальных символов (состояний, модели возможных станков), $P = \{N \rightarrow aA|bB; A \rightarrow cC|eD|gE; B \rightarrow dC|fD|hE; C \rightarrow iF|nH|rI; D \rightarrow kF|oH|sI; E \rightarrow mF|pH|tI, F \rightarrow yK; H \rightarrow yK; I \rightarrow yK; K \rightarrow \varepsilon\}$ – множество правил, $S = \{N\}$ – начальное состояние.

Известно, что грамматика (3) является автоматной [6], т.е. выведенные из нее цепочки терминалов могут быть распознаны конечным автоматом (КА) (рис. 2). Для учета параметров производственного процесса (ПП) КА может быть нагружен дополнительной информацией, характеризующей особенности обработки детали на имеющемся оборудовании (стоимость обработки, подготовительно-заключительное время, время установки/снятия, закрепления/открепления детали, время транспортировки и др.).

Для учета всех параметров производственного процесса в ячейке каждого слоя может задаваться значение некоторого интегрального критерия $K' = \min\{K_1, K_2\}$ (например, для определения минимальной себестоимости выполнения операции или минимальных затрат транспортировки детали с одного станка на другой). Например, можно указать стоимость выполнения j -той операции i -той детали на k -том станке – st_{jk}^i .

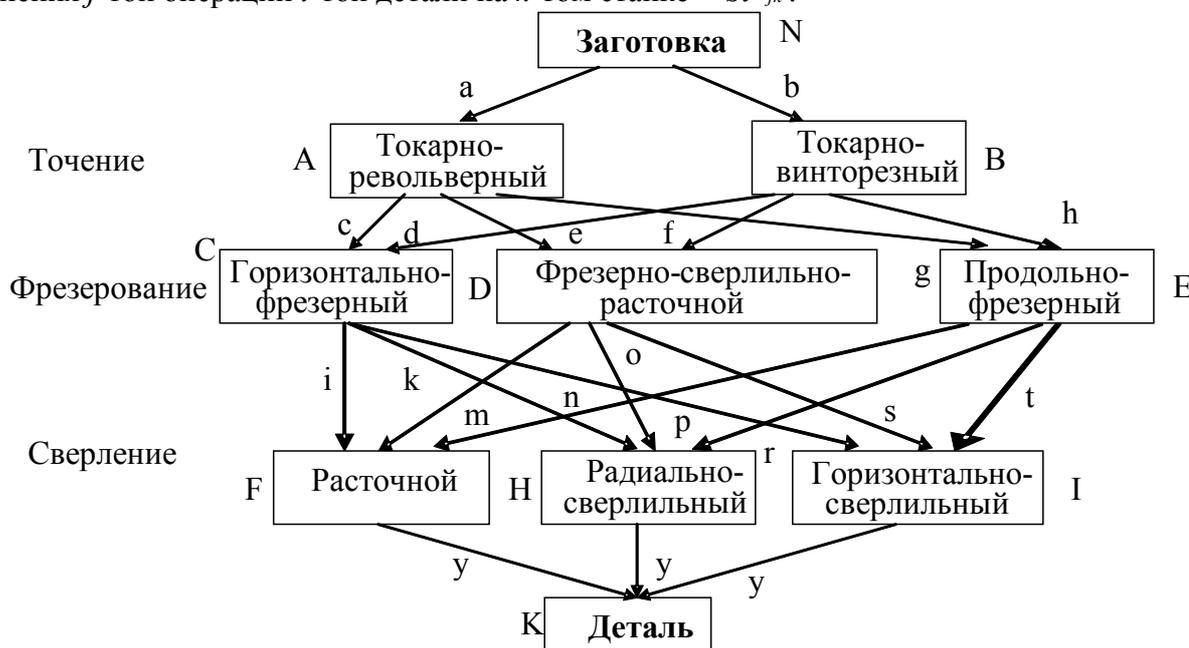


Рисунок 1 – Граф возможной обработки детали на нескольких станках

Таким образом, возможные маршруты обработки детали могут быть определены в виде автоматной модели.

