

## РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ІНТЕГРАЛЬНОЇ ОЦІНКИ ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ПРОЦЕСУ АВТОМАТИЗОВАНОГО СКЛАДАННЯ ВИРОБІВ

**Конопляченко Євген Владиславович**

кандидат технічних наук, доцент  
Сумський національний аграрний університет  
ORCID: 0000-0003-4814-1796  
email: konoplyanchenko@ukr.net

**Колодненко Віталій Миколайович**

старший викладач  
Сумський національний аграрний університет  
ORCID: 0000-0002-8450-6759  
email: kolodnenko\_vn@ukr.net

**Бало Павло Миколайович**

старший викладач  
Сумський національний аграрний університет  
ORCID: 0000-0001-7042-8772  
email: technology@i.ua

*В статті приведено інтегральну оцінку впливу часової структури процесу автоматизованого складання виробів на надійність виробничих систем з урахуванням економічних показників. Запропонована математична модель зміни капітальних витрат в незавершеному виробництві, яка дає можливість поопераційно відстежити витрати в незавершеному виробництві з метою їх мінімізації.*

**Ключові слова:** виробничий процес, складання, часовий технологічний ланцюг, незавершене виробництво, мінімізація витрат.

DOI: <https://doi.org/10.32845/msnau.2019.1-2.2>

### Вступ

Сучасний рівень технічного прогресу, використання досягнень науки і техніки у виробництві, вимоги до підвищення якості виробництва, визначають необхідність удосконалення структури технологічного процесу складання (ТПС), так як складання є заключним і визначальним етапом виробничого процесу, який забезпечує технічні характеристики виробів і їх якість. При виборі варіантів структур ТПС велике значення набуває вирішення завдання синтезу, поетапного аналізу і оцінки ефективності проектних рішень. Розробка і впровадження заходів з побудови часової структури в даний час здійснюється головним чином на основі номінальних значень, з використанням уточнюючих коефіцієнтів. Недостатня методична розробка питань синтезу раціональних варіантів ТП за рахунок оптимізації часової складової є важливим стримуючим фактором використання раціональних технологічних рішень. Відсутність інженерних методик розрахунків елементів часу технологічного процесу є однією з причин суб'єктивізму при виборі виробничої структури і оцінки ефективності системи в цілому.

### Постановка проблеми

Розглянемо вплив часового резерву на собівартість операції складання на основі залежності, визначеної проф. В.С. Корсаковим [1]. Використання поняття вартості машини години передбачає поділ сукупних витрат по складальному обладнанню протягом аналізованого проміжку часу на тривалість останнього. У структурі собівартості складання виробу присутні два типи витрат. Витрати, залежні від кількості випущених виробів тобто залежать від трудомісткості складальних операцій ( $t_i$ ) - змінні витрати. Витрати, що розподіляються на весь період роботи обладнання - постійні витрати.

В якості останніх виступають витрати на амортизацію складального обладнання, а також амортизація будівлі під складальним устаткуванням. Використовуючи в якості подільника дійсний річний фонд часу роботи обладнання (Fd) в результаті ми не враховуємо час, який пов'язаний з організаційними і позаплановими простоями обладнання.

Розроблена математична модель операційної собівартості є функцією вартісних показників, часових показників, і показників надійності експлуатації [2]:

$$C_i = S_{з.р.i} + Z_{маші} + S_{нал.i} + Z_{oi}, \quad (1)$$

де  $S_{з.р.i}$  - заробітна плата робітників, зайнятих на  $i$ -й операції складання;  $S_{нал.i}$  - заробітна плата наладчиків на  $i$ -й операції складання;  $Z_{oi}$  - витрати на оснащення на  $i$ -й операції складання;  $Z_{маші}$  - витрати на обладнання:

$$Z_{маші} = \left[ S_{эi} + S_{ei} + S_{pi} + S_{в.м.i} + \frac{(S_{ai} + S_{a.з.i})}{(k_{зи} \cdot K_{эi})} \right] \cdot t_i, \quad (2)$$

де  $S_{эi}$  - витрати на електроенергію;  $S_{ei}$  - витрати на стиснене повітря;  $S_{pi}$  - витрати на ремонт обладнання;  $S_{в.м.i}$  - витрати на допоміжні матеріали з випуску продукції;  $S_{ai}$  - витрати на амортизацію складального обладнання;  $S_{a.з.i}$  - витрати на амортизацію будівлі під складальним устаткуванням.

