

АВТОМАТИЗОВАНИЙ ВИБІР СКЛАДОВИХ ГНУЧКИХ ВИРОБНИЧИХ КОМІРОК НА ПРИКЛАДІ АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИБОРУ ПРИСТРОЇВ ОРІЄНТУВАННЯ

Мета – набути практичних навичок щодо автоматизації процесу вибору складових ГВС на прикладі вибору пристроїв орієнтування при проектуванні ГВК.

10.2.1. Теоретичні відомості

10.2.1.1. Коротка інформація щодо сутності автоматизованого вибору складових гнучких виробничих систем

Складовими ГВС, включаючи ГВК, є:

- **основне технологічне обладнання** (ОТО), на якому виконуються основні технологічні операції, наприклад, свердлування, точіння тощо;

- **допоміжне технологічне обладнання** (ДТО), на якому виконуються допоміжні технологічні операції, що направлені на упорядкування виробничого середовища, наприклад, транспортування об'єктів виробництва (ОВ) до місця їх обробки, відсікання ОВ від загального потоку, орієнтування, позиціонування, встановлення/зняття ОВ на/з ТО;

- **промислові роботи** (ПР), що використовуються у виробничому процесі для виконання рушійних функцій, аналогічних функціям людини, при переміщенні предметів виробництва та/або технологічного оснащення.

Крім того, ГВС містить:

- **підсистему управління**, що складається з організаційно-технічних АСУ та автоматизованої системи управління технологічними процесами (АСУТП);

- **сервісну підсистему**, що призначена для діагностики і ремонту ТО;

- **підсистему підготовки виробництва**, що призначена для підготовки ТП, управляючих програм (УП) до ТО, інструментів та пристроїв.

Задача автоматизованого вибору складових ГВС (ГВК) є досить складною та математично може розглядатись як багатокритеріальна задача оптимізації, яка передбачає отримання в певному значенні найкращого результату за певними, попередньо обраними, критеріями оптимальності.

Критерій оптимальності – це словесне або математичне формулювання найкращого результату, який називають цільовою функцією.

Цільова функція описує математичну залежність результату від стану системи, зокрема складу елементів ГВС, якими є різне технологічне обладнання. Причому, результатом в контексті розглядуваної проблеми можна вважати отримання ефективного складу ГВС.

Під **ефективним складом ГВС** розуміється оптимальне поєднання комплексу техніко-економічних показників ТО, що кількісно характеризують ГВС. В такому випадку обирається такий склад ТО, який дозволить забезпечити автоматизоване виробництво ОВ (заготовок, деталей, складальних одиниць, комплектуючих виробів тощо), тобто виконання певного ТП, із заданою точністю, продуктивністю тощо при найменших економічних витратах.

При цьому необхідно враховувати деякі специфічні особливості задач автоматизованого вибору складових ГВС, які полягають у тому, що ряд

показників ТО, зокрема тих, що визначають дискретність роботи, технологічну гнучкість ТО тощо, задаються не в кількісній формі, а якісно, тобто мають описовий характер, є різними за змістом, походженням і значенням.

10.2.1.2. Загальна послідовність вибору технологічного обладнання

Автоматизований вибір ТО – це багатоетапний процес, що вимагає застосування відповідної багатоетапної методики. Представлена далі методика вибору технологічного обладнання, що проілюстрована автоматизованим вибором пристроїв орієнтування (ПО) ГВС, складається з трьох етапів.

Один із можливих варіантів певного рівня абстрагування узагальненої послідовності вирішення задач методики представлено на рис. 10.2.1.

На рис. 10.2.2 подана її графічна інтерпретація для прикладу вибору ПО з використанням кругів Ейлера. Можливим є представлення методики вибору ПО з використанням SADT-діаграм.

I етап – формування множини технологічно-можливих варіантів складових ГВС (функціонально узгодженого ТО та ОВ), тобто фактично множини різних за своїм складом варіантів ГВС.

На цьому етапі здійснюється синтез та формалізований опис ТО, який вимагає:

- аналізу та класифікації ОВ (див. попередні лекції);
- формалізованого опису класифікаційних ознак ОВ (див. попередні лекції);
- визначення послідовності та вимог до операцій ТП автоматизованого виготовлення ОВ;
- класифікації, формалізованого опису та вибору ТО, що відповідають вимогам ТП автоматизованого виготовлення ОВ.