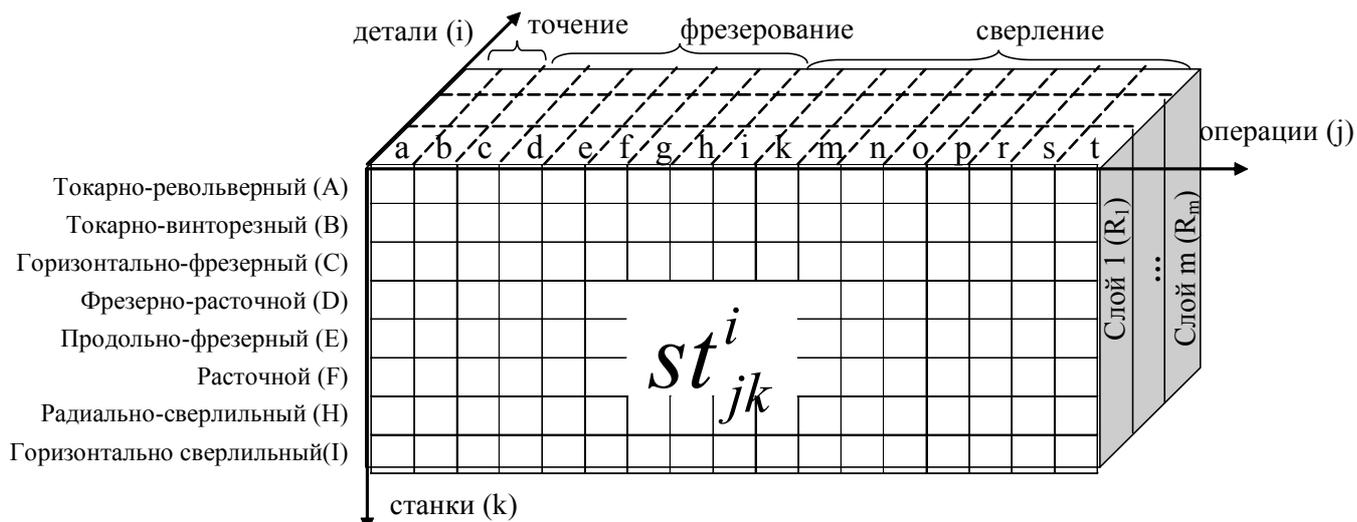


Рисунок 2 – Многослойная модель производственного процесса механического цеха

В случае обработки нескольких деталей на одном множестве станков модель ПП можно представить в виде многослойного КА (см. рис.2), где каждый слой определяет маршруты обработки соответствующей детали и характеризуется рангом (приоритетом) R_i , который определяет порядок запуска цепочек для анализа.

Для определения готовности оборудования к работе введем понятие состояния работоспособности станка Sr_k в виде:

$$Sr_k^t = \begin{cases} 0, & \text{свободен} \\ 1, & \text{занят} \\ E, & \text{на ремонте} \end{cases}, \quad (4)$$

где $t = C_{ik}$ (C_{ik} – момент окончания обработки i -той детали на k -том станке).

Введение в модель понятия текущего состояния оборудования позволяет дополнительно учитывать действие случайных факторов, влияющих на ПП. В этом случае в выражение (4) необходимо ввести функцию вида:

$$Sr_k = f_k(t), \quad (5)$$

где $f_k(t)$ – стохастическое распределение, определяющее, например, наработку на отказ k -го станка.

В процессе анализа цепочек деталь наиболее приоритетного слоя занимает свободный станок из одной группы с минимальным значением st_{jk}^i . Например, если в ячейках КА заданы значения стоимости обработки детали, то определяется оптимальное значение минимизирующее себестоимость обработки. При этом состояние станка, обработка на котором приводит к полученному оптимуму, инвертируется и он исключается из множества свободных станков. Аналогичные действия повторяются для остальных слоев (деталей) с учетом их ранга. Моделирование ПП ведется в дискретном потоке времени, т.е. после окончания обработки детали на k -том станке в момент времени C_{ik} его состояние инвертируется повторно, после чего повторяется процесс распределения деталей по станкам.