Враховуючи розроблену модель можна дослідити залежність економічних показників – технологічної собівартості складання ( $C$ ), організаційних – коефіцієнту завантаження обладнання ( $K_{зи}$ ), та показників надійності автоматизованих

складальних систем – коефіцієнту готовності ( $K_r$ ) (рис. 1).

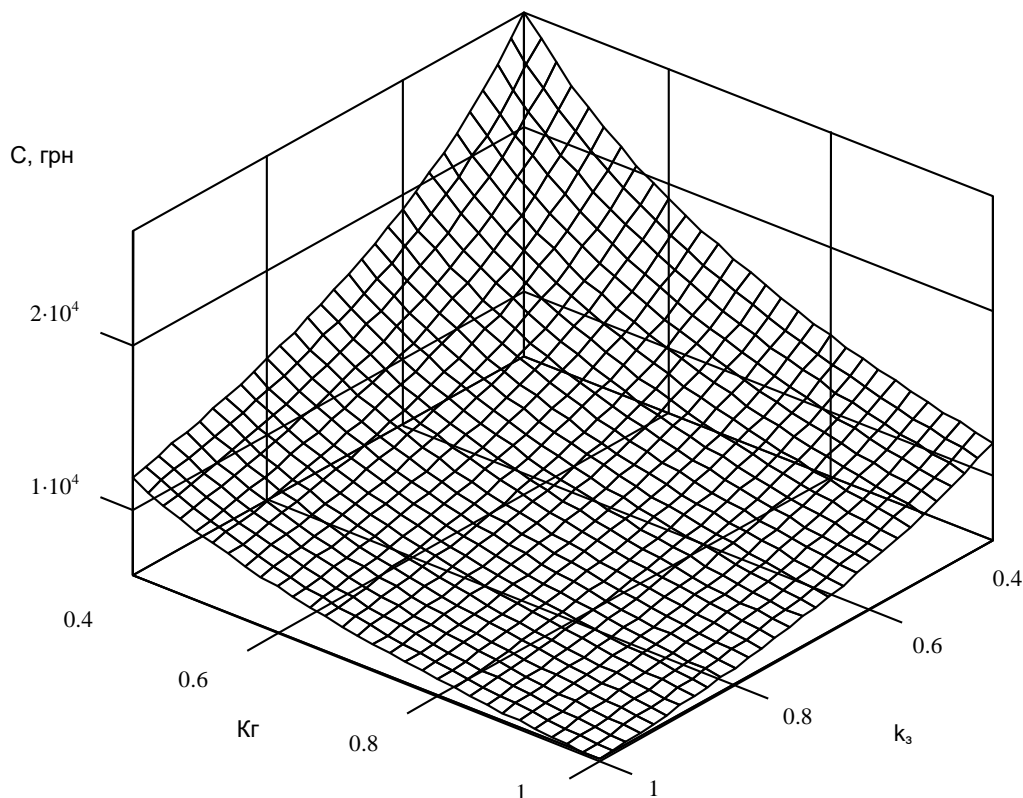


Рис. 1 Залежність собівартості складання від надійності обладнання і його завантаження

В залежності (2) сума витрат, приведених в у квадратних дужках, є вартість машино-години роботи обладнання: - змінна частина (електроенергія, стиснене повітря, ремонт, допоміжні матеріали), тобто витрати, що залежать від  $t_i$ . - постійна частина (амортизація обладнання і будівлі під обладнанням), що розраховуються на весь  $F_d$ . Для обліку постійних витрат в структурі вартості машино-години їх суму необхідно поділити на коефіцієнт використання обладнання ( $K_b$ ), що дорівнює [3]:

$$K_b = k_3 \cdot K_r \cdot K_{нал}, \quad (3)$$

де  $k_3$  - коефіцієнт завантаження;  $K_r$  - коефіцієнт готовності;  $K_{нал}$  - коефіцієнт переналадок.

