

УДК 658.512

**О.М. ШЕЛКОВИЙ, М.С. МАРТИНОВ, О.В. НАБОКА****ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ І НАДІЙНОСТІ СКЛАДАННЯ ВУЗЛА «ГІДРОАГРЕГАТ» В УМОВАХ АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИРОБНИЦТВА**

Наведено аналіз проблем та існуючих методів підвищення продуктивності складання вузлів. Для підвищення продуктивності та автоматизації складання вузлів запропонована математична модель системи імітаційного моделювання виробничих систем складання вузлів. Прогнозується підвищення продуктивності складання вузлів до 20% при використанні математичної моделі систем імітаційного моделювання виробничих систем.

**Ключевые слова:** складання вузлів, підвищення продуктивності, математична модель, систем імітаційного моделювання виробничих систем.

**Введення.** Процес складання є заключним етапом виготовлення машини, який значною мірою визначає її основні експлуатаційні якості. Умови досягнення високих експлуатаційних якостей машини не обмежуються створенням її вдалої конструкції або застосуванням високоякісних матеріалів для виготовлення її деталей. Не гарантує цих якостей і високоточне виготовлення деталей із забезпеченням оптимального стану поверхневих шарів їх сполучених або робочих поверхонь. Це пов'язано з тим, що в процесі складання цілком доброякісних виробів з різних причин можуть виникати похибки взаємного розташування деталей, істотно знижують точність і службові якості виробу, що збирається [1].

Актуальність цієї теми пов'язана з тим, що виконання складальних робіт пов'язано з великою витратою часу, яка складає значну частку загальної трудомісткості виготовлення машини. У машинобудуванні трудомісткість складальних робіт становить 20-70% загальної трудомісткості виготовлення виробу, а рівень їх автоматизації не перевищує 10-15%, залежно від типу виробництва. Також слід зазначити, що основна частина (50-85%) слюсарно-складальних робіт являє собою ручні роботи, що вимагають великих витрат фізичної праці і високої кваліфікації робітників. А з використанням різних систем АСПВ можливе підвищення економічних показників роботи підприємства, що дуже актуально на даному етапі в нашому виробництві. Тобто задачею цієї роботи є оптимізація технологічного процесу, що забезпечить мінімальний час складання вузла «Гідроагрегат» на вальцешліфувальному верстаті моделі 3А417РМ на основі імітаційного моделювання [2].

Ця стаття орієнтована на складальні підприємства дрібносерійного виробництва, які працюють з вальцешліфувальними станками.

Метою є – математична модель системи імітаційного моделювання виробничих систем складання вузлів.

Для досягнення цієї мети поставлені та вирішені наступні задачі:

1. Виконано аналіз проблем імітаційного моделювання виробничих систем складання вузлів.
2. Була виконана постановка задачі імітаційного моделювання виробничих систем складання вузла «Гідроагрегат».

3. Розроблена математична модель системи імітаційного моделювання виробничих систем складання вузлів.

Для повноцінної роботи системи проектування складального процесу потрібна конструкторсько-технологічна модель виробу (КТМВ). Це завдання має рішення у вигляді представлення виробу графом, вузли якого утворюються сукупністю модулів поверхонь (МП), а ребра - модулів з'єднання (МС). Відповідною підзадачею є декомпозиція виробу на МП і МС, встановлення зв'язків між ними і безпосередньо побудова графа виробу (рис 1).

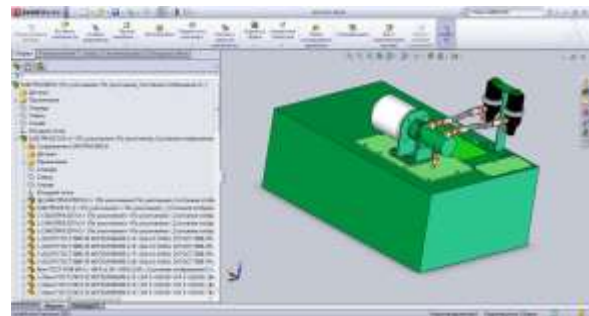


Рис. 1 – Тривимірна модель складального виробу 3А417РМ.300СБ «Гідроагрегат» і його дерево побудови

Таким чином, система проектування СДС СМВ матиме можливість пізнавати виріб і деталі як об'єкти, що взаємодіють, а не як абсолютно знеособлені тіла. На підставі вищевикладеного, пропонується наступний спосіб побудови САПР ТП складання (в порядку дотримання модулів, рис. 2).

