

КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ

На правах рукопису

УДК 658.012.011:519.8

МИХАЙЛОВ Володимир Волевич

**АЛГОРИТМІЧНЕ ТА ПРОГРАМНЕ
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ
СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ДИСКРЕТНИМ
ВИРОБНИЦТВОМ ЗМІШАНОГО ТИПУ**

**Спеціальність 05.13.06 — «Автоматизовані
системи управління»**

**АВТОРЕФЕРАТ ДИСЕРТАЦІЇ
на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук**

Київ — 1994



00778837 (1)

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано на кафедрі автоматизованих систем обробки інформації і управління Київського політехнічного інституту.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Павлов О. А.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Михайленко В. М.,
кандидат технічних наук
Остапченко К. Б.

Провідна організація: Харківський інститут
радіоелектроніки

Захист відбудеться « 31 » травня 1994 р. о 15

годині на засіданні спеціалізованої Ради Д 068.14.07 при Київському політехнічному інституті за адресою: 252056, м. Київ, проспект Перемоги, 37, актовий зал головного корпусу.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Київського політехнічного інституту.

Автореферат розіслано « 15 » 09 1994 р.

Учений секретар
спеціалізованої Ради,
доктор технічних наук

РОМАНЕНКО В. Д.

АНОТАЦІЯ

Метою дисертаційної роботи є створення комплексу узгоджених моделей оперативного-виробничого планування та управління виробництвом для машинобудівного підприємства змішаного серійного та дрібносерійного типу виробництва в умовах переходу до ринкової економіки і розробка ефективних алгоритмів вирішення, виникаючих при управлінні виробництвом, задач впорядкування реальної розмірності.

Для досягнення поставленої мети в дисертаційній роботі вирішено наступні задачі:

проведено дослідження складаючої технології планування та організаційної моделі оперативного-виробничого планування і управління в умовах переходу до ринкової економіки на підприємствах змішаного серійного та дрібносерійного типу виробництва та середньою довжиною циклу виготовлення продукції, виконано аналіз та показано неможливість використання "типових" систем та сформульовані вимоги до моделей та алгоритмів оперативного-виробничого планування і управління для розглядаємого типу підприємств у сучасних умовах;

розроблено комплекс моделей подетального планування та комплектного обліку виробничого процесу на міжцеховому рівні;

розроблено узгоджені з міжцеховим рівнем моделі та процедури внутрішньоцехового управління дільничними механо-заготівельних та складальних цехів;

розроблено, теоретично та експериментально обґрунтовано ефективний алгоритм вирішення задачі мінімізації сумарного зваженого моменту закінчення виконання множини завдань з різними директивними строками одним приладом;

виконана реалізація розроблених моделей та алгоритмів у складі алгоритмічного та програмного забезпечення автоматизованої системи управління основним виробництвом машинобудівельного підприємства з змішаним серійним та дрібносерійним типом виробництва.

Автор захищає:

дослідження особливостей характеру виробництва, технології планування та зміни організаційної моделі оперативного-виробничого планування і управління на підприємствах з змішаним багатонаменклатурним серійним та дрібносерійним типом виробництва і середньою довжиною циклу виготовлення виробів в умовах переходу

до ринкової економіки;

комплекс взаємозв'язаних моделей оперативного-виробничого планування і управління міжцехового рівня (модель подетального наскрізного планування та обліку виробничого процесу по всім підрозділам технологічного маршруту на коротких диференційованих планових інтервалах, модель комплектного обліку виготовлення виробів у виробничих підрозділах);

модель та процедура внутрішньоцехового оперативного управління дільницями механо-заготівельного цеху по критерію мінімізації сумарного розбігу виробничого процесу на дільниці з міжцеховими календарно - плановими нормативами та критерію мінімізації максимального відхилення завантаження груп робочих місць по коротким плановим інтервалам, модель та процедура оперативного планування та управління механо - складальним цехом по критерію мінімізації сумарного часу знаходження усіх виробів на дільниці кінцевої зборки;

алгоритми вирішення та теоретичне дослідження задач мінімізації сумарного зваженого моменту завершення виконання множини завдань з різними директивними строками одним приладом (умови ефективних перестановок та встроювань, умови відсічей, якісне обґрунтування алгоритму);

програмну реалізацію розроблених моделей і алгоритмів у складі автоматизованої системи оперативного управління основним виробництвом машинобудівного підприємства.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Перехід економіки від адміністративно - командного управління до ринкових відносин кардинально змінює мотиви та характер поведінки суб'єктів господарської діяльності. В першу чергу, це відноситься до великих та середніх промислових підприємств. Вимоги ринку примушують значно підвищити мобільність виробництва, постійно оновлювати та розширяти номенклатуру виробляємої продукції, у найкоротші строки задовільняти замовлення споживачів, скоротчувати витрати виробництва та знижувати собівартість виробляємої продукції. Перераховані причини призводять до необхідності зміни традиційних способів та методів оперативного-виробничого планування і управління виробництвом.

Методи досліджень. Для вирішення поставлених задач у роботі використано методи та положення системного аналізу та комбінаторні методи досліджень задач теорії розкладу.

Наукова новизна. В дисертації розроблено та обґрунтовано комплекс угоджених моделей та процедур автоматизованого міжцехового та внутрішньоцехового оперативного-виробничого планування та управління для підприємства з конкретним типом виробництва - змішаним серійним та дрібносерійним багатомоделюваним виробництвом з середнім циклом виготовлення продукції. Досліджено класичну NP-трудну задачу теорії розкладу - мінімізація сумарного взваженого моменту закінчення виконання множини завдань з різними директивними строками одним приладом. Розроблено і якісно обґрунтовано ефективний алгоритм вирішення даної задачі.

Практична цінність результатів які одержано в дисертаційній роботі складається в тому, що розроблені моделі, процедури та алгоритми вирішення задач оперативного-виробничого планування і управління покладено в основу алгоритмічного забезпечення розробленої автоматизованої системи оперативного управління основним виробництвом (АС ОУОС) для машинобудівного підприємства. Дана автоматизована система знаходиться в промисловій експлуатації на 45-му механічному заводі (м. Вінниця).