Так як планова частка часу на переналагодження враховується в  $F_d$ , то в нашому випадку залежність (3) представляється у вигляді:

$$K_b = k_3 \cdot K_r$$

Таким чином, знизити собівартість складання виробів

можна зменшивши витрати на ремонт обладнання, тобто підвищивши його параметричну надійність обладнання. Другий шлях – підвищити ефективність експлуатації складального обладнання збільшивши його завантаження (2), або підвищити його експлуатаційну надійність за допомогою синтезу раціональної часової структури [4]. У першому випадку витрати на ремонт знизяться, а коефіцієнт готовності підвищиться. Однак це в свою чергу призведе до збільшення амортизаційних відрахувань на обладнання, внаслідок збільшення його вартості. Вважаємо, що встановлений оптимальний рівень параметричної надійності обладнання в залежності від сумарних витрат на обладнання і експлуатацію [5,6]. Значить знизити собівартість складання можна шляхом збільшення завантаження устаткування, і підвищення коефіцієнта готовності, за рахунок введення величини  $\Delta t^{вост}$  до складу часового резерву (рис.2) [7]. Нівелювання здійснюється за рахунок збільшення  $t_{пр i}$  або  $t^{мо}$ , але з іншого боку це загрожує підвищенням собівартості і збільшенням тривалості виробничого циклу відповідно (рис. 3). Крім того, простий устаткування і міжопераційні пролежування взаємопов'язані між собою і утворюють виробниче протиріччя [4].

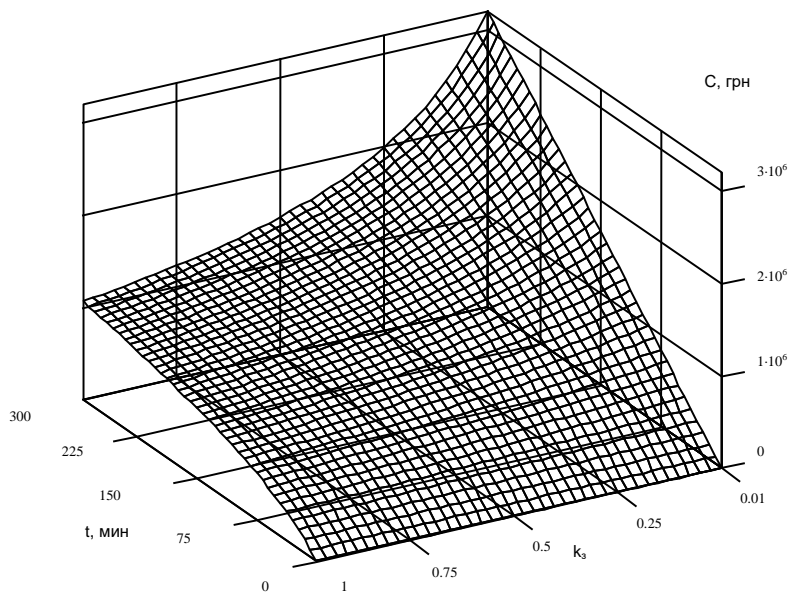


Рис. 2 Залежність собівартості від завантаження устаткування і трудомісткості виконання складальних операцій



Рис. 3 Пролежування деталей у виробництві

Крім збільшення тривалості виробничого циклу міжопераційні пролежування виробів праці у виробництві призводять до необхідності використання міжопераційних накопичувачів [8,9].

Якщо на початку ТПС в якості накопичувачів застосовують бункерні пристрої (рис. 4, а), то на останніх операціях ТПС це вже проміжні склади (рис. 4,б).



а)



б)

Рис. 4 виробничі накопичувачі

Відбувається наростання витрат в незавершеному виробництві. За визначенням зміна витрат в незавершеному виробництві є зміною капітальних витрат [9]:

$$K = K^{об} + K^{кв} + H \quad (4)$$

де  $K^{об}$  - капітальні витрати по обладнанню;  $K^{кв}$  - капі-

тальні витрати по накопичувальним системам;  $H$  - сума оборотних коштів в незавершеному виробництві.

Якщо склад обладнання не змінюється, то зміна капітальних витрат по устаткуванню дорівнює нулю. Поява в часовій структурі часу міжопераційного пролежування призведе до зміни капітальних витрат за накопичувальними системам. Врахування цієї зміни відбувається в математичній моделі собівартості шляхом збільшення в залежності (2) величин  $\Delta S_{ai}$ , і  $\Delta S_{a.z.i}$ .