В результаті отримується множина технологічно-можливих варіантів складових елементів ГВС, тобто множина ТО, функціонально узгодженого із ОВ, що виготовляються.

Критеріями функціонального та конструктивного узгодження ТО та ОВ є забезпечення виконання технологічних операцій всього ТП.

II етап – формування множини технічно-можливих варіантів складових елементів ГВС, в даному випадку складу ТО, що задовольняють так званому ваговому критерію, який встановлює вимоги щодо відповідності між вантажопідйомністю ТО та вагою ОВ, що взаємодіє з ТО.

На цьому етапі здійснюється перевірка отриманої на попередньому етапі множини ТО за ваговим критерієм:

$$G_{ТО_k} \geq \max_{i=1}^n \sum G_{ОВ_i}, \quad (10.2.1)$$

де $G_{ТО_k}$ – вантажопідйомність k -го ТО, кг (Н);

$G_{ОВ_i}$ – вага i -го ОВ, що взаємодіє з ТО, кг (Н);

n – кількість ОВ, що одночасно взаємодіє з k -им ТО.

Всі варіанти, що не задовольняють умові (10.2.1), відкидаються. Будь-який варіант складу елементів ГВС, що задовольняє умові (10.2.1), може вважатись технічно-можливим для забезпечення ТП автоматизованого виготовлення, складання тощо ОВ.

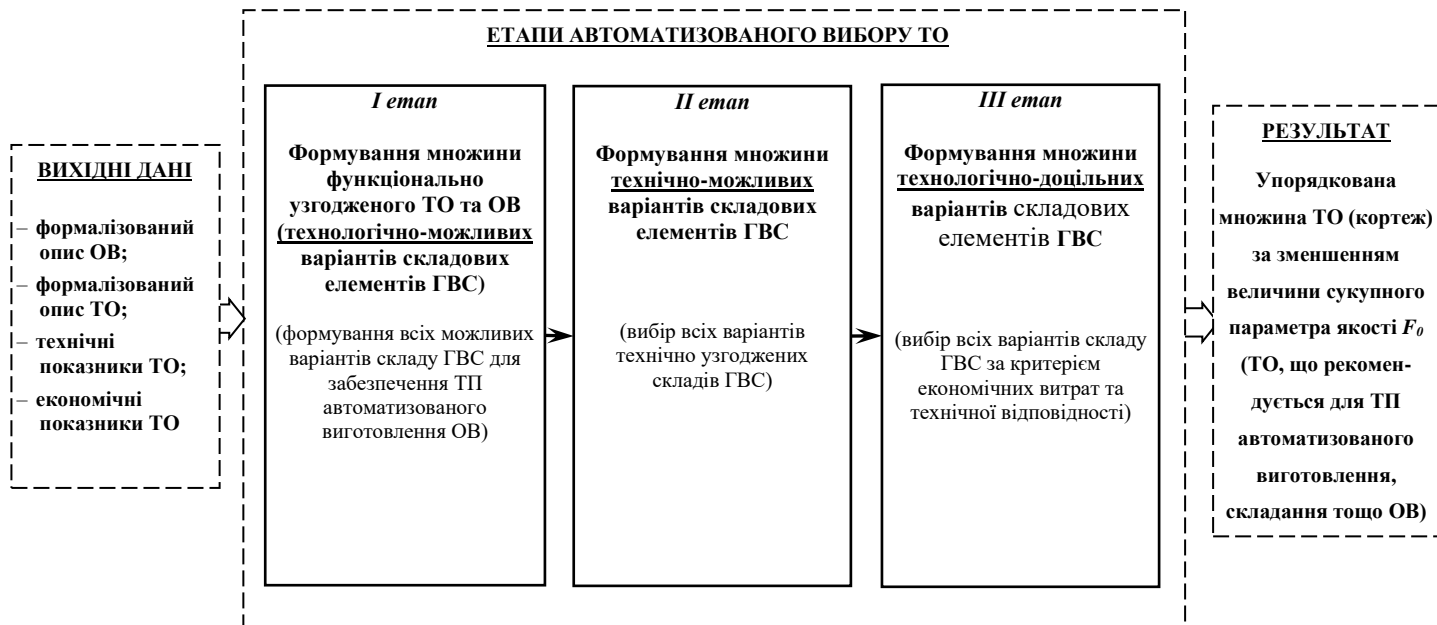


Рис. 10.2.1. Спрощена схема методики автоматизованого вибору ТО як складових елементів ГВС