Реалізація результатів роботи виконувалась у рамках наступних договорів: "Разработка универсальных программных средств в рамках АСУ ГПС с ГАУ механообработки" та "Разработка пакета прикладных программ "АСУ Цех-Сборка" між кафедрою АСУВ КПІ та СКБ ММС Інституту Кібернетики АН УРСР ім.В.М.Глушкова, частковий економічний ефект від впровадження основних результатів роботи 84 тис. крб. у цінах 1990 року; "Разработка автоматизированной системы оперативного управления основным производством (I и II очередь)" між кафедрою АСУВ КПІ та 45-м механічним заводом м. Вінниця, частковий економічний ефект 7,9 млн. крб. у цінах грудня 1992 року.

Апробація результатів роботи. Основні положення дисертації та робота в цілому були докладені на III польсько-радянській науково-технічній конференції "Комплексная автоматизация промышленности" (м. Вроцлав, Республіка Польща, 1989 р.), на IV Міжреспубліканській конференції "Актуальные проблемы разработки автоматизированных систем управления" (КПІ, Київ, 1990 р.), на Міжнародній конференції "Гибкая автоматизация '90" (м. Брєтислава, ЧСФР, 1990 р.), на наукових семінарах кафедри АСУВ Київського політехнічного інституту "Методи оптимізації і проблеми побудови АСУ" (Київ 1990, 1993, 1994 рр.).

Публікації. Основні результати, які викладені в дисертації,

відображено в дев'яти друкованих роботах.

Структура і обсяг роботи. Дисертаційна робота складається з вступу, чотирьох глав, висновку, переліку основної літератури з 116 найменувань і 1 додатку. Основний зміст роботи викладено на 168 сторінках машинописного тексту і вміщує 3 таблиці.

В першому розділі визначені основні характеристики змішаного багатомономенклатурного серійного та дрібносерійного типу виробництва з середньою довжиною циклу виготовлення виробів, описано технологію планування та змінення організаційної моделі оперативно-виробничого планування та управління на підприємствах в умовах переходу до ринкової економіки, сформульовані вимоги до моделей систем міжцехового та внутрішньоцехового оперативно-виробничого планування та управління для розглянутого типу виробництва в сучасних умовах. Сформульовано та обгрунтовано задачі досліджень. В другому розділі запропоновано комплекс узгоджених моделей та процедур оперативно-виробничого планування та управління, що охоплює міжцеховий та внутрішньоцеховий рівні управління. Показано переваги розробленого комплексу моделей, у зрівнянні з традиційними типовими системами, для розглянутого типу виробництва в умовах переходу до ринкової економіки. В третьому розділі проведено дослідження класичної NP-трудної задачі теорії розкладу - мінімізації сумарного вваженого моменту закінчення виконання множини завдань з різними директивними строками одним приладом. На основі ряду затверджень розроблено та якісно обгрунтовано ефективний алгоритм рішення даної задачі, проведено його експериментальне дослідження та порівняння отриманих умовно-оптимальних розкладів з оптимальними (для малих розмірів), та з розкладами отриманими алгоритмом Шилда-Фідмана (для великих розмірів задачі). В четвертому розділі розглянуто питання практичного використання результатів роботи, наведено загальний опис автоматизованої системи оперативного управління основним виробництвом машинобудівельного підприємства.

ЗМІСТ РОБОТИ

На етапі переходу до ринкової економіки традиційна організаційна модель оперативно-виробничого планування та управління на промисловому підприємстві (що включає стадії формування виробничої програми на рік, розподіл по кварталам та місяцям, міжцехове місячне планування та внутрішньоцехове кален-

дарне планування) значно змінюється. Деякі з причин, що викликали ці зміни, слідуєчі: різко зросла самостійність підприємств, зниження концентрації виробництв та розділення підприємств на більш дрібні самостійні одиниці; різке зниження розміру держзамовлення; більша частина виробничої програми формується на основі прямих договорів з зазначенням конкретних термінів постачання, об'єма та номенклатури продукції; договори на постачання укладаються безперервно на протязі року та строк від укладання договору до моменту постачання мінімальний; тенденція до випуску різномірної продукції, що має технологічну схожість, до розширення номенклатури випускаємої продукції в зв'язку з змінюючимися ринками збуту, необхідністю більш повно урахувувати запити користувачів і, як наслідок, зниження серійності виготовляємої продукції; різке зменшення величини обігових коштів, що примушує відмовитись від створення великих запасів та знижувати об'єм незавершеного виробництва; структурна перебудова економіки та міграція робочої сили з промисловості в інші сфери.

У зв'язку з вказаними причинами зміниться як організаційна модель, так і технологія планування, що тягне зміну організації виробництва на ряді промислових підприємств, переважна більшість яких, при командно-адміністративній системі, мали серійний або масовий тип виробництва. Одним з найбільш розповсюджених в машинобудуванні стає тип виробництва, який характеризується слідуєчими особливостями:

велика номенклатура виробляємої продукції (більш 100 найменувань виробів), переважання складних в конструкторському плані виробів (понад 1000 деталей), значна частка продукції має конструкторсько-технологічну схожість, що призводить до високої питомої ваги уніфікованих та стандартизованих деталей та вузлів; по більшості випускаємих виробів технологічний цикл виготовлення складає 0,5 - 1,5 місяця (середня тривалість);

загальна кількість різних деталей та вузлів на підприємстві перевищує 10000 найменувань, більшість деталей проходить по технологічному маршруту 2-3 цехи;

випуск продукції здійснюється різними по розміру партіями з нерегулярною циклічністю (від одиничних виробів до регулярного випуску), тобто на верхньому рівні планування присутні різні типи виробництва;

наявність цехів та дільниць предметної, технологічної та змішаної спеціалізації, з серійним та дрібносерійним характером

виробництва;

неперервність формування виробничої програми на протязі місяця та кварталу, при включенні виробів у виробничу програму домовляється, як правило, мінімальний термін їх випуску.

Надалі розглянутий тип виробництва називається багатонаменклатурним змішаним серійним та дрібносерійним типом виробництва з середньою довжиною циклу виготовлення виробів.

Аналіз найбільш розповсюджених "типових" моделей планування виявив ряд недоліків для застосування їх на підприємствах з даним типом виробництва у сучасних умовах. Аналіз моделей та схем внутрішньоцехового оперативно-виробничого планування та управління показав необхідність розробки моделей динамічно погоджених з моделями міжцехового рівня. Складність реальних задач та функціонування цехів та дільниць в умовах неповної інформації призводить до того, що вирішення реальних виробничих задач повинно ґрунтуватися на декомпозиції на ряд більш простих підзадач, кожна з яких буде вирішена відповідним методом. Аналіз моделей та методів рішення задач календарного та 5-місячно-календарного планування показав, що більшість задач складання розкладу є NP-трудними і за допомогою точних методів можливо вирішити задачі тільки малої розмірності. Тому практично єдиним засібом вирішення задач складання розкладу при реальних розмірах є розробка евристичних поліноміальних алгоритмів.