Модуль отримання графа виробу (рис. 2). У даному модулі здійснюється автоматизована генерація графа виробу, що утворено сукупністю МПБ (МП що базують) деталей і зв'язками між ними. Виконується декомпозиція виробу на МП і виявлення МС. Вимагає алгоритму виділення і розпізнавання в деталях МП і МС. Після чого виявляють базові деталі для загальної і вузлових збірок. Для цього використовуються дані по масі, габаритам і кількості МС, які утворює деталь (рис. 3).

Математичне забезпечення імітаційної моделі виробничої системи складання вузла «Гідроагрегат» почи-

нається з розрахунку коефіцієнту складання для деталей вузла «Гідроагрегат».

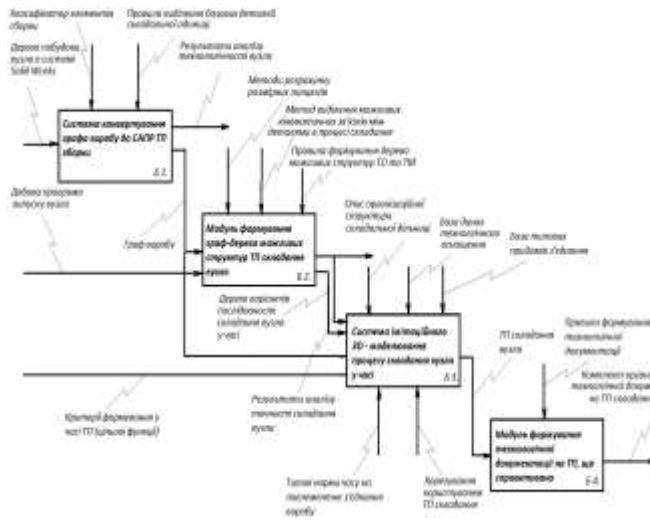


Рис. 2 – Методика оптимізації організаційно-технологічної структури СДС ССМВ

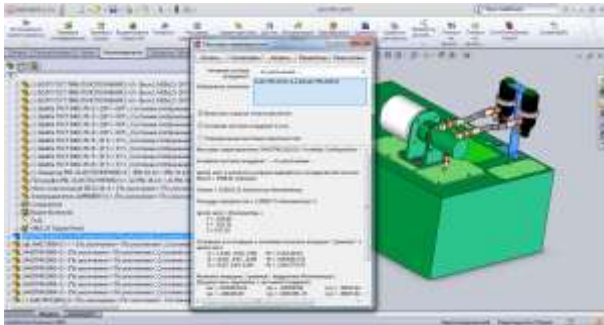


Рис. 3 – Приклад розрахунку у САПР «SolidWorks 2014» масових і габаритних характеристик деталей та їхніх поверхонь

Який в свою чергу починається з роботи в програмі Microsoft Excel. Спочатку потрібно визначитись, яка кількість деталей входить в зборку. Потім які з них являються базовими, а які кріпильними. Далі в таблицю, яка представлена на рис. 4 зводяться всі номери деталей, які між собою сполучаються в зборці, а також їхні площі дотику та об'єми.

На рис. 4 в колонці:

А – номер по порядку деталі;

В – назва деталі;

С – шифр деталі;

Д – номер базової деталі

Е – номер деталі, яка встановлюється на базову деталь

Ф – значення об'єму деталі, якщо номери в рядку по нульовій та першій колонки збігаються, якщо номери в рядку по першій і нульовій колонки не збігаються – площа поверхні по якій можливий контакт базової поверхні з приєднувальною;

Г – вид деталі: 0 – базова, 1 – кріпильна.

