

*РУЗМЕТОВ А.Р., УШАКОВ О.М.*

## **ВИЯВЛЕННЯ СТРУКТУРИ АНАЛІТИЧНОЇ ЗАЛЕЖНОСТІ КОЕФІЦІЄНТА ІНФОРМАЦІЙНОЇ НАПРУЖЕНОСТІ ВІД ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО СЕРЕДОВИЩА**

Підвищити рівень оптимізації завантаження технологічного комплексу з універсальним, мало автоматизованим обладнанням можна за рахунок одержання більш точної диференційованої інформації про працездатність робітника, що його обслуговує. Існуюча нормативна база поверхово враховує падіння працездатності через середньостатистичні показники і дає досить великий розкид значень: 15 – 30 %. Для підвищення точності контролю динаміки падіння працездатності основного робітника авторами запропонований метод диференційованого обліку груп факторів, які впливають на виконання кожного робочого руху, включеного до складу відповідного технологічного переходу. В ході виконаних досліджень розглядалася група факторів, що впливає на ріст інформаційної напруги робітника, що виражається в погіршенні уваги і швидкості рішення елементарних виробничих завдань. Підвищення точності прогнозування часових рамок проведення внутріопераційних допоміжних процесів, повинне забезпечуватися методикою, що коректно враховує зв'язок динаміки падіння працездатності робітника з ростом інформаційної напруги. Це дозволить поліпшити склад допоміжного оснащення і підвищити рівень оптимізації планування завантаження основного обладнання при врахуванні можливості багатостанкового обслуговування.

**Ключові слова:** технологічний комплекс, оснащення, обладнання, пристосування, автоматичний робочий хід, працездатність, технологічний прийом, інформаційна напруга.

**РУЗМЕТОВ А.Р., УШАКОВ А.Н.**

## **ВЫЯВЛЕНИЕ СТРУКТУРЫ АНАЛИТИЧЕСКОЙ ЗАВИСИМОСТИ КОЭФФИЦИЕНТА ИНФОРМАЦИОННОЙ НАПРЯЖЕННОСТИ ОТ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ**

Повысить уровень оптимизации загрузки технологического комплекса с универсальным, мало автоматизированным оборудованием можно за счет получения более точной дифференцированной информации о трудоспособности рабочего, который его обслуживает. Существующая нормативная база поверхностно учитывает падение трудоспособности через среднестатистические показатели и дает довольно большой разброс значений: 15 – 30 %. Для повышения точности контроля динамики падения трудоспособности основного рабочего авторами предложен метод дифференцированного учета групп факторов, которые влияют на выполнение каждого рабочего движения, включенного в состав соответствующего технологического перехода. В ходе выполненных исследований рассматривалась группа факторов, которая влияет на рост информационного напряжения рабочего, который выражается в ухудшении внимания и скорости решения элементарных производственных задач. Повышение точности прогнозирования временных рамок проведения внутрисерийных вспомогательных процессов, должно обеспечиваться методикой, которая корректно учитывает связь динамики падения трудоспособности рабочего с ростом информационного напряжения. Это позволит улучшить состав вспомогательного оснащения и повысить уровень оптимизации планирования загрузки основного оборудования при учете возможности многостаночного обслуживания.

**Ключевые слова:** технологический комплекс, оснащение, оборудование, приспособление, автоматический рабочий ход, трудоспособность, технологический прием, информационное напряжение.

**RUZMETOV A.R., USHAKOV A.N.**

## **DETERMINATION OF THE ANALYTICAL DEPENDENCE STRUCTURE OF INFORMATION TENSITY COEFFICIENT FROM TECHNOLOGICAL ENVIRONMENT PARAMETERS**

To increase the level of optimization of the loading a technological complex with universal, little automated equipment possible by obtaining more accurate differentiated information on the working capacity of the worker who serves him. The existing normative framework superficially takes into account the decline in working capacity through average statistic indicators and gives a rather large range of values: 15-30%. To increase the accuracy of control the dynamics of the fall in the working capacity of the main worker the authors propose a method of differentiated accounting of factors group of that affect the performance of each labor movement. In the course of the research was considered a group of factors that affects the growth of information tensity of the worker, which is expressed in the worsening of attention and velocities of the decision of the elementary production problems. The increase accuracy of forecasting the time frame for inside-operation supporting processes, should be provided by the methodology, which correctly takes into account the relationship between the dynamics of the of the fall in the working capacity of the worker with the growth of information tensity. This will improve the composition of auxiliary equipment and increase the level of optimization the planning loading of the main equipment, taking into account the possibility of multi-machine service.

**Keywords:** technological complex, equipping, equipment, fixing device, automatic worker move, working capacity, technological technique, information tensity.

**1. Вступ.** Планування завантаження основного обладнання неможливо робити без параметрів трудомісткості кожної розглянутої операції. Вибір найбільш ефективної і надійної структури допоміжного процесу дозволить оптимізувати склад допоміжного оснащення і контролювати рівень трудомісткості допоміжного процесу. Це буде

сприяти плануванню завантаження основного обладнання при врахуванні можливості багатостанкового обслуговування.

Тут у понятті "ефективність" вкладений зв'язок із трудомісткістю і можливістю паралельного запуску декількох технологічних операцій (при наявності перекриваємого допоміжного часу). У понятті

"надійної структури" мається на увазі коректне прогнозування часових рамок проведення внутрішньо операційних допоміжних процесів у зв'язку з динамікою падіння працездатності робітника. Коректність прогнозування складається в обліку груп факторів, які впливають на виконання кожного, окремо взятого, робочого руху, включеного до складу відповідного технологічного переходу.