Таким чином зміна в капітальних витратах зводиться до зміни витрат в незавершеному виробництві [9]:

$$\Delta K = \Delta H \quad (5)$$

#### Методика досліджень

Розглянемо процедуру наповнення накопичувального пристрою (рис. 5) складальними одиницями, яке відбувається внаслідок різної тривалості операцій складання.



Рис. 5 Міжопераційний накопичувач

Для наочності уявлення візьмемо часову структуру з максимальною тривалістю останньої операції (рис. 6) [4]. В якості об'єкту дослідження виберемо другу операцію ТПС.

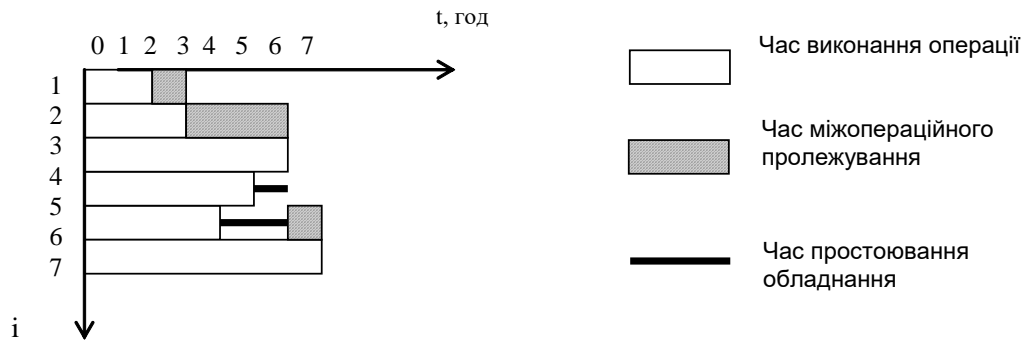


Рис. 6 Часова структура складання виробу

Вихідними даними для дослідження є: - тривалість операції складання:  $t_2 = 3$  год (час міжопераційного пролежування на другій операції:  $t^{mo_2} = 3$  год); - тривалість наступної операції збирання:  $t_3 = 6$  год.

Рисунки 7 - 9 ілюструють процедуру наповнення накопичувача при наступних входженнях в ТПС. На рисунках прийнято позначення  $CE$  - складальна одиниця;  $t$  - хронометраж ТПС.