Розраховується узагальнений коефіцієнт складання для кожної з деталей ( $Ksb_i$ ), що входять у виріб (1)

№	Г	В	С	Д	Е	Ф	Г
1	0	Гарбузи	3441794.3000	0	0	3478796.33	0
2	1	Вент	3441794.3000	0	1	957794.53	0
3	2	Вент	3441794.3001	0	2	957794.54	0
4	3	Вент	3441794.3002	0	3	957794.55	0
5	4	Вент	3441794.3003	0	4	957794.53	0
6	5	Вент	3441794.3004	0	5	957794.53	0
7	6	Вент	3441794.3005	0	6	957794.53	0
8	7	Вент	3441794.3006	0	7	957794.53	0
9	8	Вент	3441794.3007	0	8	957794.53	0
10	9	Вент	3441794.3008	0	9	957794.53	0
11	10	Вент	3441794.3009	0	10	957794.53	0
12	11	Вент	3441794.3010	0	11	957794.53	0
13	12	Вент	3441794.3011	0	12	957794.53	0
14	13	Вент	3441794.3012	0	13	957794.53	0
15	14	Вент	3441794.3013	0	14	957794.53	0
16	15	Вент	3441794.3014	0	15	957794.53	0
17	16	Вент	3441794.3015	0	16	957794.53	0
18	17	Вент	3441794.3016	0	17	957794.53	0
19	18	Вент	3441794.3017	0	18	957794.53	0
20	19	Вент	3441794.3018	0	19	957794.53	0
21	20	Вент	3441794.3019	0	20	957794.53	0
22	21	Вент	3441794.3020	0	21	957794.53	0
23	22	Вент	3441794.3021	0	22	957794.53	0
24	23	Вент	3441794.3022	0	23	957794.53	0
25	24	Вент	3441794.3023	0	24	957794.53	0

Рис. 4 – Таблиця в програмі Excel для розрахунку коефіцієнту складання для деталей вузла «Гідроагрегат»

$$Ksb_i = \sqrt[3]{\frac{V_i}{V_{max}}} + \sqrt{\frac{S_{\Sigma i}}{S_{\Sigma max}}} + \frac{n_i}{n_{max}}, \quad (1)$$

де:  $V_{max}$  – об'єм самої великої деталі,  $V_i$  – об'єм поточної деталі,  $n_{max}$  – максимальна кількість деталей, що приєднується до одної з деталей у вузлі,  $n_i$  – кількість деталей, що приєднується до поточної деталі,  $S_{\Sigma max}$  – максимальна сумарна площа поверхонь деталей, що контактують з однією з деталей,  $S_{\Sigma i}$  – максимальна сумарна площа поверхонь деталей, що контактують з  $i$ -ю деталлю.

Розраховується коефіцієнт складання за допомогою програми Mathcad, тіло програми показано на рис. 5 – 6.

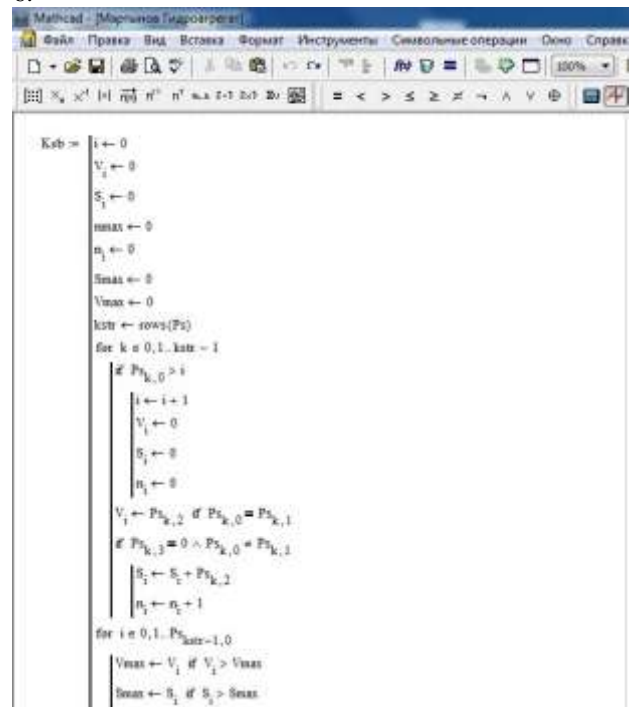


Рис. 5 – Початок програми в системі Mathcad для розрахунку коефіцієнту складання для деталей вузла «Гідроагрегат»

```

mmax ← n1 if n1 > mmax
for m = 0, 1, Pm, ..., Pm-1, 0
    Kc_m,0 ← √(V_m / V_max)
    Kc_m,1 ← √(S_m / S_max)
    Kc_m,2 ← n_m / mmax
    Kc_m,3 ← Kc_m,0 + Kc_m,1 + Kc_m,2
Kcb ← Kc
    
```