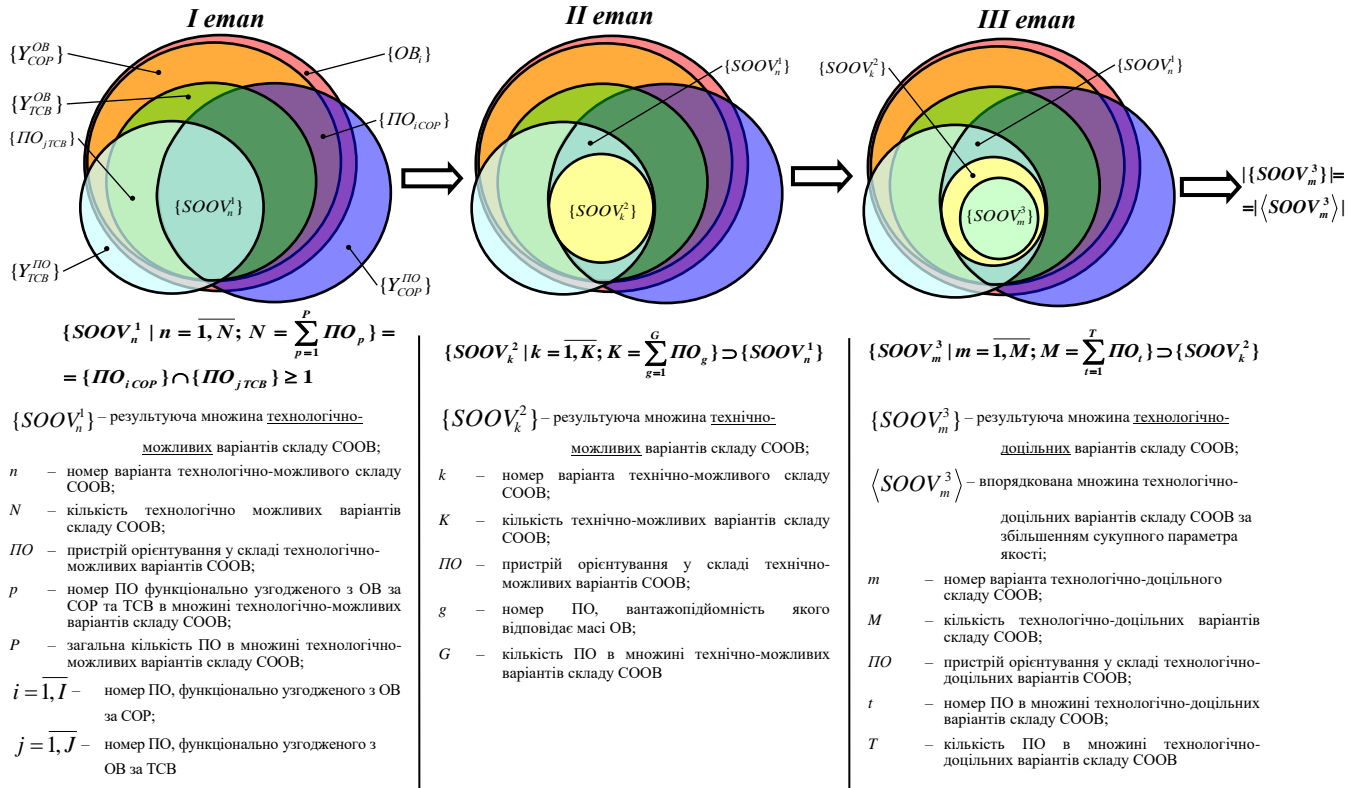


Рис. 10.2.2. Графічна інтерпретація вирішення задач методикою автоматизованого вибору складових елементів ГВС на прикладі вибору ПО

III етап – вибір технологічно-доцільних варіантів складових елементів ГВС, тобто оптимального складу ТО за пропонуваним сукупним параметром якості F_0 , що враховує технічні та економічні показники ТО.