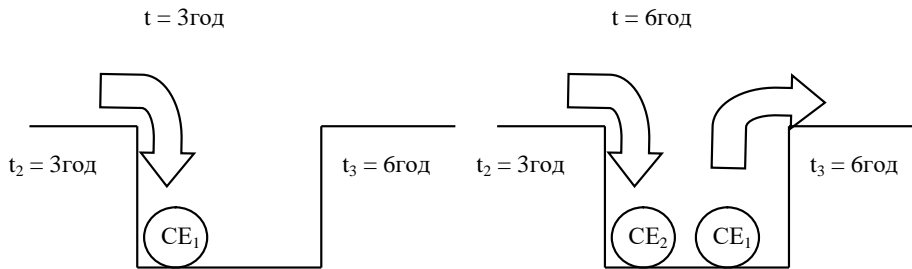


Рис.7 Ситуація при другому та третьому входженні в ТПС

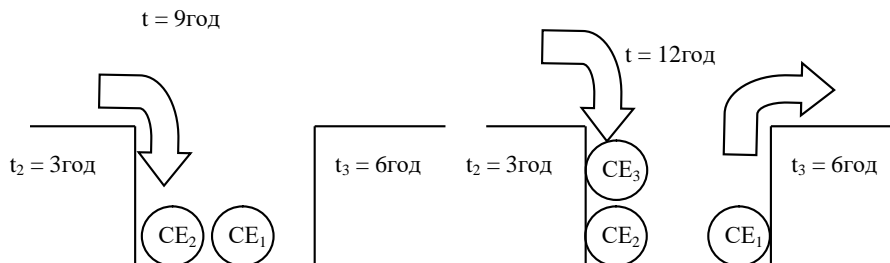


Рис.8 Ситуація при четвертому і п'ятому входження в ТПС

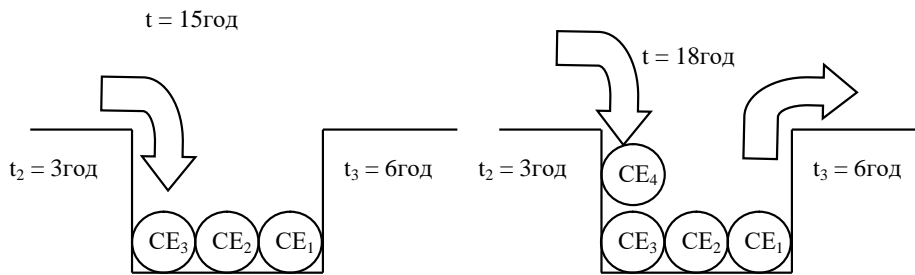


Рис.9 Ситуація при шостому і сьомому входженні в ТПС

В результаті дослідження впливу часу міжопераційного пролежування ( $t_{ij}^{MO}$ ) на швидкість наповнення накопичувального пристрою була розроблена математична модель роботи накопичувального пристрою (6) [2].

$$m_{n_{ij}} = \text{ceil} \left( \frac{t_{ij}^{MO}}{t_{(i+1)}} \right), \quad (6)$$

де  $m_{nij}$  - кількість СЕ в накопичувальному пристрої після  $i$ -ої операції при  $j$ -му входженні в ТПС.

Функція **ceil** округлює до більшого цілого результат ділення в дужках. Дана математична модель дає можливість визначити витрати по незавершеному виробництву в натуральному вигляді на будь-якій стадії ТПС при будь-якій кількості входжень в нього.

Обсяг виробів у незавершеному виробництві в залежності від кількості входжень в ТПС при різних відносинах  $t_{ij}^{MO}$  до  $t_{(i+1)}$  розподіляється відповідно до рис. 10.

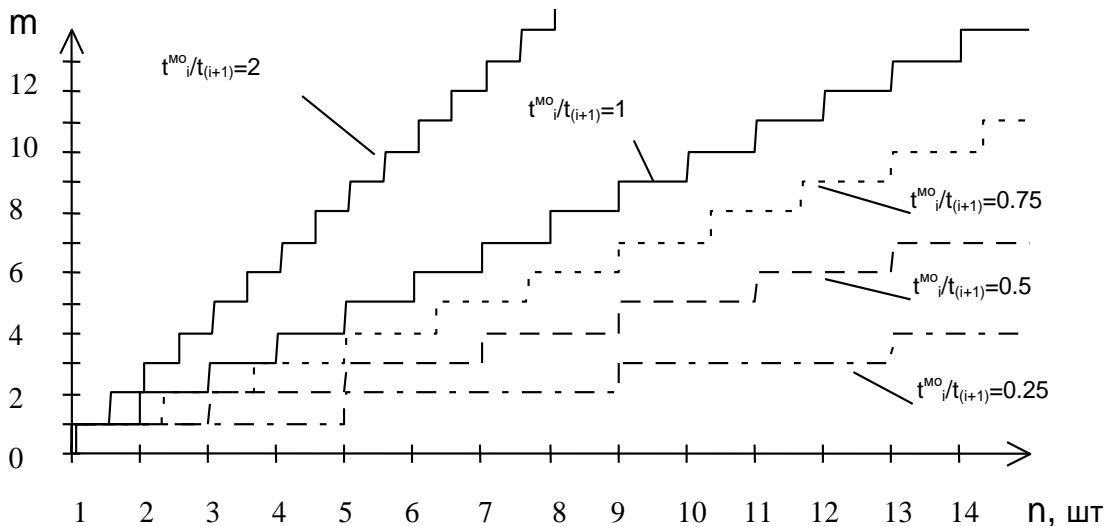


Рис. 10 Залежність обсягу виробів у незавершеному виробництві від кількості входжень в ТПС.

Залежно від стадії проходження виробом ТПС відбувається накопичення в виробі коштів, вкладених у виробництво. Аналітичну криву, представлену проф. Балакшином Б.С. [10] можна представити у вигляді дискретних ділянок наростання витрат на яких відбувається в залежності від собівартості збірки на суміжних операціях (рис. 11)

Існуючі математичні моделі засобів в незавершеному виробництві не відображають повною мірою їх структуру протягом ТПС так як розраховуються на всю тривалість

виробничого циклу. В них облік відбувається на підставі емпіричного коефіцієнта наростання витрат, який в залежності від виду виробництва змінюється в межах 0,5 до 1 [9,11].

