УДК 519.816.5

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧІ ВИЗНАЧЕННЯ НЕПРОДУКТИВНОГО ЧАСУ В РІЗНИХ ВИРОБНИЧИХ СИТУАЦІЯХ

С.В. Кашуба, Р.В. Маренич.
Кременчуцький університет економіки, інформаційних технологій та управління.

During the writing of this work was the analysis of production schedules, analysis of non-productive time for manufacturing site, based on the developed mathematical model for solving the problem definition unproductive time in different production situations.
Keywords: *analysis, mathematical model, non-productive time.*

Вступ

Ділянка механоскладального виробництва складається з технологічних ліній виробництва (ТЛВ) компонент і лінії складання (ЛЗ) продукції. ТЛВ укомплектовані типовим устаткуванням (завивочними верстатами, штампами, машинами контактного зварювання, зрізними верстатами, наждачними верстатами, розтискними машинами). Лінія складання укомплектована таким обладнанням: прес зі штампом для складання, пристосування для контролю торцевого і радіального биття, зварювальні пости, прес пробивальний, прес запресовування опорного кільця, зварювальний пост, пост зачистки, пристосування контролю торцевого і радіального биття. Переміщення виробів між одиницями обладнання (ОО) здійснюється по рольгангу.

За плановий період виробничою ділянкою виготовляється певна кількість виробів, що складаються з певної кількості компонент. Рух компонент у виробництві паралельно-послідовний. При запуску виробу у виробництво враховується час переналагодження обладнання.

План випуску готових виробів задається з розбивкою на підперіоди планового періоду (дані отримуємо з графіка здачі продукції по ділянці за плановий період часу). Відомі технологічні маршрути руху компонент у процесі їх обробки. Відомі норми витрат часу на обробку кожного компонента, а також час транспортування від однієї одиниці обладнання до іншої. Якщо обладнання, вказане в маршрутному списку, вільне, то компонент починає на ньому оброблятися, в іншому випадку він надходить в чергу на обробку.

Процес надходження та обробки компонент для одного виробу можна представити у вигляді схеми:

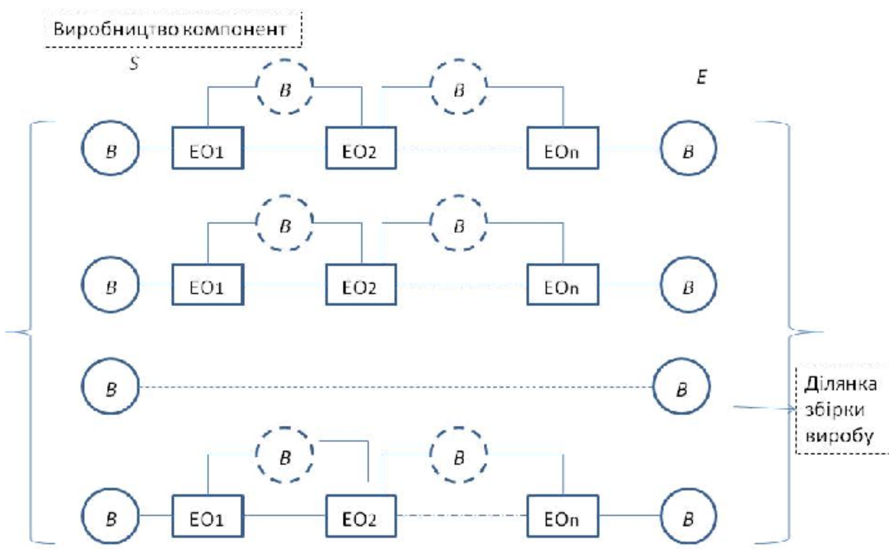

Рис. 1. Лінія виробництва компонент

Постановка задачі: визначити основні етапи виробництва компонент, визначити критерії непродуктивного часу, та на їх основі розробити математичну модель, котра дозволить скоротити тривалість виробничого циклу при непередбачених ситуаціях.

Мета роботи: розробити математичну модель вирішення задачі визначення непродуктивного часу в різних виробничих ситуаціях.

Для отримання математичної моделі опису функціонування ділянки виробництва введемо такі позначення:

X_i – план випуску виробів; $A = \{a_i : i = \overline{1, M}\}$ – множина виробів, K – компоненти, із яких складається виріб a_i – тобто, кожному a_i відповідає множина $\{a_{ik} : i = \overline{1, M}, k = \overline{1, K}\}$

Виготовлення кожного компонента a_{ik} включає послідовність виконань N_K технологічних операцій на N_K робочих місцях.