Рис. 6 – Закінчення програми в системі Mathcad для розрахунку коефіцієнту складання для деталей вузла «Гідроагрегат»

Далі проводиться розробка послідовності складання вузла «Гідроагрегат» за переходами в системі Mathcad завдяки програмі представленої на рис. 7 – 9.

```

For i ← 0
    P1,2 ← 0
    Kd ← rows(Kcb)
    Ka ← rows(Pa)
    for k = 0, 1, Kd - 1
        for j = 0, 1, Ka - 1
            if Pj,0 = k ∧ Pj,1 = 0 ∧ Pj,2 = Pj,1 + Kcbj,3 > P1,2
                P1,0 ← k
                P1,1 ← -1
                P1,2 ← Kcbj,3
                break if Pj,0 > k
            KcbPj,3 ← 0
        i ← i + 1
        P1,2 ← 0
        P1,1 ← -1
        P1,0 ← -1
    while i < Kd
        for j = 0, 1, i - 1
            for r = 0, 1, Ka - 1
                if Pj,0 = 0 ∧ Pj,1 = Pj,1 + P1,2 < KcbPj,3 ∧ Pj,0 = P1,0
                    P1,0 ← Pj,0
                    P1,1 ← Pj,1
                    P1,2 ← Pj,2
    
```

Рис. 7 – Початок програми в системі Mathcad для розробки послідовності складання вузла «Гідроагрегат» за переходами

```

P1,2 ← KcbPj,3
break if P1,2 = 0
KcbPj,3 ← 0
i ← i + 1
P1,2 ← 0
P1,1 ← -1
P1,0 ← -1
m ← 0
for i = 0, 1, rows(Kcb) - 1
    if Kcbi,1 = 0
        j ← i
        Pd0 ← j
        Pd1 ← -1
        Pd2 ← Kcbj,3
        for k = 0, 1, rows(Pa) - 1
            if Pa_k,0 = j ∧ Pa_k,0 = Pa_k,1
                n ← Pa_k,1
                for r = 0, 1, rows(Pa) - 1
                    Pd1 ← r if Pa_r,0 = n ∧ Pd1 < r
                for m = rows(P) - 1, rows(P) - 2, Pd1 + 1
    
```

Рис. 8 – Продовження програми в системі Mathcad для розробки послідовності складання вузла «Гідроагрегат» за переходами

```

Pm+1,0 ← Pm,0
Pm+1,1 ← Pm,1
Pm+1,2 ← Pm,2
Pd1+1,1 ← Pd1,0
Pd1+1,2 ← Pd1,1
Pd1+1,0 ← Pd1,0
P0,3 ← 0
for k = 1, 2, rows(P) - 1
    for r = k, k - 1, 0
        if Pk,1 = Pr,0
            Pk,3 ← Pr,3 + 1
            break
P
    
```

Рис. 9 – Закінчення програми в системі Mathcad для розробки послідовності складання вузла «Гідроагрегат» за переходами

Розробка структур технологічних операцій, що забезпечують мінімальний час складання вузла «Гідроагрегат» розпочинається з системи Mathcad завдяки програмі представленої на рис. 10.

Цикл «for» дозволяє визначити, які блоки (вузли, під вузли) формуються в загальному складальному вузлі. Для того щоб у подальшому сформувані варіанти послідовності складання виробу в цілому.

```

For i ← 0
    for i = 0, 1, rows(Kcb) - 1
        if Kcbi,1 = 0
            j ← i
            Pd0 ← j
            Pd1 ← -1
            for k = 0, 1, rows(Pa) - 1
                if Pa_k,0 = j ∧ Pa_k,0 = Pa_k,1
                    n ← Pa_k,1
                    for r = 0, 1, rows(Pa) - 1
                        Pd1 ← r if Pa_r,0 = n ∧ Pd1 < r
                    m ← m + 1
            Pd
    
```

Рис. 10 – Програма в системі Mathcad для розробки структур технологічних операцій, що забезпечують мінімальний час складання вузла «Гідроагрегат»

Розрахуємо коефіцієнт складання за допомогою програми Mathcad. Для з колонок D, E, F та G (рис. 4) утворюємо масив в програмі Mathcad рис. 11.