Пропонуються такі основні положення для побудови системи оперативно-виробничого планування та управління міжцехового та внутрішньоцехового рівня:

неможливість використання однієї планово-облікової одиниці для усіх підрозділів підприємства, тому використовується сукупність взаємозв'язаних між собою планових та облікових одиниць;

зменшення інтервалу планування до п'ятиденки (декади) та його диференціація для різних деталей, припускається рівномірність випуску усередині інтервалу;

використання різноманітних виробничо-технологічних випереджень для кожної деталі;

плановою одиницею приймається кількість деталей, яке дорівнює її споживанню на інтервал планування з урахуванням випередження;

єдиним обліковим показником виконання плану випуску кожної деталі приймають "заритий" комплект, розрахований для усіх підрозділів та усіх деталей - переробів і зв'язуючи усі

підрозділи маршруту виготовлення виробу між собою;

обліковою одиницею комплектності виготовлення виробів (забезпечуваності зборки деталями) прийнято машинокомплект виробу по цеху з урахуванням різних випереджувань входячих деталей, та вузлів;

планування нормалізованих та уніфікованих деталей на базі складської моделі;

позмінне формування на базі подетально-комплектного, машинокомплектного обліку та дефіциту на кінцевій зборці оперативних завдань дільницям цехів;

позмінне планування кінцевої та вузлової зборки за допомогою індивідуальних графіків випуску.

Розглянемо стисло модель подетального наскрізного планування та обліку виробничого процесу по всіх підрозділах підприємства на коротких диференційованих планових інтервалах.

Нехай $(1, 2, \dots, p, \dots, s, \dots, P)$ - інтервали планування для j -ї деталі (п'ятиденки чи декади), пронумеровані з початку року, k_p , d_p^1 і $d_p^{p'}$ - кількість робочих днів, перший та останній день у p -му інтервалі, O^j - загальне випереджування по деталі j .

$J = T, \bar{T}$ ($O^j \gg k_p$), деталь j застосовується в m виробках у кількості f_t^j ($t = \bar{T}, \bar{m}$) і кожна виріб i виготовляється у p -му інтервалі у кількості I_{tp}^j , V_p^j - витрата деталей j на випуск m виробів у p -му плановому інтервалі, $d_p^1 = d_p^1 + O^j$, $\tilde{d}_p^{p'} = d_p^{p'} \cdot O^j$, \tilde{V}_p^j - план по деталі j на p -ий інтервал складає кількість деталей, що дорівнює потреби на виріб, запланований до випуску з d_p^1 по $d_p^{p'}$:

$$\tilde{V}_p^j = V_p^j * (d_p^{s'} - d_p^1) / k_p + \sum_{q=1}^j V_{s+q}^j + V_{s+1}^j * (d_p^{s'} - d_{s+1}^1) / k_{s+1}$$

Згадані вище розрахунки виконуються для усіх цехів, дільниць та детале-переробів присутніх у технологічному маршруті деталі. Потім виконується розрахунок завантаження цеху по ресурсам по кожному виду операції.

Обліковий показник: Z^j - закриття комплект по кожному детале-переробу розраховується виходячи з припущення про рівномірність виробництва усереднені короткого інтервалу планування та приведеності планів до єдиної шкали по усім номенклатурі виробів по усім підрозділам за наступними формулами:

$$q = (m \cap p' \mid p' \in \{1, 2, \dots, P\}, \sum_{p=1}^p \tilde{V}_p^j \geq G^j), G_q^j = G^j - \sum_{p=1}^{q-1} \tilde{V}_p^j$$

де G^j - кількість виготовлених деталей j з початку року, G_q^j -

кількість деталей J в рахунок плану q -го інтервалу.

$$Z^J = \begin{cases} \alpha_q^J, & \text{якщо } G^J = \sum_{p=1}^q \tilde{V}_p^J \text{ и } \exists \tilde{V}_p^J : \sum_{p=q+1}^z \tilde{V}_p^J = 0, \quad z > q, \quad z - \text{остан. місяць} \\ \alpha_q^J, & \text{якщо } \exists k: G^J \leq \sum_{p=1}^k \tilde{V}_p^J, \quad k > q \text{ та план на } q+1, \dots, k \text{ не розра-} \\ \alpha_q^J + \left[G_q^J / \tilde{U}_q^J \right] - 1 & \text{в інших випадках.} \end{cases}$$

розрахунку плану

Грунтуючись на показниках Z^J легко і наочно вести облік виконання планів, виконувати регулювання виробництва та формувати оперативні завдання підрозділам.

Розглянемо модель обліку комплектності виготовлення виробів в підрозділах підприємства, яка вводить "псевдо-позамовний" облік виробництва по кожному виду продукції та підрозділу за даними подетального обліку. Задача укладається в визначенні номенклатури та кількості запланованих виробів на які вже виготовлені деталі та вузли і в якій кількості, при невиконанні подетальних планів визначити, зборка яких виробів і в якій кількості буде зірвана. Протягом цього передбачається рівномірність виробництва усереднені коротких планових інтервалів по часу та виробам. Обліковою одиницею комплектності є машинокомплект виробу по цеху з урахуванням різних випереджувань деталей. Забезпечення машинокомплект підрозділу по виробу i по деталі J

$$\text{дорівнює: } M_{i,J}^3 = \left[\sum_{p=1}^{q-1} V_p^i + (Z^J - \alpha_q^J) / k_q^* \cdot V_q^i \right], \text{ де } Z^J = Z^J + O^J$$

- робочий день, на який забезпечена зборка виробу i виготовленими в підрозділі деталями J , q - інтервал, у який попадає Z^J . Забезпечення машинокомплект по виробу i : $M_i^3 = \min_J (M_{i,J}^3)$. Робочий день Z_i , на який забезпечена зборка виробу i підрозділом розраховується аналогічно Z^J , якщо узяти M_i^3 замість G^J . Для прийняття управлінських рішень використовуються показники $D_{i,J}$ - дефіцит J -ї деталі на зборці i -го виробу у v -й робочий день:

$$D_{i,J} = \max \left[(M_{i,J}^{\Pi} - M_{i,J}^3) \cdot J_{i,J}^J, 0 \right], \quad M_{i,J}^{\Pi} = \left[\sum_{p=1}^{p_v-1} V_p^i + (v - \alpha_{p_v}^i) / k_{p_v}^* \cdot V_{p_v}^i \right],$$

де $M_{i,J}^{\Pi}$ - плановий машинокомплект цеху по виробу i по деталі J на v -й робочий день в інтервалі p_v . Модель обліку комплектності виготовлення виробів є прогнозою і дозволяє вчасно виявляти дефіцит деталей на зборці по номенклатурі та кількості і вживати заходи по його усуненню.