Допустимо t_{ik}^n – тривалість обробки компонента a_{ik} на *n-му* робочому місці; t_i – тривалість операції збірки виробу $a_i; \tau_{ik}^n, n = \overline{1, N}$ – час транспортування компоненту між станками. Отримаємо модель, котра описує ідеальне функціонування виробничої ділянки:

$$\sum_{n=1}^{N_K} t_{ik}^n + \sum_{n=2}^{N_K} \tau_{ik}^n = t_i^1 \quad (1)$$

Тоді умова допустимості режиму функціонування ділянки

$$\sum_{n=1}^{N_K} t_{ik}^n + \sum_{n=2}^{N_K} \tau_{ik}^n \le t_i^1 \quad (2)$$

Стан вхідних накопичувачів ліній виробництва компонентів в момент часу $t = j\Delta t, j = \overline{1, l}$ визначається величиною $B_{ik}^S(t)$; а стан вихідних накопичувачів ліній виробництва компонентів – величиною $B_{ik}^E(t)$. Опишемо зміну стану накопичувачів виробничої дільниці виразом:

$$B_{ik}^S(j+1) = B_{ik}^S(j) + P_{ik}(j+1), \quad (3)$$

де $P_{ik}(j+1)$ прихід комплектуючих із інших цехів.

$$B_{ik}^E(j+1) = B_{ik}^E(j) + \frac{\Delta t}{t_{ik}^n} \quad (4)$$

Тоді випуск продукції можна представити у вигляді:

$$X_i(j+1) = X_i(j) + \frac{\Delta t}{t_i} \quad (5)$$

Концептуально модель задачі оперативно-диспетчерського управління механоскладальним виробництвом може бути представлена як дворівнева.

На вищому рівні – завдання виконання плану виробництва, на нижньому рівні вирішується завдання безперервного контролю і керування процесом виробництва за обраними критеріями оцінки технологічних та економічних показників роботи виробничої ділянки в реальному масштабі часу. При цьому аналізується відхилення роботи ділянки від заданого плану шляхом порівняння поточного стану виконання приватних об'ємних завдань з плановими значеннями. Для вирішення завдання виконання плану виробництва необхідно дотримання ритмічності виробництва. Ритмічність виробництва вимірюється ступенем відповідності фактичного випуску встановленим графіком виготовлення продукції:

$$K_P = 1 - \frac{\sum_1^n a_i}{\sum_1^n \Pi}, \quad (6)$$

де K_p – коефіцієнт ритмічності;

a_i – негативні відхилення фактичного випуску від планового (недовиконання плану по періодах);

П – планові завдання на відповідний період;

N – кількість аналізованих періодів (змін).

Для спрощеної характеристики ритмічності виробництва використовують показник фактичної питомої ваги випуску продукції у відповідні періоди часу (по декадах, тижнях, місяцях) і його зіставлення з розрахованим за планом.

Основною причиною порушення ритмічності виробництва і, як наслідок, невиконання плану є збільшення тривалості виробничого циклу календарного періоду часу, протягом якого матеріал, заготівка або інший оброблюваний предмет проходить всі операції виробничого процесу певної його частини і перетворюється на готову продукцію (або в готову її частину) [1; 2]. Виробничий цикл виражається в календарних днях або (при малій трудомісткості виробу) у годинах. Його структура представлена на рис. 2.

<table>
<tr><td colspan="16">$Т_{ц}$ – час виробничого циклу</td></tr>
<tr><td colspan="10">$Т_{ч.р.п.}$ – час робочого періоду</td><td colspan="6">$Т_{в.пр}$ – час перерв</td></tr>
<tr><td colspan="7">$Т_{шк}$ - штучно-калькуляційне</td><td>$Т_{к}$</td><td>$Т_{тр}$</td><td>$Т_{е}$</td><td colspan="3">$Т_{мо}$</td><td>$Т_{рт}$</td><td>$Т_{р}$</td><td>$Т_{орг}$</td></tr>
<tr><td colspan="4">$Т_{оп}$</td><td>$Т_{пз}$</td><td>$Т_{ен}$</td><td>$Т_{ото}$</td><td colspan="3"></td><td>$Т_{пар}$</td><td>$Т_{оч}$</td><td>$Т_{кп}$</td><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td>$Т_{ос}$</td><td colspan="3">$Т_{в}$</td><td colspan="12"></td></tr>
<tr><td></td><td>$Т_{у}$</td><td>$Т_{з}$</td><td>$Т_{ок}$</td><td colspan="12"></td></tr>
</table>