## 2. Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Відомо, що на працездатність робітника впливає група факторів, яка породжує фізичну напругу (відстані переміщень, просувань, кути поворотів, габарити і маса переміщуваного вантажу, робочі зусилля) і група факторів, що породжує інформаційну напругу (кількість елементів технологічних об'єктів на робочому місці, яким необхідно приділити увагу для правильної реалізації алгоритму технологічного процесу, кількість правил, що відповідають цьому алгоритму і рівень упорядкованості в організації робочого місця) [1, 3, 4].

Коли визначена конструкція пристосування, що планується використати на проектованій операції, то особливості його приводу або системи закріплення заготовки, вже дають зрозуміти який тип допоміжного інструмента може бути необхідний при проведенні операції. Ця інформація, в свою чергу, визначає множину технологічних прийомів, що може бути застосована в складних організаційно-технологічних умовах [2, 3].

Залежно від глибини і складності алгоритмів роботи з конкретним технічним засобом реалізації технологічних переходів спостерігається певна динаміка росту нервово-емоційної напруги, що приводить до збільшення часу сенсомоторних реакцій та сповільнює робочий процес [4].

Допоміжний процес машинно-ручної технологічної операції, по суті, представлений послідовною зміною стадій переміщень, збирання та розбирання елементів оснащення і оброблюваної заготовки (деталі) і керування виконавчими механізмами. Метою кожної із цих стадій є або активізація технологічних функцій, або відновлення організаційного порядку на робочому місці, який відповідає, як правило, його відносно раціональному стану з позиції ергономіки [2].

**3. Мета роботи.** Виявлення аналітичної структури методики розрахунку коефіцієнту інформаційної напруженості в залежності від параметрів технологічного середовища.

**4. Основна частина.** Якщо результат рішення технологічної підзадачі має неприпустимі характеристики, то це може вимагати, або повторення останнього мікроелемента (комплексу мікроелементів), або пошуку додаткових умов забезпечення рішення технологічної підзадачі. Тому, практично на кожному мікроелементі процесу, структура допоміжного процесу може одержати альтернативний розвиток в рамках вимог операційної технології.

В якості прикладу розглянемо допоміжний процес підготовки автоматичного робочого ходу технологічної операції, яка проводиться на

горизонтально-фрезерному верстаті при фрезеруванні плоскої поверхні заготовки (попередньої бази) циліндричною фрезою в пристосуванні, що складається із системи настановних базуючих поверхонь, упорів і системи кріплення у вигляді прихоплювачів:

- деталь циліндричної форми встановлюється на призми з упором в один з торців і притискається зверху прихоплювачем як показано на рис. 1.

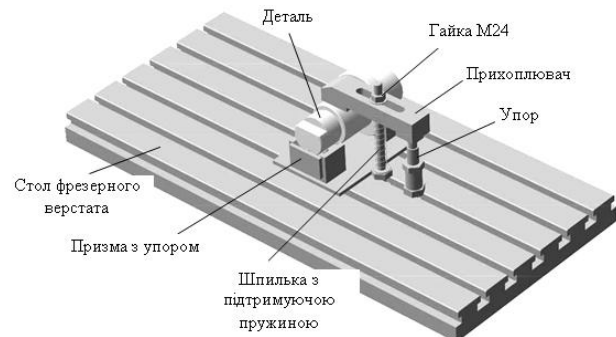


Рис. 1 – Взаємне розташування елементів налагодження пристосування і деталі

Дані операційної карти фрезерної операції наведені у таблиці 1.

Таблиця 1 – Дані операційної карти фрезерної операції

| Перехід               | Встановити, закріпити, зняти деталь |
|-----------------------|-------------------------------------|
| Пристосування         | Пристосування фрезерне              |
| Допоміжний інструмент | Ключ гайковий М24                   |

Незважаючи на формулювання переходу «А», послідовність дій по його виконанню починається з перевірки наявності деталі в пристосуванні та, у випадку наявності буде включати у переліку дій зняття деталі (рис. 2):

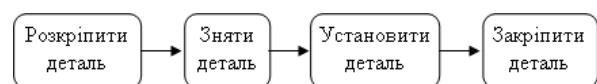


Рис. 2 Перелік комплексів прийомів переходу «А».

Для більш повного відображення множини логічних операцій, що супроводжують даний допоміжний перехід необхідно привести мікроелементний опис кожного комплексу прийомів (табл. 2).

Тривалість майже кожного мікроелемента (окрім логічних операцій) залежить від кількісних та якісних факторів, які характеризують умови його виконання. У табл. 2 і далі, поряд з позначеннями мікроелементів зазначені якісні фактори згідно БСМ-1 [4] з їх ступенями впливу: (К1 – К3), обережності (ОС1, ОС2), щільності з'єднання (П1 – П3), стиснення (СТ1 – СТ3), орієнтування (ОР1 – ОР3), зручності (У1 – У3).

Логічні умови р<sub>i</sub>, позначені в таблиці не входять до складу мікроелементів згідно БСМ-1, але

їх треба враховувати під час прив'язки мікроелементної структури до умов технологічної операції.