Розглянемо стисло модель та процедуру внутрішньоцехового оперативного управління участками механо-заготівельного цеху.

яка взаємоз'язана з міжцеховим рівнем за допомогою єдиних планових та облікових показників та узгоджених дільничих та цехових випереджувань. Виробничий процес тече дуже нерівномірно, що викликає необхідність кожного дня формувати оперативні завдання дільницям цеху на зміну/добу/п'ятиденку.

Модель виробничого процесу на механо-заготівельній дільниці описує стан до початку чергової зміни у робочий день α_p^t в p -му інтервалі, наступна. По стану виконання плану на g -й дільниці всі деталі розбиваються на наступні підмножини: "термінові" деталі J_g^c ; деталі що запізднюються $J_g^s = \{j | Z_g^j < \alpha_p^t\}$; деталі по яким не виконан план поточного p -го інтервалу: $J_g^1 = \{j | Z_g^j = \alpha_p^t < \alpha_p^{t+1}\}$, ..., $J_g^{p-1} = \{j | Z_g^j < \alpha_p^{p+1}\}$; "додаткові" деталі $J_g^d = \{j | Z_g^j > \alpha_p^t\}$. Найвищий пріоритет ω^j мають деталі з J_g^c , найменшія - з J_g^d . Для кожної партії деталей по h -му виду операції відома тривалість обробки L_{gh}^j . Основні обмеження: умови забезпечення виконання плану неявно задають директивні строки D_g^j , для деталей з J_g^c та J_g^s директивний строк $D_g^j = 0$, для деталей з J_g^1, \dots, J_g^d - $D_g^j = Z_g^j - \alpha_p^t$; якщо g -а дільниця не є першою дільницею на маршруті J -ої деталі, то необхідна наявність j -х деталей, які пройшли обробку на попередній дільниці, тобто $Z_{gpr}^j > Z_g^j$ чи $G_{gpr}^j > G_g^j$; для j -ї деталі необхідні матеріально-технічні ресурси (МТР) у кількості m_{gy}^j ($y=T, Y$), які доступні g -й дільниці в кількості M_{gy} ; фонд робітничого часу у складі F_{gh} ($h=T, H$). Задача полягає у складенні черги обробки деталей множини $J_g = \{J_g^c, J_g^s, J_g^1, J_g^2, \dots, J_g^{p-1}, J_g^d\}$ на дільниці на ближчий плановий інтервал з урахуванням вказаних обмежень на кожну групу робочих місць. За критерія оптимізації приймаємо сумарну міру відхилення строків закінчення обробки партії деталей від заданих строків з урахуванням пріоритетів:

$$f = \sum_j \omega^j * \max [T_g^j - D_g^j, 0],$$

де T_g^j - час завершення обробки j -ї деталі на g -ій дільниці.

Процедура формування оперативного завдання дільниці збільшено складається з наступних кроків:

декомпозирувати множини J_g на підмножини для кожної h -ї групи робочих місць: $J_{gh} = \{J_{gh}^c, J_{gh}^s, J_{gh}^1, \dots, J_{gh}^{p-1}, J_{gh}^d\}$. Далі всі кроки виконуються окремо для кожної групи робочих місць:

кожна h -а група інтерпретується як один станок, тривалість деталіоперації (робіт) масштабується. Побудувати послідовність S_{gh} виконання множин робіт J_{gh} по критерію мінімізації

$$f_h = \sum_n \omega^n * \max [T_{gh}^J - D_{gh}^J, 0];$$

визначити послідовності $S_{gh}^+ = \{f_{gh}^+ | Z_{ghnp}^J \in Z_{gh}^J\}$, $S_{gh}^- = S_{gh}^+ \setminus S_{gh}^-$ із збереженням черги. Для S_{gh}^+ розрахувати забезпечення МТР відповідно з впорядкуванням. Забезпечені МТР роботи складать послідовність S_{gh}^+ . Роботи з S_{gh}^+ назначити на робочі зміни.

Результатом процедури є послідовності робіт S_{gh}^+ - готових до виконання, S_{gh}^- - не готових із-за відсутності МТР, S_{gh}^- - не готових з причини невиконання попередніх робіт. Розподіл робіт по робочим місцям виконує майстер дільниці, він також виконує необхідні регулюючі зміни.

При роботі дільниці у відповідності з розрахованими плановими завданнями можливе неравномірне завантаження дільниці у різних інтервалах. Тому виникає задача "згладжування" завантаження дільниці у різних планових інтервалах, яка сформульована, як задача мінімізації максимального відхилення завантаження дільниці у кількох планових інтервалах з цільовою функцією

$$f = \max_p \left[\max [R_{pgh} - F_{pgh}, 0] \right],$$

де R_{pgh} та F_{pgh} - планове завантаження та фонд робочого часу на g -ій дільниці у p -му плановому інтервалі по h -му виду операція. Задача вирішується за допомогою побудови додаткового обмеження (розрахунку $R_{p'gh}^D$ - загальної трудомісткості додаткових робіт множини ω_{gh}^1) для попередньої моделі виходячи з аналізу ритмічності трудомісткості планових завдань за декілька інтервалів за допомогою коефіцієнту ритмічності k_{pgh} . Для ритмічної роботи дільниці необхідно виконання умови $k_{pgh} \geq 1$, що досягається при $R_{p'gh}^D = \max \left[\sum_{p=p'}^P R_{pgh} * (\sum_{p=p'}^P k_p) / k_p, -R_{p'gh}, 0 \right]$

Розглянемо стисло модель та процедуру оперативного планування та управління складальним цехом з постовим способом кінцевої зборки. Для кінцевої зборки з основи плану випуску на п'ятиденку складаються по-мінні графіки випуску готових виробів. Нехай I_p - множина виробів запланованих до випуску на p -ту п'ятиденку, ω_t - пріоритет t -го виробу. Дільниця кінцевої зборки складається з z постів. Для кожного виробу потрібна множина деталей J , що складається з підмножин J_t^I та J_t^D - деталі та вузли, установка яких на виріб можлива на посту i поза межами посту u , I_t - множина виробів для зборки на t -й день, $J_{tt}^I, J_{tt}^D, J_{tt}^D$ - множини деталей для t -го виробу на t -й робочий день, J_t - мно-

жина деталей на складах, на дільницях цеху та на складах заводу.