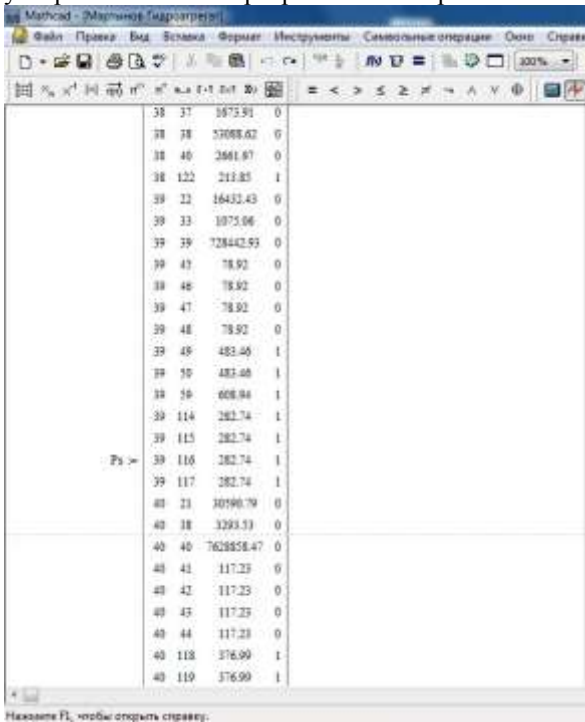


Рис. 11 – Масив в програмі Mathcad для розрахунку коефіцієнту складання для деталей вузла «Гідроагрегат»

Після перевірки масиву за допомогою програми розрахунку коефіцієнту складання для деталей вузла «Гідроагрегат» в системі Mathcad представлена на рис. 5 - 6 розраховуємо коефіцієнт складання та зводимо всі данні в одну матрицю в системі Mathcad представлена на рис. 12.

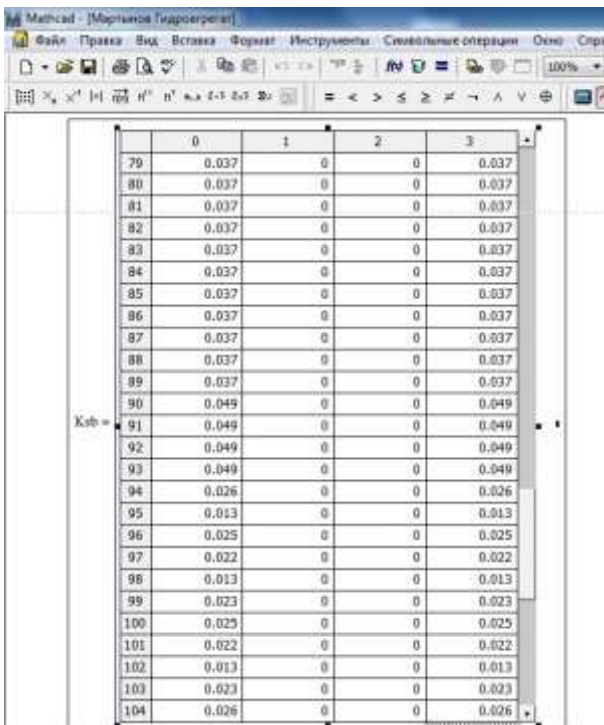


Рис. 12 – Матриця в системі Mathcad з розрахованими коефіцієнтами складання для деталей вузла «Гідроагрегат»

Далі проводиться розробка послідовності складання вузла «Гідроагрегат» за переходами в системі Mathcad завдяки програмі представленій на рис. 7 – 9 та зводимо всі данні в одну матрицю в системі Mathcad представлена на рис. 13.