Рис. 2. Структура виробничого циклу

Тривалість виробничого циклу визначається виразом:

$Т_{ц} = Т_{ч.р.п} + Т_{в.пр}$,

де $Т_{ч.р.п}$ – час робочого процесу;

$Т_{в.пр}$ – час перерв.

Під час реалізації робочого періоду враховуються наступні фактори:

$Т_{ч.р.п} = Т_{шк} + Т_{к} + Т_{тр} + Т_{е},$

де $Т_{шк}$ – штучно-калькуляційний час;

$Т_{к}$ – час контрольних операцій;

$Т_{тр}$ – час транспортування предметів праці;

$Т_{е}$ – час звичайних процесів.

У операційний цикл включимо умовно $Т_{к}$ и $Т_{тр}$, оскільки в організаційному відношенні вони не відрізняються від технологічних операцій. Тоді операційний час, що враховує суму штучно-калькуляційного часу, часу контрольних операцій і транспортування предметів праці запишемо у вигляді:

$$Т_{опр} = Т_{шк} + Т_{к} + Т_{тр}, \quad (7)$$

А штучно-калькуляційний час розрахуємо за формулою:

$$Т_{шк} = Т_{оп} + Т_{пз} + Т_{ен} + Т_{ото}, \quad (8)$$

де $Т_{оп}$ – оперативний час;

$Т_{пз}$ – підготовчо-заключний час при обробці нової партії деталей;

$Т_{ен}$ – час на відпочинок і природні потреби робітників;

$Т_{ото}$ – час організаційного і технічного обслуговування (одержання і здача інструменту, прибирання робочого місця, змащення устаткування і т.п.).

Оперативний час $(Т_{оп})$ визначаємо як суму основного $(Т_{ос})$ і допоміжного часу $(Т_{в})$:

$$(Т_{оп}) = (Т_{ос}) + (Т_{в}) \quad (9)$$

Основний час – це безпосередній час обробки або виконання роботи. Допоміжний час:

$$Т_{в} = Т_{у} + Т_{з} + Т_{ок}, \quad (10)$$

де $Ту$ – час установки і зняття деталі (складальної одиниці) з обладнання;

$Т_{З}$ – час закріплення і відкріплення деталі в пристосуванні;

$Т_{ок}$ – час операційного контролю робочого (із зупинкою устаткування) в ході операції.

Час перерв $(Т_{вмр})$ обумовлено режимом праці $(Т_{рт})$, міжопераційного пролежування деталі $(Т_{мо})$, часом перерв на міжремонтне обслуговування та огляди устаткування $(Т_{р})$ і часом перерв, пов'язаних з недоліками організації виробництва $(T_{орг})$:

$$T_{в.пр} = T_{мо} + T_{рт} + T_{р} + T_{орг} \quad (11)$$

Час міжопераційного пролежування $(T_{пар})$ визначається часом перерв партіонності $(T_{пар})$, перерв очікування $(T_{оч})$ і перерв комплектування $(T_{кп})$:

$$T_{мо} = T_{пар} + T_{оч} + T_{кп} \quad (12)$$

Перерви партіонності $(T_{пар})$ виникають при виготовленні виробів партіями і обумовлені пролежуванням оброблених деталей до готовності всіх деталей в партії на технологічній операції. Перерви чекання $(T_{ож})$ викликаються неузгодженою тривалістю суміжних операцій технологічного процесу. Перерви комплектування $(T_{кп})$ виникають при переході від однієї фази виробничого процесу до іншої.