Задача полягає у формуванні на кожну зміну графіку випуску для кожного посту, по критерію мінімізації сумарного часу знаходження усіх виробів на зборці:

$$f = \sum_t \omega_t * (T_t - d_t),$$

де T_t та d_t - час завершення та початку зборки t -го виробу.

Процедура розрахунку графіку базується на евристичних правилах віддачі переваги: на ближчі зміни призначаються вироби, що мають найбільший пріоритет, по яким сума запізнення усіх дефіцитних деталей мінімальна; якщо деталь чи вузол застосовуються у декількох виробих, то укомплектування виробів буде проводиться пріоритетом. Процедура кожногодобового формування графіку наступна:

$\forall t \in I_t$ визначити забезпечення деталями, що передані з попередніх за маршрутом цехів, робочий день зборки: $Z_t = \text{min}(I_{ct}, I_t)$ та впорядкувати вироби з I_t по зменшенню ω_t та Z_t . Одержана послідовність - S^1 ;

$\forall t$ -го виробу, що стоїть в S^1 на k -й позиції $\forall j \in J_{t,t}$ розрахувати $D_{t,j}^{CO(k)}$ - дефіцит j -ї деталі (вузла) на початок t -го дня, $S_t^{CO(k)}$ та $S_t^{D(k)}$ - сумарне відставання деталей t -го виробу, підмножин $J_t^{CO(k)}$ та $J_t^{D(k)}$: $D_{t,j}^{CO(k)} = \max\{F_{t,j}^{CO} - N_j^{(k-1)}, 0\}$, $S_t^{CO(k)} = \sum_{i \in D_t^{CO(k)}} (t - Z_{ip}^i)$, $S_t^{D(k)} = \sum_{i \in D_t^{D(k)}} (t - Z_{ip}^i)$,

де $F_{t,j}^{CO}$ - використання j -ї деталі у t -му виробі, $N_j^{(k-1)}$ - залишок j -ї деталі після розподілу її на $k-2$ виробу з S^1 , Z_{ip}^j - день, на який виконан план попереднім цехом, $D_t^{CO(k)}$ та $D_t^{D(k)}$ - множини дефіцитних деталей t -го виробу: $D_t^{CO(k)} = \{j | j \in J_t^{CO(k)}, D_{t,j}^{CO(k)} > 0\}$, $D_t^{D(k)} = \{j | j \in J_t^{D(k)}, D_{t,j}^{D(k)} > 0\}$;

послідовність виробів S^1 з множинами $D_t^{CO(k)}$ та $D_t^{D(k)}$, показниками $S_t^{CO(k)}$ та $S_t^{D(k)}$ аналізуються диспетчером, який в інтерактивному режимі "програє" перестановки по постам, після чого перераховуються $D_{t,j}^{CO(k)}$, $N_j^{(k)}$, $S_t^{CO(k)}$, $S_t^{D(k)}$ для послідовності S^2 . Цей та попередній крок повторюється: до тих пір, поки графік зборки не задовільнить диспетчера;

вироби з S^n призначаються на закріплені за ними пост чи простючі пости, на зміни $t, t+1, \dots, t'$. Е наслідок будуть одержані послідовності для кожного з n постів: $S_1^n, S_2^n, \dots, S_n^n$.

$\forall j$ розрахувати D_{jt}^{CO} - кількість j -ї деталі у дефіциті н зміни $t, t+1, \dots, t^n$, які включаються у множину J^C термінових деталей для усіх попередніх цехів.

Процедура має поліноміальну обчислювану складність.

В моделі внутрішньоцехового оперативного управління поставлена задача впорядкування, яка є класичною *NP*-трудною задачею теорії розпису - мінімізації сумарного вважуваного моменту закінчення виконання множини незалежних завдань з різними директивними строками одним приладом.

В роботі досліджена вказана задача і для її вирішення розроблен ефективний алгоритм. Математична постановка наступна. Задана множина незалежних завдань $J = \{J_1, J_2, \dots, J_n\}$, які складаються з однієї операції, $\forall j$ задані l_j - тривалість виконання, w_j - ваговий коефіцієнт та D_j - директивний строк. Завдання надходять у систему одночасно в момент часу $d_j = 0$, $j = \overline{1, n}$, переривання не допускаються. Побудувати розклад для одного станка по критерію

$$f = \sum_j w_j * \max(0, T_j - D_j)$$

Уведем ряд визначень.

Визначення. Перестановкою називається процедура переносу завдання j на позицію g ($j < g$) і, одночасно, завдань $j+1, \dots, g$ на позиції $j, \dots, g-1$.

Визначення. Встроюванням називається процедура переносу завдання g на позицію p ($g > p$) та, одночасно, завдань $p, \dots, g-1$ на позиції $p+1, \dots, g$.

Визначення. Послідовністю $\sigma^{уп}$ називають ся завдання множини J впорядковані по зменшенню відносини w_j/l_j ($j = \overline{1, n}$).

Затвердження 1. Якщо у $\sigma^{уп}$ запізднюючим завданням не попереджують завдання з резервом часу, то не існує переносів завдань, що призводять до покращення цільової функції.

Затвердження 2. Встроювання запізднюючого завдання g на позицію $i < p$, може привести до погіршення цільової функції.

Затвердження 3. Запізднююче завдання g у $\sigma^{уп}$ в результаті встроювання може зайняти більш ранішу позицію, що призведе до покращення цільової функції тільки якщо у $\sigma^{уп}$ $\exists z : D_z - T_z > 0$.