Таблиця 2 – Мікроелементний склад технологічного прийому по розкріпленню деталі

| № п/п | Опис мікроелемента                                   | Позначення                      |
|-------|--|---------------------------------|
| 1.    | Перевести погляд на пристосування                    | ПВ <sub>1</sub>                 |
|       | Чи є деталь у пристосуванні ?                        | p <sub>1</sub>                  |
| 2.    | Перевести погляд на місце зберігання гайкового ключа | ПВ <sub>2</sub>                 |
|       | Чи є ключ М24 ?                                      | p <sub>2</sub>                  |
| 3.    | Простягнути руку до ключа                            | ПР <sub>3</sub> (к2,ос1)        |
| 4.    | Взяти ключ   | В <sub>4</sub> (к2,ос1)         |
| 5.    | Перемістити ключ до пристосування                    | П <sub>5</sub> (к3,ос1)         |
| 6.    | Встановити ключ на гайку М24                         | УО <sub>6</sub> (п2,ос1,оп2,у1) |
|       | Чи правильно встановлений ключ ?                     | p <sub>3</sub>                  |
| 7.    | Перехопити ключ для передачі зусилля                 | ВП <sub>7</sub> 0               |
| 8.    | Повернути ключ із зусиллям                           | ПОО <sub>8</sub> (ос2)          |
| 9.    | Повернути ключ без зусилля                           | ПОО <sub>9</sub> (ос2)          |
|       | Чи досить відкручена гайка ?                         | p <sub>4</sub>                  |
| 10.   | Зняти ключ із гайки                                  | Р <sub>10</sub> (п2,ос1,у1)     |
| 11.   | Перемістити ключ у місце зберігання гайкового ключа  | П <sub>11</sub> (к2,ос1)        |
| 12.   | Відпустити ключ                                      | ВІД <sub>12</sub>               |

Логічна структура мікроелементного опису комплексу прийомів по зняттю, установці і по закріпленню деталі приведена у вигляді робочого алгоритму на рис.3.

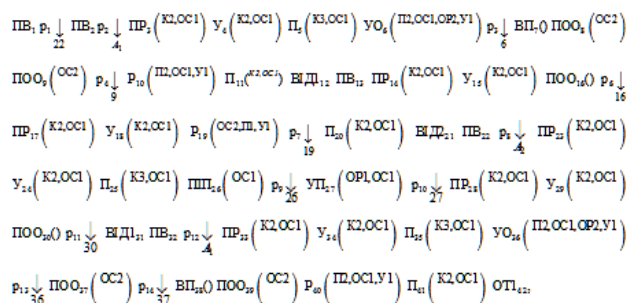


Рис. 3 – Мікроелементна структура алгоритму робочого процесу «Зняття – встановлення – закріплення деталі в пристосуванні»: А1 – алгоритм пошуку гайкового ключа; А2 – алгоритм зміни профілю роботи (організаційні заходи або відпрацювання нового завдання).

У даному алгоритмі реалізований послідовний ряд операторів - мікроелементів із циклічними замиканнями в межах одного - двох мікроелементів у місцях появи логічних умов (рис. 4):

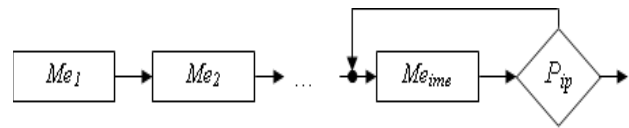


Рис. 4 – Типова блок-схема алгоритму допоміжного переходу при визначеному положенні заготовок, допоміжного інструменту на робочому місці: де  $ime = \overline{1, nme_{ip}}$  - множина мікроелементів, реалізованих у здійсненні  $ip$ -го переходу;  $ip = \overline{1, n_{pime}}$  - множина логічних умов реалізації мікроелементів.

Технологічна система механічної обробки, що припускає участь виконавця, є такою, що самоорганізується. Тобто її визначеність росте від початку підготовки, встановлення заготовки та до моменту кінця обробки деталі.

Первісний стан технологічного комплексу відрізняється максимальною ентропією щодо технологічного завдання. Виконавцеві необхідно покрити цю невизначеність, переробивши деякий обсяг інформації й перевіривши технологічний комплекс у стан вищої визначеності за прийнятне для даного виробничого завдання час.

Якщо  $p$  це величина невизначеності процесу, реалізованого окремим оператором трудового процесу або комплексом операторів (трудова дія, прийом і т.ін.), то  $1-p$  - це величина впорядкованості відповідного процесу. Тоді

$$MR_j = 1 - \frac{N_j^{evr}}{N_j}, \tag{1}$$

де  $N_j^{evr}$  - кількість об'єктів уваги зі слабо прогнозованими (рівновірогідними) станами (показання міряльного інструмента, поломки в системі «Верстат – Пристосування – Інструмент – Деталь» та т. ін.).

Визначеність величина зворотна до ентропії (H), тому зміни міри визначеності для технологічної операції можна проілюструвати таким чином (рис. 5):

Чим ближче технологічна операція до свого завершення, тим менше її невизначеність - менше логічних операцій залишається виконати. Величина впорядкованості стану технологічної системи, що відповідає моменту завершення обробки приблизно складе:  $MR_{jo}(t)|_{t=t_{on}} \approx 0,875$ .

З іншого боку, технологічна система це сукупність об'єктів технологічного і організаційного призначення, які виконують основні і допоміжні функції по підготовці і реалізації технологічних переходів та переміщенню деталі. Для виконання окремих технологічних прийомів необхідно розглядати деяку, відповідну кожному з них, підмножину об'єктів уваги. Усередині цієї підмножини є деяка група об'єктів, зміна властивостей яких необхідна для виконання технологічного прийому. Для зміни характеристик групи маніпулюємих об'єктів визначається множина

логічних операторів, що контролюють рівні активізації їхніх функціональних станів.