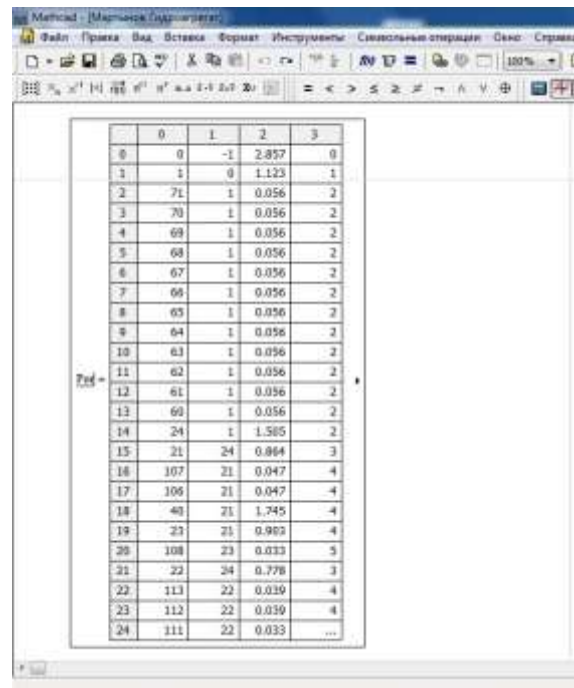


Рис. 13 – Матриця в системі Mathcad з даними для розробки послідовності складання вузла «Гідроагрегат» за переходами

Згідно значень матриці представленій на рис. 13 формується послідовність складання вузла «Гідроагрегат» за переходами.

Матриця даних для алгоритму зображеному на рис. 10 представлена на рис. 14.

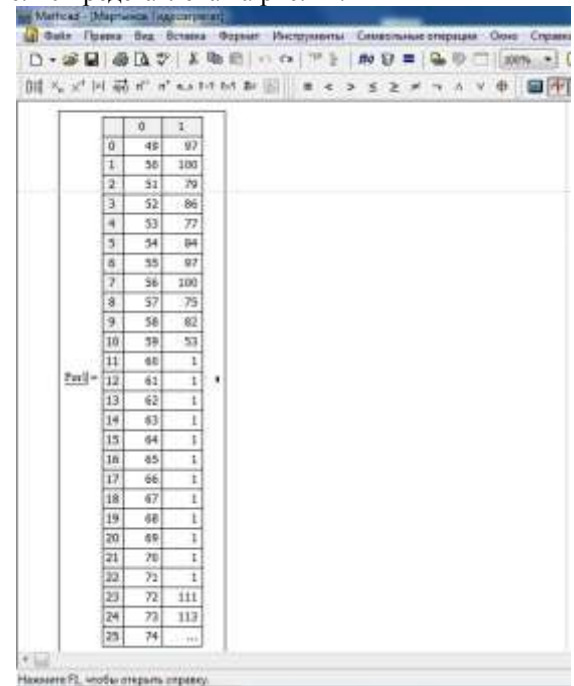


Рис. 14 – Матриця даних в системі Mathcad для розробки структур технологічних операцій, що забезпечують мінімальний час складання вузла «Гідроагрегат»

Де колонка 0 – номер кріпильної деталі, яка встановлюється у вузол;

колонка 1 – номер рядка в масиві  $P_{ог}$ , відповідний останній базовій деталі, що сполучається з поточною кріпильною.

За рахунок всіх цих даних визначаємо структуру та послідовність виконання складальних операцій (рис. 15).

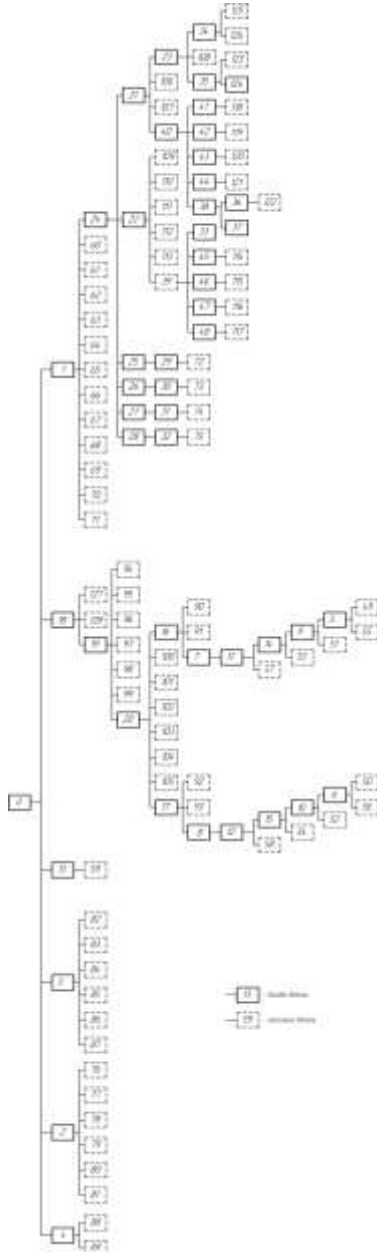


Рис. 15 – Структура та послідовність виконання складальних операцій

## Висновки

1. Розробка технологічного процесу складання вузла «Гідроагрегат» починається та повністю залежить від коефіцієнту збираємості.