Затвердження 4. Якщо в $\sigma^{уп}$ ні для жодного з запізднюючихся завдань g не існує завдань g ($g < g$) для яких виконується $w_g/l_g > w_g/l_g$ та $D_g - T_g > 0$, $D_g > D_g - l_g$, то не існує перестановок та встроювань, що призводять до погіршення цільової функції.

Визначення. Процедурою вільної перестановки називається перестановка завдання k на позицію q ($k < q$) при умові $D_k \geq T_q$, $D_k < T_{q+1}$, $\exists j \in [k+1, q]: D_j < T_j$.

Визначення. Послідовністю, яка одержана в результаті

виконання усіх вільних перестановок в $\sigma^{\text{уп}}$ назовемо $\sigma^{\text{сп}}$.

Затвердження 5. Затвердження 2, 3 та 4 справедливі для $\sigma^{\text{сп}}$.

Затвердження 6. Для послідовності $\sigma^{\text{сп}}$ не існує перестановок та встроювань, що призводять до покращення цільової функції, якщо виконуються умови: $D_j - T_j \geq 0, \forall j = \overline{1, n}$; $D_j - T_j \leq 0, \forall j = \overline{1, l}$; $D_j - T_j \geq 0, \forall j = \overline{l+1, n}$; $D_j - T_j \leq 0, \forall j = \overline{1, n}$.

Визначення. Послідовністю σ^k називається послідовність одержана з $\sigma^{\text{сп}}$ у результаті виконання ряду перестановок та встроювань покращуючих цільову функцію.

Визначення. Конкурентним називається запізднюче завдання g у послідовності σ^k , якщо $\exists l : l < g, D_l \geq D_g - l$ і $D_l < T_g$.

Введемо правила позначок у послідовності σ^k при виконанні перестановок та встроювань, які позначають будь яке завдання, що порушує вихідну послідовність $\sigma^{\text{уп}}$ та використовує резерви завдань з більш вищим пріоритетом:

при перестановці завдання l на позицію g знаком $*$ позначити усі завдання $i \in \{l+1, g\}$, для яких $w_i/l_i < w_l/l_l$ і $D_i - T_i < 0$.

при встроюванні завдання g на позначку p , завдання g позначається, якщо існує завдання $i : i \in \{p+1, g\}, w_i/l_i > w_g/l_g$.

Затвердження 7. Запізднюче завдання g на k -я ітерації у послідовності σ^k може зайняти більш ранню позицію, що призведе до покращення цільової функції, якщо $\exists z \in \{p, g-1\}, D_z - T_z > 0$, чи (в разі відсутності резервів) на $\{p, g-1\}$ є завдання з позначками. Умова встроювання завдання g на позицію p :

$$\sum_{j \in M^*} (w_g l_j^* - w_j^* l_g) + \sum_{j \notin M^*} (w_g l_j - w_j l_g) > 0, \text{ де } M^* = \{i^* | i \in \{p, g-1\}\},$$

умова переставлення позначеного завдання m на позицію g :

$$\sum_{j=m+1}^{g-1} (w_j m l_n (l_m, T_j - D_j) - w_m l_j) > 0$$

Затвердження 8. Неконкурентні завдання у послідовності σ^k не можуть займати більш ранні позиції ніж в $\sigma^{\text{сп}}$.

Затвердження 9. Запізднюче завдання g на k -я ітерації у послідовності σ^k не може бути встроєно на більш ранню позицію та виключається з числа конкурентноздібних на k -му кроці, якщо $\forall z \in \{p, g-1\}$ виконується $D_z - T_z \leq 0$ та для усіх позначених на $\{p, g-1\}$ завдань виконується $\sum_j (w_g l_j^* - w_j^* l_g) \leq 0$

Затвердження 10. Запізднюче завдання g на k -я ітерації у послідовності σ^k не може бути встроєно на більш ранні позиції та виключається з числа конкурентноздібних на k -ому кроці, якщо

попередні завдання, що запізднюються l на $k-1$ -му кроці також виключені з числа конкурентноздібних та $\forall j (j \in [p, g-1])$ виконується $D_j - T_j \leq 0$ и $w_l / l_1 \geq w_g / l_g$.

Затвердження II. Якщо на ітерації k у послідовності σ^k для конкуруючого завдання $g \exists l$:

$$a) l < j, D_l > T_g - l_g, w_l(T_g - D_l) < w_g \min(l_1, T_g - D_g);$$

$$b) l < g, l_1 > l_g, D_l > T_g - l_1,$$

$$w_l(T_g - D_g) + \sum_{j=l+1}^g w_j \min[l_1, \max(0, T_j - D_j)] < w_g \min(l_1, T_g - D_g);$$

то при виконанні (а) чи (б) переставлення завдання l на позицію g призводить до покращення цільової функції.

На основі наведених затверджень та правил у роботі запропонована множина реалізація алгоритму рішення поставленої задачі.

Визначення. Умовним оптимумом, відносно введеної вище множини переставлень та встроювань називається таке значення цільової функції, яке неможливо покращити за допомогою жодного переставлення та/чи встроювання з розглянутої вище множини. Умовно-оптимальним називається розклад, на якому цільова функція досягає умовного оптимуму.

Визначення. Множиною реалізація алгоритму називається сукупність алгоритмів, що складаються з єдиного попереднього етапу та етапів оптимізації, що відрізняються один від одного порядком виконання процедур перестановок та встроювань.

Затвердження I2. Запропонований алгоритм призводить будь-який довільний розклад до умовно-оптимального.

Затвердження I3. Будь-яка реалізація запропонованого алгоритму призводить до одного й того ж умовно-оптимального розкладу.

Розроблений алгоритм є, у загальному випадку, експоненціальним - при невиконанні жодної умови відсічі ні для жодного запізднюючогося завдання. При виконанні умов відсічі для усіх запізднюючихся завдань алгоритм має поліноміальну оцінку трудомісткості $O(n^3)$, у більшості випадків виконується зрізання (скорочення) напрямлення перебір. Алгоритм є евристичним (тому, що не доведена ідентичність оптимального та умовно-оптимального розкладу та не одержано теоретичні оцінки похибки алгоритму), практична його обоснованість базується на статистичному аналізі достатньо великої кількості вирішених задач:

при вирішенні задач невеликої розмірності точним та

запропонованим алгоритмом усі одержані умовно-оптимальні розписи збіглися з оптимальними;

при збільшенні розмірів вирішуваних задач, трудомісткість запропонованого алгоритму, прагне до поліноміальної оцінки;

при вирішенні задач великої розмірності усі побудовані умовно-оптимальні розклади краще розкладів побудованих відомим алгоритмом Шилда-Фрідмана.