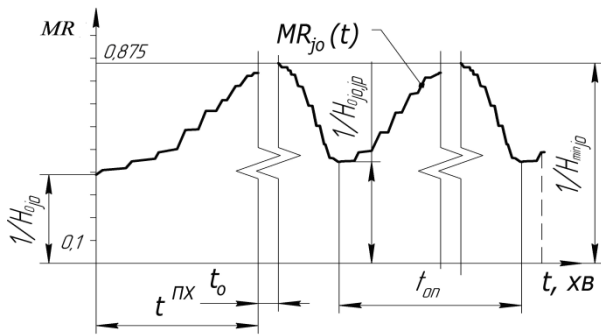


Рис. 5 – Зміни значення міри визначеності ( $MR_{jo}(t)$ ) при циклічному відпрацьовуванні технологічної операції дрібносерійного виробництва:  $H_{0,jo}$  - ентропія технологічної системи обробки різанням перед початком проведення  $jo$ -ої операції обробки;  $H_{0,jo,jp}$  - ентропія технологічної системи обробки різанням наприкінці кожного одноперехідного циклу обробки;  $H_{min,jo}$  - ентропія технологічної системи обробки при максимальному ступені визначеності (деталь у пристосуванні на верстаті, вже оброблена);  $t_{пх}$  - час підготовки  $jo$ -ої операції обробки, хв;  $t_0$  - основний час, хв;  $t_{оп}$  - оперативний час, хв.

Наприклад, для визначення станів об'єктів технологічної системи, таких як  $S_{об'єкт\ обобки} = \{заготівка, деталь\}$  або  $S_{пристосування} = \{зайнято, вільно\}$  можна використати однібітну операцію («0» або «1»).

По мірі виконання мікроелементів робочого процесу виконуються відповідні їм логічні оператори. Зменшення кількості логічних операторів, що залишилося, а разом з ними і розглядаємих характеристик об'єктів, збільшує визначеність технологічного комплексу у зв'язку з реалізацією відповідного технологічного прийому.

Для прив'язки мікроелементів робочих рухів до оперативного простору використовується формалізація їхніх умов реалізації у вигляді нечіткої моделі фрагментів робочого простору, у якій зв'язки між елементами регламентуються нечіткими відносинами із застосуванням лінгвістичних змінних. Наприклад, для мікроелемента «ПОО - повернути об'єкт навколо його осі» необхідно забезпечити умови реалізації, представлені в таблицях 3 і 4.

У таблиці 4: Sv 1-1- відстань між суб'єктом і об'єктом, відповідає 1-му діапазону (0 - 0,025м); DDF3 - ступінь зв'язку суб'єкта з об'єктом, відповідає 3-му діапазону (позбавлення 3 – 4 ступенів волі); INC3 - рівні включення об'єкта 1 в об'єкт 2, відповідає 3-му діапазону (позбавлення 4 – 5 ступенів свободи); SOA+ - відношення доступності об'єкта і його підсистем щодо суб'єкта, відповідає 1-му діапазону (є простір для маніпуляцій з об'єктом для даного мікроелемента); YR2, YR1 – значення кутів повороту

об'єкта щодо інших об'єктів (відповідає 2-му і 1-му діапазонам: 30-1800 і 0-300).

Таблиця 3 – Опис умов реалізації мікроелемента ПОО

|  |
|--|
| 1) Рука на об'єкті (після мікроелемента ВЗ – узятися);                         |
| 2) Об'єкт має ступінь волі повороту навколо своєї осі на кут від 300 до 1800 . |
| 3) Початкові кутові координати об'єкта.  |

Таблиця 4 – Лінгвістичні змінні, задіяні при визначенні умов реалізації

| № | до реалізації | після реалізації |
|---|---------------|------------------|
| 1 | Sv1, DDF3     | Sv1, DDF3        |
| 2 | INC4, SOA+,   | INC4             |
| 3 | YR2           | YR1              |

Як видно з опису умов реалізації мікроелемента ПОО виконавцеві перед його реалізацією потрібно обробити комплекс сигналів по взаємному положенню руки і об'єкта, оцінити ступеня свободи об'єкта щодо системи, оцінити простір у напрямку повороту, а потім зробити поворот, одночасно відслідковуючи кут між характерними поверхнями об'єкта (руки) і поверхнями інших об'єктів. Тобто система повинна мати у своєму розпорядженні достатню визначеність для його реалізації. Рівень ентропії системи нечітких відносин можна виразити формулою, відповідно до джерела [7]:

$$H(me_j) = -\sum_{i=1}^{nr} \mu_i(r_{i,id}) \log_2 \mu_i(r_{i,id}), \quad (2)$$

де  $me_j$  -  $j$ -й мікроелемент,  $j=1..n_{Me}$ ;  $\mu_i(r_{i,id})$  - функція нечіткої приналежності  $i$ -ої відносини  $id$ -му діапазону значень;  $i=1..nr$  - ножина відносин розгалужених у контексті даного мікроелемента.

Наявність таких відносин як DDFid, INCid, SOAid, може зажадати попереднього визначення їхніх значень, сполученого з появою відповідних умов і розгалуження алгоритму машинно-ручного процесу (рис.6).

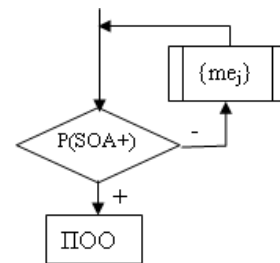


Рис. 6 – Розгалуження алгоритму машинно-ручного процесу.