Таким чином, у загальному вигляді тривалість виробничого циклу висловлюється формулою:

$$T_{ц} = T_{опр} + T_{кмо} + T_{рт} + T_{р} + T_{орг} \quad (13)$$

При розрахунку виробничого циклу необхідно враховувати перекриття деяких елементів часу або технологічним часом, або часом міжопераційного пролежування. Час транспортування предметів праці $(T_{тр})$ і час вибіркового контролю якості $(T_{к})$ є елементами, що перекриваються. Виходячи зі сказаного, виробничий цикл можна виразити формулою:

$$T_{ц} = (T_{шк} + T_{мо}) * k_{пер} * k_{ор} * k_{е}, \quad (14)$$

де $k_{пер}$ – коефіцієнт переведення робочих днів у календарні (відношення числа календарних днів $D_{к}$ до числа робочих днів у році $D_{р}$, $D_{пер}= D_{к}/D_{р}$);

$k_{ор}$ – коефіцієнт, що враховує перерви на міжремонтное обслуговування обладнання і організаційні неполадки (зазвичай 1,15-1,2).

Основними заходами, що дозволяють скоротити тривалість виробничого циклу, є:

- забезпечення технологічності конструкції машин;
- уніфікація і нормалізація деталей і вузлів;
- механізація і автоматизація найбільш складних виробничих процесів;
- забезпечення максимальної паралельності організації виробничих процесів і ритмічного запуску і випуску продукції;
- синхронізація операцій і перехід на потокові методи роботи;
- скорочення непродуктивного часу роботи виробничої дільниці шляхом оптимізації розкладів робіт протягом оперативного терміну планування;
- раціональна організація ремонту обладнання.

Аналіз структури непродуктивного часу для виробничої дільниці, проведений у роботах [2; 3; 4], показав, що найбільш істотними складовими втрат часу є: час, що витрачається на операціях переналагоджень обладнання при надходженні партії деталей іншого найменування в лінію; час, що витрачається на транспортування партій деталей до ЄВ; час простоїв ЄВ через очікування кінця обробки деталі на попередній операції, час простоїв ЄВ через непередбачені ремонти.

Скороченням частки непродуктивного часу в розкладі виробничих ліній і витрат часу на переналагодження устаткування приймають як відомі, розраховані раніше до моменту складання розкладу за допомогою матриць тимчасових витрат на переналагодження [2]. Проте в реальних умовах виробництва не завжди вдається дотримуватися запланованого часу.

Для ефективного функціонування одиниць обладнання виробничої дільниці необхідний відповідний інструмент і оснащення (технологічні ресурси). Склад технологічних ресурсів досить широкий і комплектується в процесі функціонування ОО. При цьому в разі надходження нової одиниці виробу склад ресурсів може як відповідати необхідному, так і значно відрізнятися від нього, і тоді доводиться доповнювати обладнання необхідними ресурсами. Отже, час переналагодження може коливатися від нуля до максимуму.

Аналіз виробничого розкладу показує, що всі невиробничі часи при роботі будь-якого обладнання тісно взаємопов’язані. Це обумовлюється послідовною обробкою деталей на виробничих лініях ділянки.

Таким чином, спираючись на вищенаведені міркування, можна побудувати математичну модель вирішення задачі визначення непродуктивного часу виробничої лінії, що складається з послідовно з’єднаних ОО в різних виробничих ситуаціях. Модель повинна дозволяти оперативно розраховувати час непередбаченого простою лінії за будь-яких можливих поєднаннях значень ситуаційних параметрів, таких, як тривалість простою окремих ОО і наявну кількість компонент (деталей) у заділах після кожної ОО. Запишемо модель у вигляді виразу:

$$\begin{cases} T^L_{PH} = f(T^n_{Pем}, T^n_{Nем}, t^n_z, t^n_{ik}), n = \overline{1,k} \\ X^L_{iфакт} = f(T^L_{ПР}, Ф) \end{cases}, \quad (15)$$

де $T^L_{ПР}$ – тривалість простою лінії виробництва компонент;

n – порядковий номер одиниці обладнання, що знаходиться в стані простою;

$T^n_{Пер}$ – тривалість операцій переналагоджень *n-ї* одиниці обладнання при надходженні на обробку нової партії деталей;

$T^n_{Pем}$ - час ремонту *n-ї* ОО;

t^n_z – час обробки заділу після *n-ї*, одиниці обладнання;

t^n_{ik} – тривалість обробки компонента;

a_{ik} – на *n-ї* одиниці обладнання;

$X^L_{iфакт}$ – фактичний випуск виробів на виробничій лінії;

Ф – фонд роботи обладнання за зміну.