розроблений алгоритм дозволяє ефективно вирішувати задачі реальних розмірностей за допустимий час.

В роботі наведено короткий опис розробленої автоматизованої системи оперативного управління основним виробництвом машинобудівного підприємства з змішаним серійним та дрібносерійним типом виробництва та середнім по довжині циклом виготовлення основної продукції (АС ОУОП СТ), яка є сучасною системою розподіленої обробки даних, що функціонує в режимі реального часу та складається із сукупності автоматизованих робочих місць робітників адміністративно-управлінського та технічного персоналу. Функціонально АС ОУОП складається з підсистем: ведення НСІ, оперативного планування виробництва, обліку та аналізу виконання планів виробництва, оперативного обліку та аналізу руху деталей по підрозділам підприємства, оперативного регулювання виконання планів виробництва, оперативного матеріально-технічного забезпечення. У рамках ряду задач АС ОУОП СТ реалізовано описаний вище комплекс взаємозв'язаних моделей оперативного-виробничого планування та управління міжцехового та внутрішньоцехового рівня. Програмна реалізація виконана у сітьовому варіанті у середовищі СУБД FoxPro v2.0.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ

1. Досліджені особливості характеру виробництва, технології планування та змінення організаційної моделі оперативного-виробничого планування та управління на підприємствах з змішаним багатомоноклатурним серійним та дрібносерійним типом виробництва та середньою довжиною циклу виготовлення виробів в умовах переходу до ринкової економіки, сформульовані вимоги до моделей систем міжцехового та внутрішньоцехового планування та управління для вказаного типу виробництва.

2. Розроблен комплекс узгоджених моделей оперативного-виробничого планування та управління для машинобудівного підприємства з розглядаємим типом виробництва у сучасних умовах:

моделі міжцехового рівня (модель подетального, наскрізного планування та обліку виробничого процесу по усім підрозділам технологічного маршруту на коротких диференційованих планових інтервалах, модель обліку комплектності виготовлення виробів у підрозділах підприємства) дозволяють проводити диференційоване планування на коротких інтервалах в залежності від серійності випуску окремих деталей, вузлів, виробів, особливостей виробничого процесу у різних підрозділах, ефективно контролювати та прогнозувати виготовлення дрібних серій виробів та весь виробничий процес у підрозділах в термінах "псевдо-позамовного" обліку;

моделі та процедури внутрішньоцехового рівня (модель та процедура оперативного управління дільницями механо-заготівельного цеху по критерію мінімізації сумарного розузгодження виробничого процесу на дільниці з міжцеховими календарно-плановими нормативами та критерію мінімізації максимального відхилення завантаження груп робочих місць по коротким плановим інтервалам, модель та процедура оперативного планування та управління механс-складальним цехом по критерію мінімізації сумарного часу знаходження усіх виробів на дільниці кінцевої зборки) тісно взаємозв'язані з моделями міжцехового рівня за допомогою узгоджених календарно-планових нормативів та наскрізних облікових показників роботи.

3. Проведено теоретичне дослідження та розроблен ефективний евристичний алгоритм вирішення класичної *NP*-трудної задачі теорії розпису - мінімізації сумарного взваженого моменту закінчення виконання множини незалежних завдань з різними директивними строками одним приладом. Алгоритм має, в загальному випадку, експоненціальну оцінку трудомісткості. Сформульовані умови відсічення, при виконанні яких алгоритм має поліноміальну оцінку. Проведені експериментальні дослідження показали, що отримані умовно-оптимальні розклади для задач невеликої розмірності збігаються з оптимальними розкладами; при вирішенні задач великої розмірності практична трудомісткість вирішення задачі прагне до поліноміальної оцінки. Запропонований алгоритм дозволяє ефективно вирішувати задачі реальних розмірів за допустимим часом.

4. Результати роботи впроваджені в складі автоматизованої системи оперативного управління основним виробництвом машинобудівельного підприємства з змішаним серійним та дрібносерійним типом виробництва.

ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ ПУБЛІКАЦІЙ ПО ТЕМІ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Павлов А.А., Мисюра Е.Б., Михайлов В.В. Исследование задачи минимизации суммарного взвешенного момента окончания выполнения множества заданий с директивными сроками одним прибором / Киевск. политехн. ин-т. - Ки в, 1993. - 26с. - Деп. в УкрНИИТИ 29.06.93 N 1276 - Ук93
2. Михайлов В.В. Алгоритм решения задачи минимизации суммарного взвешенного момента окончания выполнения множества заданий с директивными сроками одним прибором / Киевск. политехн. ин-т. - Киев, 1993. - 7 с. - Деп. в УкрНИИТИ 29.06.93 N 1275 - Ук93
3. Павлов А.А., Мисюра Е.Б., Михайлов В.В., Ковалюк Т.В. Планирование выпуска продукции для мелкосерийного производства в условиях коарасчета / Киевский политехн. институт. - Киев, 1989. Деп. в УкрНИИТИ № 1991-Ук89. -11 с.
4. Павлов А.А., Михайлов В.В., Щербатенко О.В., Ковалюк Т.В. Составление расписания выполнения частично упорядоченного множества работ по критерию минимизации общей длины расписания / Киевский политехн. институт, Киев, 1989, Деп. в УкрНИИТИ № 706-Ук89 от 6.03.89. -11 с.
5. Михайлов В.В., Щербатенко О.В., Ковалюк Т.В. Модели оперативного управления мелкосерийным сборочным производством. / Международная научно-техн. конф. "Гибкая автоматизация '90". - Братислава, 1990.
6. Михайлов В.В., Щербатенко О.В., Пика Е.Н. Алгоритм месячного цехового номенклатурно-объемного планирования. / IV Межреспубликанская конференция "Актуальные проблемы разработки АСУ". - Киевский политехн. ин-т, Киев, 1990.
7. Павлов А.А., Михайлов В.В., Мисюра Е.Б., Жданова Е.Г. Пакет прикладных программ решения оптимизационных задач большой размерности / Материалы III польско-сов. научно-техн. конф. "Комплексная автоматизация промышленности". - Вроцлав, 1989. - Ч.2, с.8-16.
8. Павлов А.А., Михайлов В.В., Щербатенко О.В. Оптимизация планирования процесса обработки деталей в ГАУ / Киев. политехн. ин-т. - Киев, 1989. - 9с. - Деп. в УкрНИИТИ 07.06.89 № 10537 Ук89.
9. Гриша С.Н., Щербатенко О.В., Михайлов В.В. Оптимизация технологического группирования деталей для ПТМ / Киев. политехн. ин-т. - Киев, 1989. - 7с. - Деп. в УкрНИИТИ 06.03.89 № 705 Ук89.