Таким чином, типовий мікроелементний комплекс у неорганізованому технологічному середовищі може генерувати умови і алгоритмічну розмаїтість, що підвищить ентропію трудового процесу і інтенсивність переробки інформації виконавцем. Крім того, при реалізації мікроелемента об'єктна розмаїтість у різних виробничих середовищах при визначенні цих відносин також буде

відрізнитися, що вимагає задіяти спеціалізовані технології розпізнавання.

Визначити складність машинно-ручного процесу можна, керуючись правилом, що говорить про те, що вона прямо пропорційна розмаїтості об'єктів уваги, задіяних у даному процесі і обернено пропорційна мірі його впорядкованості:

$$Diff = \frac{\ln(N(me_j))}{e^{1-P}}, \quad (3)$$

де  $\ln(N_j)$  - міра розмаїтості об'єктів уваги (задіяних функціональних елементів);  $e^{1-P}$  - міра впорядкованості процесу.

У джерелі [6] запропонована методика розрахунку показника складності машинно-ручного процесу, що заснований на поверхневому підрахунку членів алгоритму і умов робочого процесу з обліком їх ентропій як незалежних випадкових подій.

Тим часом, якщо додержуватися джерела [8], будь-який машинно-ручний процес має багаторівневу структуру. Тобто він розбитий на підготовчі і основні етапи у відношенні кожного технологічного циклу і циклу маніпуляцій з технічними засобами практично на всіх рівнях укрупнення. Наприклад, моделі другого рівня укрупнення - трудові дії припускають найпростіші комплекси мікроелементів:

$$\begin{cases} A.V1 = \{PP1 - B1\} \\ A.P1 = \{PP1 - B1 - P1\} \\ A.X.P1 = \{X - PP1 - B1 - P1\} \end{cases}, \quad (4)$$

де A.V1 - комплекс «протягнути руку - взяти»; A.P1 - комплекс «протягнути руку - взяти - роз'єднати»; AX.P1 - комплекс «ходити - протягнути руку - взяти - роз'єднати».

Тут напрошується висновок – поява практично всіх елементів машинно-ручного процесу взаємообумовлена, принаймні, у рамках моделі трудової дії. Виходить, при підрахунку ентропій операторів і логічних умов необхідно користуватися матрицями умовних імовірностей їхньої появи.

Наприклад, з появою мікроелемента «PP1», що зустрічається в моделях 9 разів умовна ймовірність появи мікроелемента «B1», що зустрічається разом з «PP1» 8 разів складе 0,88, а мікроелемента «HP1» - 0,11 (зустрічається з «PP1» тільки один раз).

Таким чином, вираження для визначення умовної ентропії появи мікроелемента може мати вигляд:

$$H(me_{j+1}/me_j) = \sum_j^{n_{Me}} \sum_j^{n_{Me}} p(me_{j+1}) p(me_{j+1}/me_j) \times \log_2 p(me_{j+1}/me_j), \quad (5)$$

де  $j=1..n_{Me}$  - множина мікроелементів;  $p(me_{j+1})$  - ймовірність появи мікроелемента, що залежить від специфіки процесу і умов його реалізації;  $p(me_{j+1}/me_j)$  - умовна ймовірність появи мікроелемента  $me_{j+1}$  після появи мікроелемента  $me_j$ .

Ентропія трудової дії буде являти собою ентропію об'єднання відповідних мікроелементів:

$$H(Me_{ja}) = H(me_j, me_{j+1}..me_{j+k}) = H(me_j) + H(me_{j+1}/me_j) + H(me_{j+2}/me_j, me_{j+1}) + \dots + H(me_{j+k}/me_j, me_{j+1}..me_{j+k-1}) \quad (6)$$

де  $H(Me_{ja})$  - ентропія  $ja$ -ої трудової дії

Розрахунок ентропії появи логічної умови також може реалізовуватися за цією методикою, але при врахуванні наявності в комплексі 2-го рівня укрупнення мікроелементів, що вимагають перевірки відповідних відносин  $u(r_{ir,ja})$ , де  $r_{ir,ja}$  - іг-е відношення  $ja$ -го комплексу:

$$H(u(r_{ir,ja})/\{me_j\}_{ja}) = \sum_{ju_{ir,ja}}^{nu_{ir,ja}} \sum_j^{n_{Me}} p(u(r_{ir,ja})) \times p(u(r_{ir,ja})/\{me_j\}_{ja}) \log_2 p(u(r_{ir,ja})/\{me_j\}_{ja}) \quad (7)$$

де  $\{me_j\}_{ja}$  -  $ja$ -ий мікроелементний комплекс 2-го рівня укрупнення,  $j=1..n_{Me}$  - кількість мікроелементів у комплексі;  $p(u(r_{ir,ja}))$  - ймовірність появи логічної умови, що залежить від специфіки процесу і умов його реалізації;  $ju_{ir,ja}=1..nu_{ir,ja}$  - множина варіантів вибору, відповідно до умови;  $p(u(r_{ir,ja})/\{me_j\}_{ja})$  - умовна ймовірність появи  $ja$ -го мікроелементного комплексу після появи значення умови  $u(r_{ir,ja})$ .

Ентропія об'єднання умови і можливої трудової дії складе:

$$H(u(r_{ir,ja}), \{me_j\}_{ja}) = H(u(r_{ir,ja})) + H(\{me_j\}_{ja}/u(r_{ir,ja})), \quad (8)$$

У підсумку, відповідно до формули Зараковського [6], швидкість обробки інформації виконавцем при виконанні моделі, що відповідає, наприклад, третьому рівню укрупнення - трудовому прийому, можна визначити з вираження:

$$V(Me_{jp}) = \frac{1}{t_{jp}} \left[ \sum_{ja}^{n_{ja}} H(Me_{ja}) + \sum_{ja}^{n_{ja}} H(u(r_{ir,ja}), Me_{ja}) + \sum_j^{n_j} H(Me_j) \right], \quad (9)$$

де  $Me_{jp}$  - трудовий прийом,  $jp=1..n_{jp}$  - множина трудових прийомів у складі переходу;  $t_{jp}$  - час виконання трудового прийому.