На цьому етапі здійснюється технічна та економічна оцінка отриманих варіантів складових елементів ГВС, тобто фактично безпосередній вибір ТО із множини сформованої на попередніх двох етапах вибору ТО, що задовольняють економічним вимогам та вимогам технічної відповідності. В такому випадку обирається такий склад елементів ГВС, який дозволить забезпечити ТП автоматизованого виготовлення, складання тощо ОВ із заданою точністю, продуктивністю тощо при найменших економічних витратах.

10.2.1.2.1 Багатокрокова послідовність визначення множини технологічно-доцільних варіантів складових елементів ГВС

Крок 1. Визначення відповідних технічних та економічних показників, що можуть впливати на ефективність функціонування ГВС в цілому.

1.1. Технічними показниками при цьому є:

1) *точність (орієнтування, позиціонування, різання тощо)* Δ (як правило вказується в паспортних даних, ТУ) визначається найчастіше граничним (іноді середнім квадратичним) відхиленням фактичних координат положення ОВ, з яким взаємодіє ТО, від заданих:

$$\Delta = k - k_0, \quad (10.2.2)$$

де Δ – точність, що забезпечується ТО, мм;

k – фактичні координати положення ОВ, що взаємодіє з ТО, мм;

k_0 – задані координати положення ОВ, що взаємодіє з ТО, мм;

2) *циклова продуктивність* Q – кількість ОВ, які обробляються (транспортуються, орієнтуються тощо) за цикл функціонування ГВК або ГВС в цілому.

Циклова продуктивність ТО, що функціонально взаємодіють з ОВ поштучно (транспортують ОВ, орієнтують, або виконують будь-яку іншу операцію ТП), розраховується за формулою:

$$Q = k \cdot z \cdot n, \quad (10.2.3)$$

де Q – циклова продуктивність ТО, шт./хв.;

k – коефіцієнт заповнення захватних органів ТО об'єктами, $k = (0 \dots 1)$;

z – кількість захватних органів ТО;

n – частота руху захватних органів, хв⁻¹.

Циклова продуктивність ТО, що функціонально взаємодіють з ОВ партіями, розраховується за виразом:

$$Q = k \cdot z \cdot m \cdot n, \quad (10.2.4)$$

де Q – циклова продуктивність ТО, шт./хв.;

k – коефіцієнт заповнення захватних органів ТО об'єктами, $k = (0,4 \dots 0,7)$;

z – кількість захватних органів ТО;

m – кількість ОБ в партії, шт.;

n – частота руху захватних органів, хв⁻¹.

Циклова продуктивність ТО, що функціонально взаємодіють з ОБ безперервним потоком, наприкладЮ вібраційні бункерні завантажувальні пристрої, розраховується за наступним виразом:

$$Q = \frac{k \cdot v}{l}, \quad (10.2.5)$$

де Q – циклова продуктивність ТО, шт./хв.;

k – коефіцієнт заповнення захватних органів ТО об'єктами, $k = 0,4 \dots 0,7$;

v – середня швидкість руху об'єктів, м/хв.;

l – розмір ОБ, виміряний за напрямком його руху, м;

3) *технологічна гнучкість* Γ (зазвичай не вказується в паспортних даних ТО, а вказується як опосередкована інформація) – інтервал типорозмірів ОБ, що використовується при виконанні певних операцій ТП на ТО;

4) *надійність* або *працездатність* H ТО може визначатись коефіцієнтом технічного використання або середнім напрацюванням на відмову тощо, що визначається як середня тривалість безперервної роботи справного ТО, годин. Параметри надійності зазначаються у паспортних даних пристрою.

1.2. Економічних показники:

1) *одноразові витрати* E_1 , пов'язані із придбанням та монтажем обладнання, визначаються за формулою:

$$E_1 = C_{ТО} + B_{тр} + B_m, \quad (10.2.6)$$

де E_1 – одноразові витрати на ТО, тис. грн;

$C_{ТО}$ – вартість одиниці обладнання, тис. грн;

$B_{тр}$ – транспортні витрати, тис. грн.;

B_m – витрати на монтаж одиниці обладнання, тис. грн.;

2) *щомісячні витрати* E_2 , пов'язані із утриманням обладнання:

= витрати на заробітну плату основних робітників (наладчиків та робітників-операторів, що будуть обслуговувати обладнання);

= витрати на енергоспоживання; витрати на утримання виробничих площ;

= витрати на амортизацію, знос та утримання (витрати на мастильні матеріали тощо) обладнання;

= накладні витрати (витрати на заробітну плату інженерно-технічних робітників, обслуговуючого персоналу та допоміжних робітників, витрати по утриманню транспорту тощо).