Для получения оптимального плана необходимо сформулировать функцию минимизации момента окончания обработки последней операции последней детали, которую можно представить в виде:

$$\min[\max_i(C_{iq})], q \in K, i = \overline{1, m},$$

$$C_{iq} = \sum_{k=1}^q p_{ik} + \sum_{k=1}^q ((C_{ik} - p_{ik}) - C_{ik-1}). \tag{6}$$

где C_{iq} – момент окончания обработки i -той детали на q -том станке, который выполняет последнюю операцию, p_{ik} – длительность обработки i -той детали на k -том станке согласно ТП.

Результирующее время производственного цикла изготовления всех деталей зависит от распределения рангов для слоев модели, поэтому для определения оптимального запуска деталей в производство необходимо найти такое распределение, которое приведет к минимуму функции (6). На рис. 3 приведен алгоритм

Приоритет детали может задаваться на основе информации о незавершенных операциях предыдущего периода планирования, либо определяться на основе сортировки возможного момента начала обработки деталей M по следующему условию:

$$M_a \ll M_b, \quad a = \overline{1, n}, b = \overline{1, n}, a \neq b.$$

$$M_i = T^{nl} - \sum_j^g p_{ij}, \{j = \overline{1, g}\}, j \in J;$$

где T^{nl} – плановое время окончания выполнения цехового заказа, p_{ij} – длительность выполнения j -той операции i -той детали.

Полученное расписание представляет собой таблицу с данными о времени начала и окончания выполнения каждой операции детали с указанием номера станка.