2. Система Mathcad дуже полегшує розрахунок коефіцієнту збираємості та розробку послідовності складання вузла «Гідроагрегат», що дозволяє економити час на впровадження технологічного процесу у виробництво.

**Список літератури:** 1. Технология машиностроения: Учебник для машиностроительных специальностей вузов/ А.А. Гусев, Е.Р. Ковальчук, И.М. Колесов и др. – М.: Машиностроение, 1986. – 480 с. 2. Балабанов А. Н. Краткий справочник технолога-машиностроителя. – М.: Издательство стандартов, 1992. – 464 с. 3. Егоров М.Е. Основы проектирования машиностроительных заводов. Изд. 6-е, переработ и доп. Учебник для машиностроит. вузов. М.: «Высш. школа», 1969. – 480 с. 4. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т.2 / Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985. – 496 с. 5. Новиков В.Ю., Схиртладзе А.Г. Технология станкостроения: Учеб. пособие для техникумов по специальности «Производство станков с программным управлением и роботов». – М.: Машиностроение, 1990. – 256 с. 6. Скоркін А.О. Підвищення ефективності зборки в умовах дрібносерійного машинобудівного виробництва на основі імітаційного моделювання структури процесу/Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук по спеціальності 05.02.08 – технологія машинобудування. Харків: «Українська інженерно-педагогічна академія», - 2014. – 338с. 7. ОНТП 14-93 Механообрабатывающие сборочные цехи. – Введ. 01.01.1993. – 270 с.

**Bibliography (transliterated):** 1. *Technology mashinostroeniya: Textbook for Universities mashynostroytelnykh specialties* / A.A. Gusev, E.R. Kovalchuk, I.M. Kolesov et al. - Moscow: Engineering, 1986. - 480 P. 2. Balabanov A. *Brief Directory technologist-mashynostroytelya*. - Moscow: Publishing standartov, 1992. - 464 P. 3. Egorov M.E. *Fundamentals of Designing mashynostroytelnykh plants*. Ed. Sixth, pererabot and add. Textbook for mashynostroyt. universities. Moscow: "High society. School ", 1969. - 480 P. 4. *Directory technologist-mashynostroytelya*. In 2 tonnes. Vol.2 / Ed. A.G. Kosylovoy and R.K. Meshcheryakov. - 4th ed., Rev. and add. - Moscow: Mashynostoenye, 1985. - 496 P. 5. Novikov V.U., Skhirtladze A.G. *Technology stankostroeniya: Textbook. posobyе for tehnykumov on specialty "Stankov with production of software management and robots."* - Moscow: Engineering, 1990. - 256 P. 6. A. Skorkin *Improved assembly conditions in small-series production based on machine simulation modeling process structure / thesis for the degree of candidate of technical sciences, specialty 05.02.08 - Technology of mechanical engineering*. Kharkiv: "Ukrainian Engineering and Pedagogical Academy" - 2014. - 338P. 7. ONTP 14-93 *Mehanoobrabatyvayuschyе sborochnyе shops*. - Key. 01.01.1993. - 270 p.

Поступила (received) 17.11.2015

**Шелковий Олександр Миколайович** – док. техн. наук, проф., НТУ «ХПІ»; тел.: (057)-720-66-25;

**Shelkovyi Oleksandr Mykolaiovych** – Doctor of Technical Sciences, Full Professor, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», tel.: (057)-720-66-25;

**Мартинов Михайло Сергійович** – аспірант НТУ «ХПІ» тел.: (057)-720-66-25;

**Martynov Mykhailo Serhiiovych** – graduate student, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», tel.: (057)-720-66-25;

**Набока Олена Володимирівна** – канд. техн. наук, проф. НТУ «ХПІ»; тел.: (057)-720-66-25;

**Naboka Olena Volodymyrivna** – Candidate of Technical Sciences, Professor of National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», tel.: (057)-720-66-25.