#### Результати досліджень

Пропонована математична модель зміни капітальних витрат в незавершеному виробництві дає можливість поопераційно відстежити зміну коштів в незавершеному виробництві з метою їх раціонального використання.

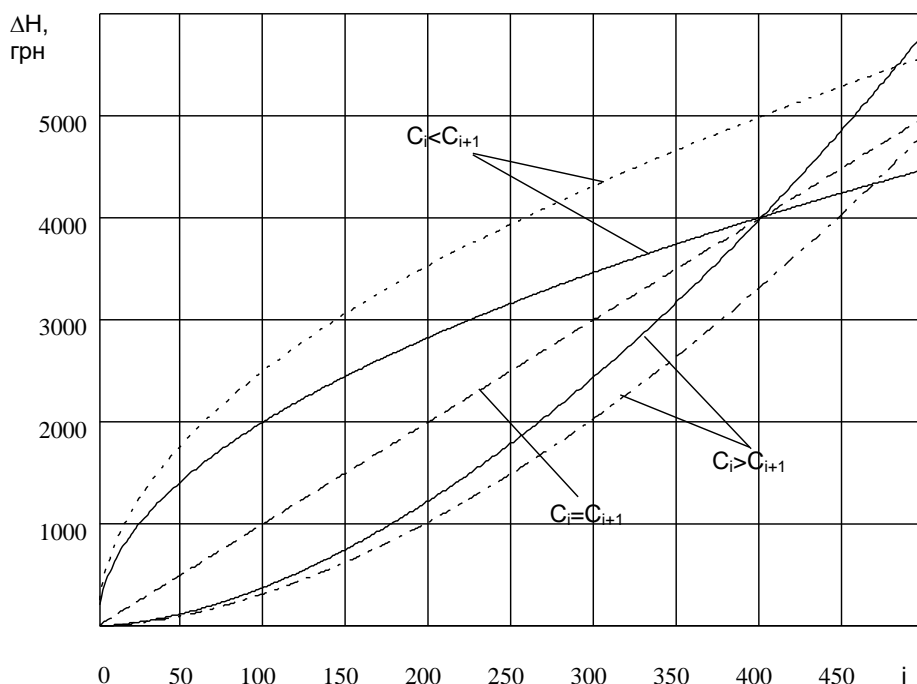


Рис. 11 Наростання витрат у незавершеному виробництві

$$\Delta H = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^k m_{nij} \cdot \left( \sum_{\zeta=1}^i C_{\zeta} + M_n \right), \quad (7)$$

$$S_{\text{прив}} = \sum_{i=1}^k C_i + \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^k m_{nij} \cdot \left( \sum_{\zeta=1}^i C_{\zeta} + M_n \right)$$

де  $M_n$  - початкові матеріальні витрати на деталь або складальну одиницю.

Відповідно до даної математичної моделі, кожна складальна одиниця містить у своїй структурі собівартості суму собівартості складання попередніх операцій ТПС, а також матеріальні витрати за попередніми складальними операціями.

#### Висновки

Таким чином часова складова ТПС впливає як на собівартість складання так і на капітальні витрати складання виробу. В якості критерію оптимізації часових технологічних ланцюгів необхідно використовувати приведені витрати на складання виробу:

Для раціональної організації виробництва необхідно в комплексі оцінювати вплив всіх елементів часу технологічного процесу, на економічні показники і показники надійності експлуатації, враховуючи наслідки мінімізації. Це дозволяє розкрити і використовувати для забезпечення нормального функціонування систем внутрішні резерви закладені в самих системах. Більш глибоке проникнення в сутність досліджуваних процесів функціонування дозволяє виявити і обґрунтувати нові, ефективні методи забезпечення надійності складних систем в реальних умовах експлуатації.