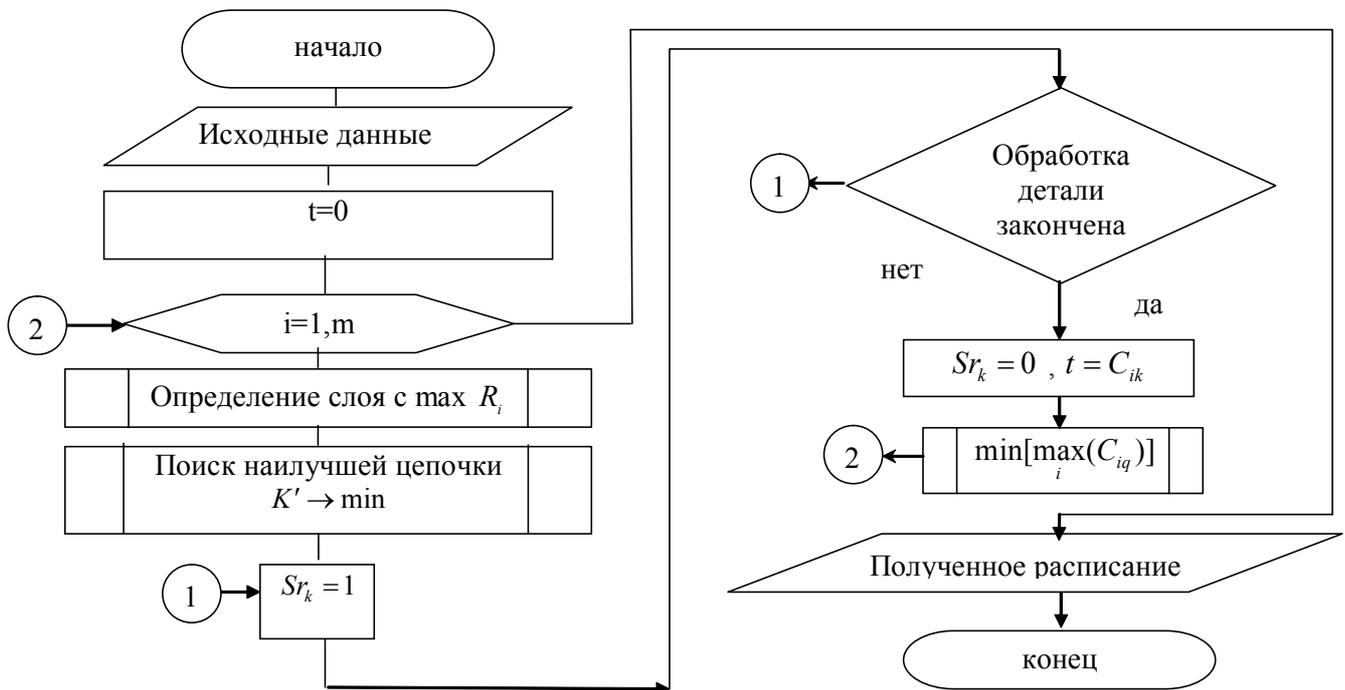


Рисунок 3 – Алгоритм поиска оптимального расписания производственных работ

Разработано программное средство, которое позволяет находить оптимальную последовательность обработки деталей на имеющем оборудовании с учетом стоимости обработки на основе разряда выполняемых операций. В таблице 1 приведены исходные данные, для которых был составлен график обработки на сутки.

Таблица 1 – Данные по обработке деталей

Операция	Длительность операций (p_{ij}), мин / разряд работ (Ro_{ij})						
	Вал	Муфта	Шестерня	Ось	Колесо	Винт	Ролик
Растачивание	180/4	–	200/3	–	130/4	–	80/4
Точение	210/5	210/3	330/4	150/4	–	120/5	110/5
Сверление	–	240/3	120/4	–	70/3	60/4	–
Фрезерование	320/3	265/5	280/5	170/4	140/3	–	–
Шлифование	280/4	280/5	270/5	220/5	230/4	–	–

Обработка деталей может выполняться на 11 единицах оборудования:

- 2 расточных станка, №№1-2 (выполняющие соответственно работы 3-го и 4-го разряда);
- 3 токарных станка, №№3-5 (выполняющие соответственно работы 3-го, 4-го и 5-го разряда);
- 1 сверлильный станок, №6 (выполняющий работы 4-го разряда);
- 3 фрезерных станка, №№7-9 (выполняющие соответственно работы 3-го, 4-го и 5-го разряда);
- 2 шлифовальных, №№10-11 (выполняющие соответственно работы 4-го и 5-го разряда).

Оптимальный план обработки для указанных деталей представлен на рис. 4. Основная загрузка оборудования выполняется в первую смену. Для разработки программы использовалась среда Delphi. График представлен с помощью компонента DVChart, тип Gantt.