Михайлов В.В. Алгоритмическое и программное обеспечение автоматизированной системы управления дискретным производством смешанного типа. Рукопись. 05.13.06.—"Автоматизированные системы управления". Киевский политехнический институт. Киев 1994.

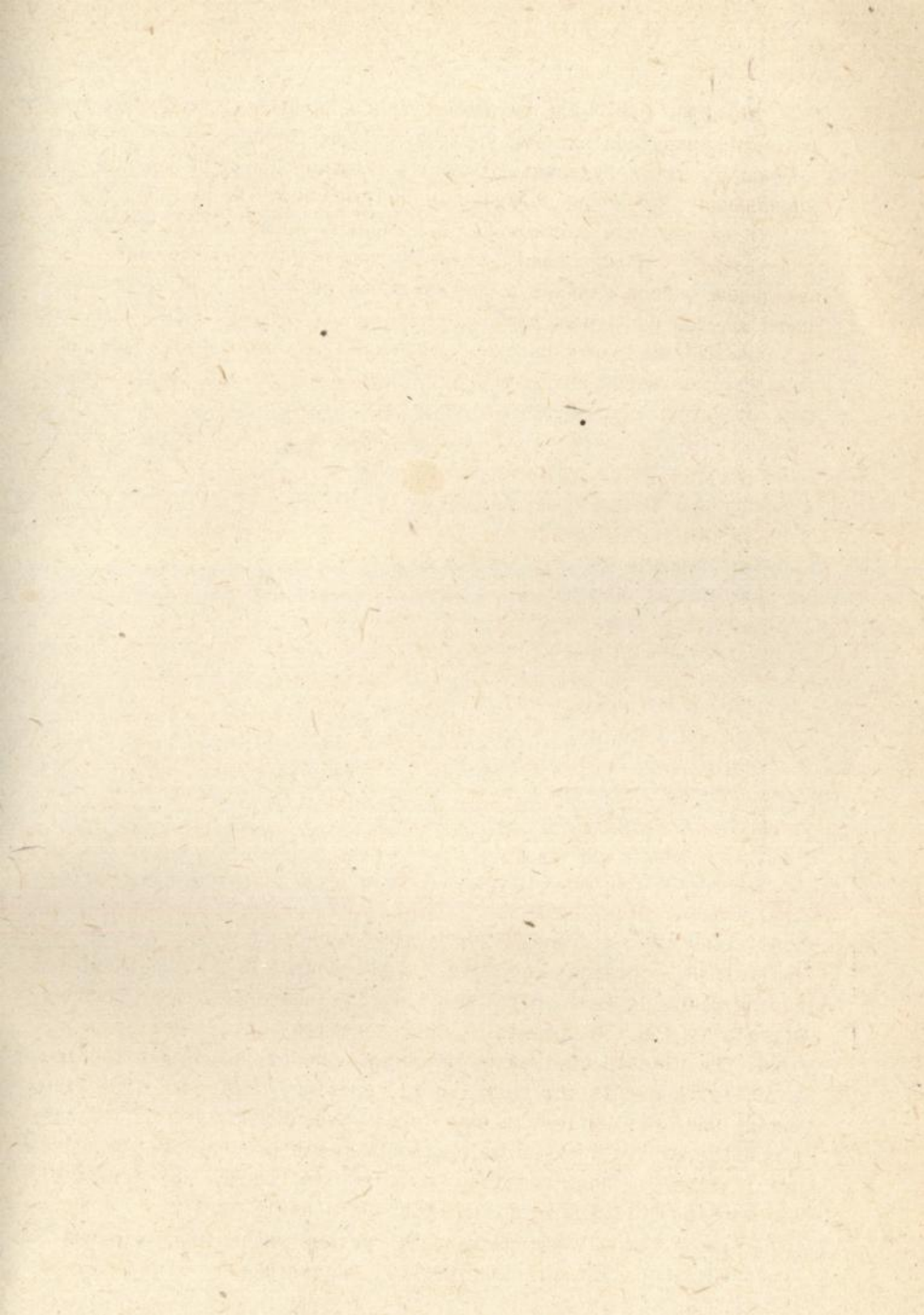
В диссертации рассмотрены особенности оперативно-производственного планирования и управления на предприятиях со смешанным многономенклатурным серийным и мелкосерийным типом производства и средней длительностью цикла изготовления изделий в условиях перехода к рыночной экономике. Разработан и обоснован комплекс согласованных моделей и процедур автоматизированного межцехового и внутрицехового оперативно-производственного планирования и управления для предприятия с указанным типом производства. Исследована классическая NP-трудная задача теории расписаний - минимизация суммарного взвешенного момента окончания выполнения множества заданий с различными директивными сроками одним прибором. Разработан и качественно обоснован эффективный алгоритм решения указанной задачи. Результаты работы внедрены в составе автоматизированной системы оперативного управления основным производством машиностроительного предприятия.

Mikhailov V.V. Algorithms and software of the automatized control systems of the mixed type discrets manufacturing. Manuscript. 05.13.06-"Automatized control systems". Kiev, 1994. Kiev Polytechnical Institute. Kiev, 1994.

The dissertation deals with the peculiarities of the active - manufacturing planning and control in plants having the mixed multi-nomenclature serial and low-serial manufacturing type and the middle-lasting cycle of the production under the conditions of the transition towards market economy. A great deal of the coordinated models and procedures of active-manufacturing planning and control has been elaborated and grounded especially for the plants with above-mentioned manufacturing type. The classic NP-task of schedule theory (single-machine schedule task with low cost linear function, different directive times and priorities) has been researched and effective algorithm of the task solution has been elaborated and grounded qualitatively. These results has been introduced as a part of the machine-building plant automatized control system.

Ключові слова: автоматизовані системи управління, змішаний тип виробництва, оперативне планування і управління, теорія розкладу.

B. Aluk



AB 30.819