Величину E_2 визначають за формулою:

$$E_2 = 3\Pi_{осн} + 3\Pi_{доп} + B_{тр} + B_{ел} + B_{ц} + A + Д, \quad (10.2.7)$$

де E_2 – щомісячні витрати на ТО, тис. грн.;

$3\Pi_{осн}$ – витрати на заробітну плату основних робітників (наладчиків та робітників-операторів, що будуть обслуговувати обладнання), тис. грн.;

$3\Pi_{доп}$ – витрати на заробітну плату інженерно-технічних робітників, обслуговуючого персоналу та допоміжних робітників, тис. грн.;

$B_{тр}$ – витрати по утриманню транспорту, тис. грн.;

$B_{ел}$ – витрати на енергоспоживання, тис. грн.;

$B_{ц}$ – витрати на утримання виробничих площ, тис. грн.;

A – витрати на амортизацію, тис. грн.;

$Д$ – знос та утримання (витрати на мастильні матеріали тощо) обладнання, тис. грн.

Крок 2. Визначення впливу показників на якість системи.

Весь комплекс показників, що були попередньо визначені, поділено на два класи.

Позитивні показники, що мають позитивний вплив на якість системи, тобто збільшення їх кількісної міри викликає збільшення якості системи. До них можна віднести, наприклад, циклову продуктивність, технологічну гнучкість тощо.

Негативні показники, що мають негативний вплив на якість системи при збільшенні їх кількісної міри. До них можна віднести точність орієнтування, величина щомісячних витрат тощо.

Всі показники системи є взаємопов'язаними: збільшення кількісної міри позитивних показників може призвести до збільшення значення негативних показників та навпаки. Наприклад, збільшення точності орієнтування може призвести до збільшення вартості пристрою орієнтування та відповідно величини одноразових витрат.

Крок 3. Нормування показників.

Ряд визначених попередньо показників ТО мають різну розмірність і є різними за змістом та значенням. Всі позитивні та негативні показники повинні бути виражені в одній і тій же системі одиниць вимірювання, що досягається нормуванням їх величин за наступним правилом:

1. записується матриця M показників Z_{ij} системи, яка може мати, наприклад, N варіантів компонування: $M = [Z_{ij}]$, де Z_{ij} – позитивний або негативний i -ий показник j -го варіанта, що утворюють матрицю. В матриці кожен рядок є вектором з числовими компонентами, які є кількісними значеннями відповідних показників.
2. матрицю M представляють у вигляді:

$$M = [Z_{\max_i}] \times [P_{ij}],$$

де $Z_{\max i}$ – компоненти з максимальним числовим значенням i -го вектора - рядка;

$[Z_{\max i}]$ – вектор-рядок з компонентами $Z_{\max i}$;

$[P_{ij}]$ – визначник, в якому всі елементи безрозмірні та нормовані шляхом використання співвідношення $\frac{Z_{ij}}{Z_{\max i}}$, причому, виконується

$$\text{умова } 0 \leq \left(\frac{Z_{ij}}{Z_{\max i}} \right) \leq 1.$$

Таким чином, якщо вказані показники пронормувати за вище зазначеним правилом, то всі показники будуть безрозмірними та нормованими і при цьому будуть нести інформацію про своє кількісне значення.

Очевидним є те, що всі показники, окрім показника технологічної гнучкості, мають кількісну оцінку.

Для переведення якісної оцінки у кількісну використовується бальна оцінка показника. Причому, степінь бальності показника залежить від важливості оцінюваного показника:

- чим менша важливість показника, тим меншою є степінь його бальності (наприклад, 3, ..., 5);

- чим вища важливість показника, тим більша степінь його бальності (наприклад, 9, ..., 12, 13, ...).