Описана вище методика дозволяє застосувати ймовірнісний метод визначення кількості інформації для визначення інтенсивності її сприйняття виконавцем за рахунок використання апарата нечіткої логіки, що дозволяє уніфікувати інформацію про характеристики об'єктів технологічного комплексу і зв'язки між і ними замінюючи алфавіт дискретизацією діапазонів відносин, а ймовірності - функцією приналежності. Таким чином, показник  $V(Me_{jp})$  можна, у деякому наближенні, інтерпретувати як інтенсивність сприйняття

інформації робітником, що вже має фізичний зв'язок із часом виконання роботи.

Для застосування показника складності машинно-ручного процесу при корекції часу його реалізації необхідно задіяти співвідношення рівнів інтенсивності досліджуваного процесу і аналогічного, чітко пронормованого процесу з оптимальною інтенсивністю, що прийнятий за базу.

$$\Delta_{jp} = \frac{\delta_{jp}}{\delta_{jp}^b}, \quad (10)$$

де  $\delta_{jp}$  інтенсивність переробки інформації в досліджуваному технологічному прийомі:  $\delta_{jp} \cong V(Me_{jp})$ ;  $\delta_{jp}^b$  інтенсивність переробки інформації в базовому процесі праці, що функціонально відповідає досліджуваному технологічному прийому, але ретельно вивчений і пронормован.

За базовий можна прийняти Трудовий процес із мінімально припустимою кількістю функціональних елементів (об'єктів уваги), у якому відсутні логічні умови. Він практично оптимальний з погляду переробки інформації.

У систему мікроелементних нормативів часу (БСМ-1) був закладений психофізіологічно припустимий рівень інтенсивності праці або темпу роботи, при якому стомлення протягом зміни не перевищує припустимого. Нормативами визначений психофізіологічно оптимальний темп роботи, що характеризується оптимальним рівнем функціонування організму, який сприймається виконавцем як найбільш зручний. Це дає можливість прийняти процес виконання мікроелементів при відсутності умов як базовий і визначати відносні рівні інтенсивності у вигляді коефіцієнтів.

Тоді, якщо

$$\delta_{jp}^b = \frac{n_{jp}^b}{t_{jp}^b}, \quad (11)$$

де  $n_{jp}^b$  – число мікроелементів у базовому процесі трудового прийому;  $t_{jp}^b$  – час виконання базового процесу трудового прийому, хв.

То

$$\Delta_{jp} = \frac{t_{jp}^b \cdot V(Me_{jp})}{t_{jp} \cdot n_{jp}^b}, \quad (12)$$

Таким чином, коефіцієнт інформаційної напруженості може бути виражений з урахуванням показників стереотипності ( $St_{jp}$ ) і логічної складності ( $L_{jp}$ ), що розраховуються за методикою із джерела [6] і відносного рівня інтенсивності ( $\Delta_{jp}$ ).

$$Kit_{jp} = \frac{St_{jp}}{L_{jp}} \cdot \Delta_{jp} \cdot Ks, \quad (13)$$

де  $Ks$  – коефіцієнт психічної напруги виконавця, що залежить від ступеня достатності часу, що залишається для виконання всієї роботи, [9];

Психічна напруга виконавця наростає протягом всієї роботи і залежить від планового параметра виконання виробничого завдання. Виділяють три ситуації:

- не термінова – часу досить для завершення всіх завдань ( $c = 1$ );

- термінова – часу вистачає тільки на завершення істотних завдань ( $c = 2$ );

- у край термінова – часу не вистачає навіть для завершення істотних завдань ( $c = 3$ ).

Для не термінових і термінових ситуацій показник психічної напруги практично не враховують. Для край термінової ситуації психічна напруга істотно впливає на час виконання прийомів.

Якщо врахувати те, що реалізація технологічного процесу механічної обробки не носить екстремальний характер (не загрожує аварією) і, якщо не брати до уваги особистісні характеристики кожного робітника (емоційність, характер і т.д.), то коефіцієнт обліку психічної напруги ( $Ks$ ) можна розрахувати із вираження (14):

$$Ks = \begin{cases} -1.829x^3 + 3.472x^2 - 2.35x + 1 & \text{if } s(\sum t, T, c) < M \\ s(\sum t, T, c) + 1 - M & \text{if } M \leq s(\sum t, T, c) \leq M + 1 \end{cases}, \quad (14)$$

де  $x = \left( \frac{s(\sum t, T, c) - 1}{M - 1} \right)$ ;  $s(\sum t, T, c)$  – показник

психічної напруги виконавця;  $\sum t$  – вже витрачений до моменту виконання прийому час;  $T$  – повний час, наявний в розпорядженні у виконавця;  $c$  – показник терміновості виконання роботи:

$$\begin{cases} c = 1 & \text{if } T - \sum t \gg \sum \overline{t^E} \\ c = 2 & \text{if } T - \sum t = \sum \overline{t^E} \\ c = 3 & \text{if } T - \sum t < \sum \overline{t^E} \end{cases}, \quad (15)$$

де  $\sum \overline{t^E}$  – середнє значення часу виконання всіх

істотних завдань, що залишилися,  $mE$  – кількість істотних завдань, що залишилися;  $M$  – значення порога стресу для середньостатистичної людини  $M = 2,3$  [9].