Запишемо модель вирішення задачі визначення непродуктивного часу лінії виробництва компонент у разі простою одиниці обладнання, керуючись такими міркуваннями. Будемо розглядати непередбачений простій *n-ї* одиниці обладнання з двох причин: ремонту (> 0) або переналагодження (> 0). Оскільки обробка компонент на виробничій лінії послідовна, то час простою *n-ї* одиниці обладнання може спричинити за собою простій наступної, тоді час простою визначимо для будь-якої пари ОО рекурентним виразом:

$$T^n_{ПР} \begin{cases} T^n_{Pем} + T^{n-1}_{ПР} + t^{n-1}_{ik} - t^n_{z_{n-1}}, \text{при } t^n_{z_{n-1}} < T^{n-1}_{ПР} \\ T^n_{Pем} + T^{n-1}_{ПР} - t^n_{z_{n-1}}, \text{при } t^n_{z_{n-1}} > T^{n-1}_{ПР} \end{cases}, \quad (16)$$

У разі переналагодження *n-ї* одиниці обладнання час простою визначимо аналогічно:

$$T^n_{ПР} \begin{cases} T^n_{Пер} + T^{n-1}_{ПР} + t^{n-1}_{ik} - t^n_{z_{n-1}}, \text{при } t^n_{z_{n-1}} < T^{n-1}_{ПР} \\ T^n_{Пер} + T^{n-1}_{ПР} - t^n_{z_{n-1}}, \text{при } t^n_{z_{n-1}} > T^{n-1}_{ПР} \end{cases} \quad (17)$$

$t^n_{z_{n-1}}$ – заділ після *n-1-вой* одиниці обладнання.

Тоді час простою лінії виробництва компонент $T^L_{ПР}$ буде визначатися простоєм одиниці обладнання $T^{k}_{\text{ПР}}$, що стоїть останньою в лінії:

$$T^{L}_{\text{ПР}} = T^{k}_{\text{ПР}} \qquad (18)$$

Фактичний випуск продукції на виробничій лінії визначається:

$$X^{L}_{i\text{факт}} = \frac{X^{L}_{i_{\text{пл}}} \cdot (\Phi - T^{k}_{\text{ПР}})}{\Phi} \qquad (19)$$

де план випуску виробів на виробничій лінії.

Тоді відсоток виконання плану визначимо з виразу:

$$P_{\text{факт}} = \frac{X^{L}_{i_{\text{факт}}}}{X^{L}_{i_{\text{пл}}}} \cdot 100\% \qquad (20)$$

Дана математична модель дозволяє визначити:

– тривалість простою всіх одиниць обладнання, які перебувають в лінії зокрема, випадку ремонту *n-ї* одиниці обладнання;

- можливий час простою виробничої лінії;

- коефіцієнт виконання плану виробництва.

Модель може бути також використана при імітаційному моделюванні роботи виробничої дільниці у разі ремонту або переналагодження одиниці обладнання.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Хан, Д. Планирование и контроль: концепция контролинга / Д. Хан. – Москва, финансы и статистика, 1991. – 234с.

2. Кремер, Н. Ш. Исследование опрераций в экономике: учеб. пособие для вузов / [Н. Ш. Кремер, Б. А. Путко, И. М. Тришин, М. Н. Фридмакї; под. ред. проф. Н. Ш. Кремера]. – М. : ЮНИТИ, 2004 – 407 с.

3. Егиазарян, Г. А. Справочное пособие директору производственного объединения : 2-е изд., т. 1. / Г. А. Егиазарян. – М. : Экономика, 1985. – 528 с. – (Экономика, организация, планирование, управление).

4. Егиазарян, Г. А. Справочное пособие директору производственного объединения : 2-е изд., т. 1. / Г. А. Егиазарян. – М. : Экономика, 1985. – 468 с. – (Экономика, организация, планирование, управление).

5. Ульяченко, О. В. Дослідження операцій в економіці : підручн. для студентів вузів / О. В. Ульяченко. – Х. : Гриф, 2002. – 508 с.

Отримано редакцією 20.01.2013 р.

Кашуба Світлана Володимирівна, кандидат технічних наук, доцент кафедри «Інформаційні управляючі системи та інформатика» Кременчуцького університету економіки, інформаційних технологій та управління.

Маренич Ростислав Вікторович, студент ґрупи ІУС 12-51м Кременчуцького університету економіки, інформаційних технологій та управління.