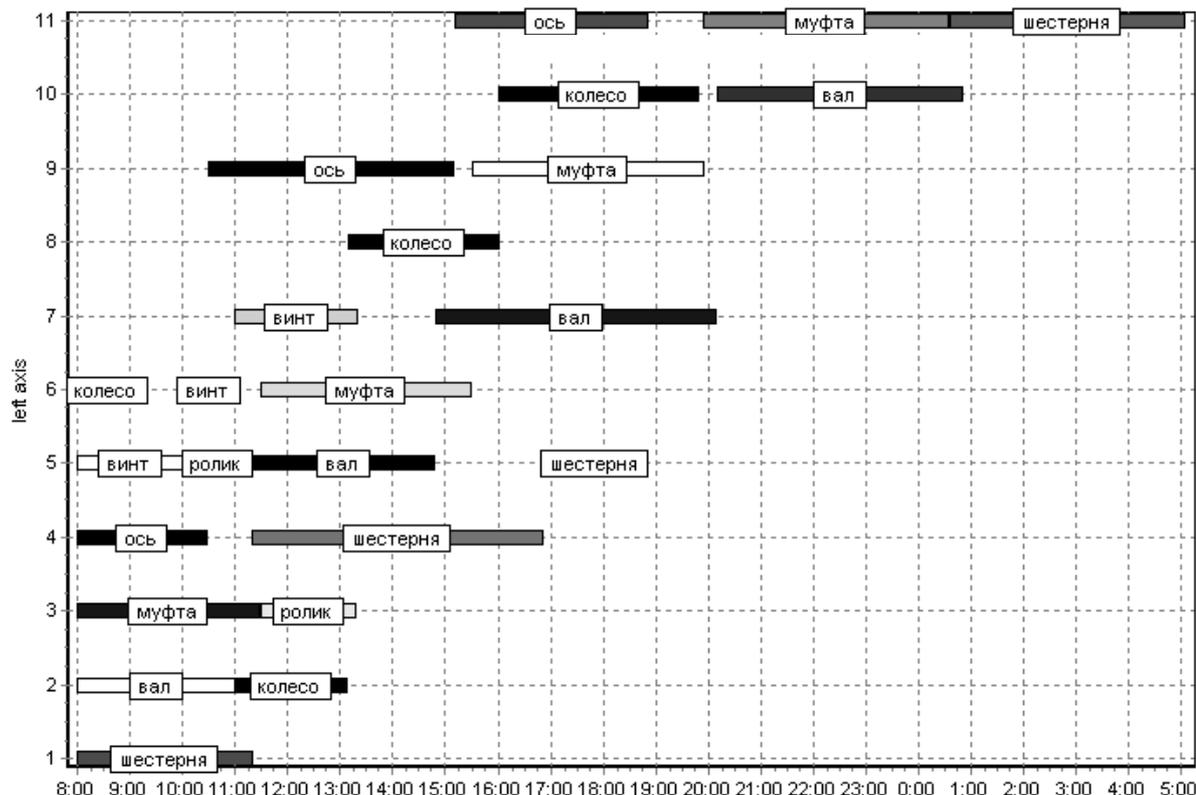


Рисунок 4 – График обработки деталей на сутки в виде диаграммы Гантта на основе рассчитанного плана изготовления 7 деталей на 11 станках

Выводы.

1 Анализ существующих подходов к составлению оперативных планов показал, что традиционные методики планирования работ в цехе не позволяют учитывать влияние стохастических факторов, действующих на ПП.

2 Предложена комплексная модель ПП в виде многослойного автомата переменной структуры, которая позволяет оптимизировать процесс запуска деталей по выбранному набору критериев, выполнять планирование в условиях совместного действия детерминированных и стохастических факторов

Литература

1. Тюленев Л.В. Организация и планирование машиностроительного производства [учебное пособие] / Тюленев Л.В. –СПб.: Бизнес-пресса, 2001. – 304 с.
2. Таран С.В. Модель оптимальной загрузки оборудования в единичном производстве/ С.В. Таран // Вестник Донбасской государственной машиностроительной академии. – Краматорськ, 2008. – №3Е(14). – С. 155-159
3. Єфіменко Н.А. Моделі та алгоритми автоматизованого оперативного номенклатурно-календарного планування дискретних виробництв: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.13.06 «Автоматиз. системи упр. та прогрес. інформ. технології»/ Н.А. Єфіменко.– Черкаси, 2004. — 19 с.
4. Кухаренко С.В. Методи, моделі і алгоритми оптимізації автоматизованого планування і управління промисловим виробництвом: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.13.06 «Автоматиз. системи упр. та прогрес. інформ. технології»/ С.В. Кухаренко.– Херсон, 2005. — 20 с.

Abstract

Taran S.V. Complex model of optimization of plan of production works for workshop of single production. Complications of drafting of optimum plans are studied. The parameters of setting of equipment for treatment of detail are selected. The complex multi-layered model of optimization graphic arts of implementation production works on the criterion of minimum time making of details is offered taking into account casual factors. On the basis of the use of eventual automat the search of chainlet of treatment of detail is executed on the measure of the least value.

Keywords: operative planning, mashine-bilding, load of equipment, route of treatment, model of optimization.

Анотація

Таран С.В. Комплексна модель оптимізації плану виробничих робіт для цеху одиничного виробництва. Вивчено складнощі складання оптимальних планів. Визначено параметри призначення устаткування для обробки деталі. Запропонована комплексна багатопшарова модель оптимізації графіка виконання виробничих робіт по критерію мінімального часу виготовлення деталей з врахуванням впливу випадкових чинників. На основі використання кінцевого автомата виконується пошук ланцюжка обробки деталі по критерію найменшої вартості.

Ключові слова: оперативне планування, машинобудування, завантаження устаткування, маршрут обробки, модель оптимізації.

Здано в редакцію:
20.01.10р.

Рекомендовано до друку:
д.т.н, проф. Скобцов Ю. О.