Наприклад, для показника технологічної гнучкості, який може вважатись не визначальним при виборі ТО, степінь бальності може бути прийнята рівною 5. При цьому, якщо ТО є, наприклад, ПО, що здійснює орієнтування ОВ з широким інтервалом розмірів, форми та розташування конструктивних елементів, то він має високу технологічну гнучкість. Величина балу, яким може бути оцінений цей параметр, становить 5. У випадку часткового обмеження технологічної гнучкості, наприклад, ПО здійснює орієнтування ОВ тільки за деякими різними розмірами, то ПО має середню технологічну гнучкість і величина балу, яким може бути оцінений цей параметр, може дорівнювати 3.

Крок 4. Розрахунок сукупного параметра якості системи.

Сукупний параметр якості F_0 – це функція, що виражає оптимальне поєднання комплексу техніко-економічних показників ТО, що кількісно характеризують систему.

При цьому передбачається, що сукупний параметр якості F_0 повинен:

- збільшуватись при збільшенні значень позитивних показників;

- зменшуватись при збільшенні значень негативних показників.

Цій умові задовольняє математичний запис:

$$F_0 = \sum_{i=1}^n a_i X_i + \sum_{j=1}^m b_j Y_j, \quad (10.2.8)$$

де F_0 – сукупний параметр якості системи;

a_i, b_j – вагові коефіцієнти, що виражають кількісну міру важливості позитивних та негативних показників відповідно;

X_i, Y_j – кількісна міра позитивних та негативних показників відповідно;

n, m – кількість позитивних та негативних показників відповідно.

З врахуванням зазначеного сукупний параметр якості F_0 кількісно залежить від технічних та економічних показників та розраховується наступним чином:

$$F_0 = a_1 \cdot Q + a_2 \cdot \Gamma + a_3 \cdot H - (b_1 \cdot \Delta + b_2 \cdot E), \quad (10.2.9)$$

де Q – циклова продуктивність ТО;

Γ – технологічна гнучкість ТО;

H – надійність роботи ТО;

Δ – точність, що забезпечується ТО;

E – величина економічних витрат на ТО:

$$E = \lambda_1 E_1 + \lambda_2 E_2,$$

де E_1, E_2 – величина одноразових витрат та величина щомісячних витрат на ТО відповідно;

λ_1, λ_2 – відповідні вагові коефіцієнти важливості: $\lambda_1 + \lambda_2 = b_2$;

– вагові коефіцієнти важливості відповідних показників.

Визначення вагових коефіцієнтів a_i, b_j впливає із поняття важливості показників, що обумовлюється конкретними виробничими умовами або стратегією розвитку підприємства в цілому.

Наприклад, якщо стратегія розвитку підприємства направлена на отримання максимального прибутку при зменшенні собівартості продукції, важливість показників економічних витрат на ТО буде найвищою. В іншому випадку, наприклад, якщо стратегією розвитку підприємства є забезпечення найвищої якості при збільшенні собівартості продукції параметри, та критерію технічної відповідності по відношенню до параметрів критерію економічних витрат є більш важливими.

Вагові коефіцієнти a_1, a_2, a_3, b_1, b_2 можуть бути визначені методами:

- експертних оцінок;
- системного аналізу;
- статистичних (експериментальних) розрахунків, аналітичних розрахунків або комбінованими методами. Для машинобудівних підприємств рекомендуються наступні значення вагових коефіцієнтів: $a_1 = b_2 = 0,3$; $a_2 = b_1 = 0,15$; $a_3 = 0,1$.

При цьому на вагові коефіцієнти важливості накладаються обмеження:

$$\sum_{i=1}^n a_i + \sum_{j=1}^m b_j = 1. \quad (3.2.10)$$

На підставі зазначеного задачу вибору ТО можна представити як пошук максимального значення сукупного параметра якості F_0 за виразом (10.2.9) при обмеженнях на коефіцієнти важливості параметрів за виразом (10.2.10) та наступних обмеженнях на нормовані значення параметрів:

$$\left\{ \begin{array}{l} 0 \leq Q \leq 1; \\ 0 \leq \Gamma \leq 1; \\ 0 \leq H \leq 1; \\ 0 \leq \Delta \leq 1; \\ 0 \leq E \leq 1. \end{array} \right. \quad (10.2.11)$$

Кінцевим результатом вибору ТО можна вважати впорядковану множину ПО за зменшенням величини сукупного параметра якості F_0 .