Показник психічної напруги можна знайти із вираження (16):

$$s(\sum t, T, c) = \begin{cases} 1 & \text{if } (c=1) \vee (c=2) \\ \frac{\sum_{jp^E=jp} mE \overline{t_{jp^E}^E}}{T - \sum t} & \text{if } (c=3) \end{cases}, \quad (16)$$

де  $\sum t = \sum_{jp1=1}^{jp-1} t_{jp1}$ , де  $jp1 = \overline{1, jp}$  – множина прийомів

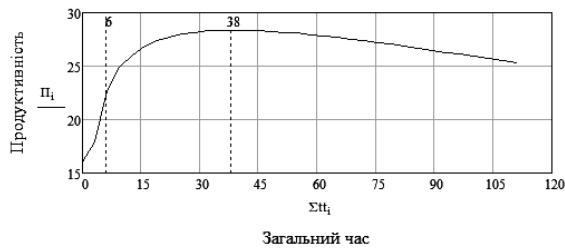
трудоного процесу вже реалізованих при виконанні виробничого завдання;  $\overline{t_{jp^E}^E}$  – середнє значення часу

виконання  $j_p$ -ого істотного завдання,  $j_p^E = \overline{1, mE}$  – множина істотних завдань, розв'язуваних при виконанні роботи.

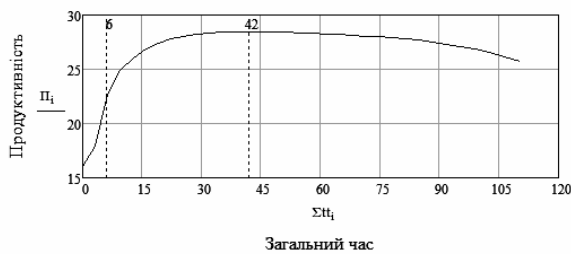
У підмножині умк, витрати часу виконання машинно-ручного процесу (наприклад трудового прийому) виконавцем складуть:

$$t_{j_p} = t_{j_p}^{BCM}(Ff, Fk) \cdot KF_{j_p} \cdot Kit_{j_p} \cdot KS_{j_p}, \quad (17)$$

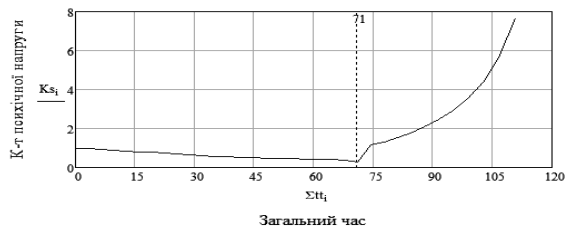
де  $t_{j_p}^{BCM}(Ff, Fk)$  – час, розрахований по БСМ [4], з урахуванням множин кількісних ( $Ff$ ) і якісних ( $Fk$ ) факторів;  $KF_{j_p}$  – коефіцієнт фізичної напруги;  $KS_{j_p}$  – коефіцієнт, що враховує типовість і повторюваність виконуваного машинно-ручного процесу.



а)



б)



в)

Рис. 7 – Показники продуктивності (а, б) і психічної напругеності (в) залежно від загального часу проведення

операції: а)  $\sum_{mE} t^E \ll T - \sum t$ ; б) і в)  $\sum_{mE} t^E > T - \sum t$

У ході синтезу мікроелементної структури, представленої на рисунку 2 прийомів машинно-ручної роботи установки і закріплення деталі в пристосуванні при виконанні технологічної операції «Фрезерування лиски» були отримані залежності продуктивності їхнього виконання від числа повторень (рис.7). Імітувалося повторення операції тривалістю 3,6 хв, яка повторювалась на протязі 2 годин. При цьому змінювався показник терміновості виконання через плановий час виконання  $T$  і час, що залишився на рішення істотних  $\sum_{mE} t^E$  завдань. При

$KS=1$  машинно-ручний процес має апріорні

показники трудомісткості одиничного процесу, тому що із самого початку в методику розрахунку закладений максимальний рівень ентропії, і невизначеність ситуації може різко вирости з появою будь-якого якісного показника із умов реалізації мікроелемента, що вимагає додаткових робіт. Тому коефіцієнт типовості виконуваної роботи  $KS$  відповідав 0,75.

На графіках (рис. 7) відображені зміни продуктивності і напруженості процесу виконання прийомів установки - зняття деталі із пристосування. Під продуктивністю розуміється кількість виконуваних мікроелементів у хвилину.

На рисунку 7 а) можна виділити фазу впрацювання, пікової продуктивності і її стабільного зниження внаслідок росту інформаційної напруженості. рисунки 7 б) і 7 в) демонструють більш стійку фазу пікової працездатності внаслідок росту психічної напруги через недолік часу, але після 71 хвилини відбувається вихід за граничне значення напруженості і більш круте падіння продуктивності ніж на рис. 7 а).

**Висновки.** Надано обґрунтування можливості моделювання зростання інформаційної та психологічної напруги виконавця машинно-ручного процесу роботи технологічного комплексу із застосуванням комбінаційного апарату нечітких множин та розрахунків ентропії станів виробничої системи. Показано, що створена модель продемонструвала очікуваний результат, представлений у літературі [10]: ріст показника терміновості виконання роботи приводить до росту продуктивності у визначених межах.

Надалі передбачається частково замінити коефіцієнт  $KS$  функціональними залежностями якісних показників умов реалізації, які враховували б повторюваність процесу і рівень його організації, відображаючи ці показники на необхідність появи умови перед виконуваним мікроелементом.