#### Список використаної літератури:

1. Справочник технолога-машиностроителя: В 2т./Машиностроение. – М., 1986. – Т.2/ Под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. – 496с.
2. Коноплянченко Е.В. Применение теории временных цепей в интегрированной логистической поддержке автоматизированного сборочного производства/ Коноплянченко Е.В., Колодненко В.Н. //Система розроблення та постановлення продукції на виробництво: матеріали I Міжнародної науково-практичної конференції (м. Суми, 17-20 травня 2016 року) / редкол.: О. Г. Гусак, К. О. Дядюра. - Суми : Сумський державний університет, 2016 – С.68-69.
- 3.Проников А.С. Надежность в технике. Технические системы. Методы оценки надежности сборочных операций: М. Р.-М.: ГК СТ, 1980. – 120с.
4. Коноплянченко Е.В. Підвищення надійності роботи складальних систем шляхом оптимізації часових технологічних ланцюгів / Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.08 – технологія машинобудування. — Харків: НТУ «ХПІ», 2001. — 20с.
5. Модели и методы оптимизации надежности сложных систем/ В.Л. Волкович, А.Ф. Волошин, В.А. Заславский, И.А. Ушаков / Под ред. В.С. Михалевича. – К.: Наук. думка, 1992. – 312с.
6. Надежность технических систем : Справочник / Под ред. И.А. Ушакова. - М.: Радио и связь, 1985. - 606 с.
7. Коноплянченко Е.В. Практические аспекты применения временных технологических цепей в ремонтных методах обеспечения надежности сложной техники/ Коноплянченко Е.В., Колодненко В.Н., Герасименко В.А.// Вісник ХНТУСГ. Проблеми надійності машин та засобів механізації сільськогосподарського виробництва. – Харків: ХНТУСГ. – 2012. – Вип. 128 –

C.152- 156.

8. Лебедевский М.С., Вейц В.Л., Федотов А.И. Научные основы автоматической сборки. - Л.: Машиностроение, 1985. - 316 с.

9. Организационно-технологическое проектирование ГПС /В.О. Азбель, А.Ю. Звоницкий, В.Н. Каминский и др. /Под ред. С.П. Митрофанова.- Л.: Машиностроение. - 1986.-294 с.

10. Балакшин Б.С. Основы технологии машиностроения. - М.: Машиностроение, 1969. - 358 с.

11. Технологические основы ГПС /В.А. Медведев, В.П.Вороненко, В.Н. Брюханов и др./ Под ред. Ю.М.Соломенцева – М.: Машиностроение, 1991. – 239с.

**Konoplianchenko Ie. V., Kolodnenko V. M., Balo P. M.**

***Development of methods of integral evaluation of economic indicators of the automated storage products process***

*The article presents an integrated estimation of the influence of the products automated assembly process time structure on the production systems reliability, taking into account economic indicators. A mathematical model of the change in capital costs in work in progress is proposed, which makes it possible to track operational costs of work in progress in order to minimize them.*

**Keywords:** *production process, assembly, time chain, work in progress, cost minimization.*

Дата надходження до редакції: 10.02.2019

## МОМЕНТИ ОСНОВНИХ РАДІАЛЬНИХ ТА КУТОВИХ СИЛ ШПАРИННОГО УЩІЛЬНЕННЯ ВІДЦЕНТРОВОГО НАСОСА

Горовий Сергій Олександрович

кандидат технічних наук, доцент  
Сумський національний аграрний університет  
ORCID: 0000-0003-4136-5965  
e-mail: gorovyj64@gmail.com

*У шпаринних ущільненнях відцентрових насосів внаслідок ексцентричного зміщення та кутового перекосу ротора виникає деформація епюри розподілу тиску по довжині та периметру, що породжує виникнення рівнодійних основних складових гідродинамічної сили: пружної, демпфуючої та циркуляційної. Рівнодійні основних сил можуть бути перенесені до геометричного центру ущільнення з утворенням відповідних гідродинамічних моментів. Ці гідродинамічні моменти радіальних та кутових гідродинамічних сил в шпаринному ущільненні відцентрового насоса мають вплив на динамічні характеристики агрегата у випадку здійснення ротором насоса сумісних радіально-кутових коливань. Куткові моменти є функціями кутів повороту ротора в шпаринному ущільненні. Момент пружної сили створює кутову нестабільність ротора в одиночному ущільненні, а за наявності двох симетричних шпаринних ущільнень цей момент компенсується моментами рівнодійних пружних сил відносно центра ротора в цілому.*

**Ключові слова.** Відцентровий насос, шпаринне ущільнення, опора-ущільнення, виток рідини, тиск рідини, напор рідини, гідродинамічні сили, моменти гідродинамічних сил.