Представлений підхід дозволяє забезпечити порівняльний аналіз моделей машинно-ручної роботи, що надасть можливість побудови більш оптимальних план-графіків роботи ділянок механічної обробки.

#### Список літератури

1. Рузметов А.Р. Методика визначення функцій приналежності в системі проектування мікроструктури технологічного переходу / А.Р. Рузметов // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2014. – № 42 (1085). – С. 139 – 147.
2. Рузметов А.Р. К вопросу о имитационном моделировании машинно-ручных технологических операций в системах обработки металлов резанием / А.Н. Шелковой, Л.Б. Шрон, Г.И. Ищенко, А.Р. Рузметов, М.С. Семченко // Сучасні технології в машинобудуванні. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2015 – №10. – С. 177 – 191.
3. Рузметов А.Р. Оптимізація допоміжного процесу механічної обробки різанням з урахуванням організаційно технологічних витрат / А.Р. Рузметов // Технологічний аудит та резерви виробництва. – 2015. – № 4/1 (24). – С. 77 – 83.
4. Базовая система микроэлементных нормативов времени (БСМ-1). Нормативно производственное издание / под ред. С. А. Юровского. — М: Экономика. — 1989. — 122 с.

5. Психологія: Підручник / Ю.Л.Трофімов, В.В.Рибалка, П.А. Гончарук / ред. Ю.Л.Трофімов – Київ, 1999.
6. Трофімов Ю.Л. Інженерна психологія: Підручник – Київ: Либідь, 2002 – 264 с.
7. Федотов В.Х. Оценка неопределенности сложных нечетких систем / Федотов В.Х., Новожилова Н.В. // Вестник чувашского университета № 2 2011 ЧГУ им. И.Н. Ульянова С.488-493.
8. Методические рекомендации по расчету на ЭВМ норм времени на базе микроэлементных нормативов / ред. С. А. Юровский, В. Х. Педро // Нормативно-производственное издание. — М: Экономика, 1989. — 54 с.
9. Зигель А. Модели группового поведения в системе человек-машина с учетом психосоциальных и производственных факторов / А. Зигель, Дж. Вольф. — Издательство «Мир» Москва 1973 – 259 с.
10. Интегральная оценка работоспособности при умственном и физическом труде. Методические рекомендации. / Отв. за выпуск З. С. Богатыренко. — Издание второе, переработанное и дополненное. — Москва Экономика 1990. — 108 с.
- A.R. Ruzmetov, M.S. Semchenko // Suchasni tehnologiyi v mashinobuduvanni. – Harkiv: NTU «HPI». – 2015 – №10. – S. 177 – 191.
3. Ruzmetov A.R. Optimizaciya dopomizhnogo procesu mehanichnoyi obrobki rizannyam z urahuvannyam organizacijno tehnologichnih vitrat / A.R. Ruzmetov // Tehnologichnij audit ta rezervi virobniictva. – 2015. – № 4/1 (24). – S. 77 – 83.
4. Bazovaya sistema mikroelementnyh normativov vremeni (BSM-1). Normativno proizvodstvennoe izdanie / pod. red. S. A. Yurovskogo. — M: Ekonomika. — 1989. — 122 s.
5. Psihologiya: Pidruchnik / Yu.L.Trofimov, V.V.Ribalka, P.A. Goncharuk / red. Yu.L.Trofimov – Kiyiv, 1999.
6. Trofimov Yu.L. Inzhenerna psihologiya: Pidruchnik – Kiyiv: Libid, 2002 – 264 s.
7. Fedotov V.H. Ocenka neopredelennosti slozhnyh nechetkih sistem / Fedotov V.H., Novozhilova N.V. // Vestnik chuvashskogo universiteta № 2 2011 ChGU im. I.N. Ulyanova S.488-493.
8. Metodicheskie rekomendacii po raschetu na EVM norm vremeni na baze mikroelementnyh normativov / red. S. A. Yurovskij, V. H. Pedro // Normativno-proizvodstvennoe izdanie. — M: Ekonomika, 1989. — 54 s.
9. Zigel A. Modeli gruppovogo povedeniya v sisteme chelovek-mashina s uchetoм psihosocialnyh i proizvodstvennyh faktorov / A. Zigel, Dzh. Volf. — Izdatelstvo «Mir» Moskva 1973 – 259 s.
10. Integralnaya ocenka rabotosposobnosti pri umstvennom i fizicheskom trude. Metodicheskie rekomendacii. / Otv. za vipusk Z. S. Bogatyrenko. — Izdanie vtoroje, pererabotannoe i dopolnennoe. — Moskva Ekonomika 1990. — 108 s.

#### References (transliterated)

Поступила (received) 20.05.2020

#### Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Рузметов Андрій Русланович (Ruzmetov Andriy Ruslanovich, Ruzmetov Andrej Ruslanovich)** – кандидат технічних наук, доцент, кафедра Кафедра технології машинобудування й металорізальних верстатів НТУ «ХПІ», м. Харків, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6495-9099>; e-mail: [arnzetg@gmail.com](mailto:arnzetg@gmail.com)

**Ушаков Олександр Миколайович (Ushakov Aleksandr Nikolaevich, Ushakov Aleksandr Nikolaevich)** – кандидат технічних наук, доцент, кафедра Кафедра технології машинобудування й металорізальних верстатів НТУ «ХПІ», м. Харків, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1964-5450>; e-mail: [parom38@yandex.ua](mailto:parom38@yandex.ua)