DOI: <https://doi.org/10.32845/msnau.2019.1-2.3>

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** Ряд дослідів, які були здійснені на спеціально створених стендах, підтвердили теоретичні висновки про вплив ущільнень на динамічні характеристики ротора [1, 2, 3, 4, 5]. На сьогоднішній день існують конструктивні схеми відцентрових насосів так званої „безвальної“ конструкції, в яких робоче колесо насоса має можливість вільно самоорієнтуватися в симетричних ущільненнях, які виконують функції головних опорно-ущільнюючих вузлів з необхідними гідродинамічними параметрами [6]. При цьому робоче колесо здійснює вимушені радіально – кутові коливання під дією гідродинамічних сил та їх моментів в межах радіальних зазорів ущільнень.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Роботи багатьох науковців були присвячені дослідженню структури гідродинамічних сил та їх моментів у безконтактних ущільненнях проточної частини відцентрових насосів. Розрахункові та дослідні дані, що зумовлюють величини та напрями сил, докладно наведені в роботах [4, 5]. Гідродинамічні сили в ущільненнях можуть бути причиною руйнівних автоколивань ротора, або стабілізувати останній та суттєво зменшити віброактивність агрегату в цілому [1, 2, 3]. Цілеспрямована оптимізація вібраційних параметрів відцентрових насосів реалізується шляхом вдосконалення динамічних характеристик ротора з урахуванням гідродинамічних процесів, що мають місце в розвиненій системі шпаринних ущільнень між ротором та статором [7]. Гладкі шпаринні ущільнення дифузornoї форми повздожнього перетину створюють передумови для статичної та динамічної нестійкості ротора, а конфузорні, навпаки, сприяють стабілізації ротора.

**Формулювання цілей статті (постановка завдання).** В даній роботі пропонується якісно оцінити гідравлічні можливості безконтактних ущільнень створювати радіальні та кутові моменти основних гідродинамічних сил при виконанні функцій динамічних опор та ущільнень в єдиному вузлі шпаринного ущільнення відцентрового насоса. Самовстановлення ротора в симетричних шпаринних ущільненнях досягається за рахунок дії основних гідродинамічних

сил та їх моментів радіальної та кутової природи. Отримуються вирази щодо чисельного розрахунку гідравлічних коефіцієнтів моментів основних гідродинамічних сил.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Гідродинамічні процеси в рідинних шарах ущільнень породжують силову взаємодію між ротором та статором, що дуже суттєво впливає на динаміку відцентрового агрегату в цілому. Ротори відцентрових насосів окрім головних підшипникових вузлів спіраються на додаткову опорну систему, яка складається з безконтактних шпаринних ущільнень проточної частини.

Фізичні процеси гідродинамічного походження радіальних та кутових гідродинамічних сил в шпаринних ущільненнях зумовлюють той факт, що рівнодійні цих сил не проходять точно через геометричний центр ущільнення, що викликає появу гідродинамічних моментів при переносі рівнодійних в серединний перетин. В даній роботі розраховуються моменти гідродинамічних сил, які є функціями як радіального ексцентриситету, так і саме кутів перекосу (або повороту) вісі ротора по відношенню до двох взаємно перпендикулярних вісей – діаметрів серединного перетину гладкого циліндричного шпаринного ущільнення. Гідродинамічне походження гідродинамічних сил пов'язане з деформацією епюри тиску рідини в ущільненні вздовж периметру та вздовж довжини дроселюючого кільцевого каналу ущільнення. Деформація епюри тиску, що зумовлюється кутовими переміщеннями ротора, породжує гідродинамічну силу, складові якої характеризуються такими коефіцієнтами: коефіцієнт кутової (або кутової гідростатичної) жорсткості, коефіцієнт кутового демпфювання та коефіцієнт кутової циркуляційної сили щодо кутових коливань ротора в ущільненні. Такий розділ складових сумарної гідродинамічної сили окремо на радіальні та кутові компоненти можливий тому, що ці складові є функціями двох незалежних параметрів, а саме: радіального ексцентриситету ротора в ущільненні та кута перекосу (або повороту) вісі ротора в ущільненні.

Функціональні вирази для моментів сил відносно двох взаємно перпендикулярних діаметрів серединного перетину