Приведена багатокрокова послідовність визначення множини технологічно-доцільного ТО дає змогу визначити те ТО, яке при найменших економічних витратах забезпечить можливість виконання ТП автоматизованого виготовлення ОВ із заданою точністю, продуктивністю тощо.

Приведена методика автоматизованого вибору складових елементів ГВС може розглядатись як основа системи підтримки прийняття інженерних рішень в ринкових умовах розвитку промисловості на етапі вибору ТО при проектуванні ГВС. В зв'язку з цим отриманий кінцевий результат можна вважати таким, що рекомендується до виконання та є оптимальним в контексті розглядуваної задачі.

Для автоматизованого розв'язування на ЕОМ розглянутих вище задач методики автоматизованого вибору складових елементів ГВС використовується комплекс прикладних програм, що дозволяють працювати з електронними таблицями, наприклад, Excel та базами даних, наприклад, Access тощо.

10.2.1.3. Приклад автоматизованого вибору пристроїв орієнтування для ГВС/ГВК

Сформувати оптимальний склад СООВ для автоматичного орієнтування деталі типу конічного валика, виготовленого із сталі, що має різні торці, на одному з яких розташований глухий отвір (рис. 10.2.3). Маса ОВ становить 5,5 кг.

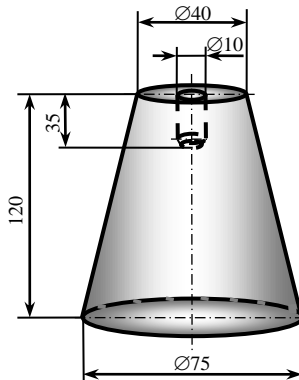


Рис. 10.2.3. Приклад ОВ

Параметри автоматичного орієнтування, тобто СОР та ТСВ ОВ за рис 10.2.3 як приклад визначені раніше та наведені в табл. 10.2.1.

Таблиця 10.2.1

Параметри автоматичного орієнтування ОВ за рис 10.2.3

СОР, що може бути рекомендований при автоматичному орієнтуванні ОВ	
Суміщення осі обертання з віссю X абсолютної системи координат: рух в площині X,Y або X,Z Поворот відносно двох осей X та Y або однієї з вказаних осей абсолютної системи координат	
ТСВ, що використовують ПО для взаємодії з ОВ	
параметричне орієнтування під дією сил тертя або інерції	
безконтактне орієнтування	під дією сил змінного магнітного поля
	під дією сил електростатичного поля
	шляхом аеродинамічної дії стисненого повітря та перепаду тисків, що утворюються, або обертального потоку газів, або стисненого повітря, що діють на ОВ
орієнтування фотоелементами шляхом сканування поверхні ОВ системами ультразвукового випромінювання, або інфрачервоного випромінювання, або теплових датчиків	
орієнтування ОВ з використанням енергії стисненої рідини, що діє на ОВ	
визначення положення ОВ та їх орієнтація здійснюється з використанням акустичних систем та акустичних датчиків	
орієнтування ОВ за допомогою систем технічного зору	
орієнтування ОВ з використанням їх голографічних зображень ОВ	
Орієнтування ОВ шляхом комбінації механічного впливу та світлового випромінювання; одночасного впливу вібрації та магнітного поля; одночасного використання енергій стисненого повітря та рідини	

Технічні характеристики ПО, що можуть забезпечити виконання параметрів автоматичного орієнтування ОВ, наведені в табл. 10.2.2.

Формування оптимального складу СООВ для автоматичного орієнтування заданого ОВ проводиться відповідно до вищеподаної методики.

1. Визначення впливу показників на якість системи.

Весь комплекс попередньо визначених техніко-економічних показників ПО розбивається на дві групи, щоб визначити їх вплив на якість системи в цілому.

До *позитивних показників*, що мають позитивний вплив на якість системи при збільшенні їх кількісної міри, можна віднести циклову продуктивність, надійність та технологічну гнучкість.

До *негативних показників*, що мають негативний вплив на якість системи при збільшенні їх кількісної міри, можна віднести точність орієнтування, величину щомісячних витрат та величину одноразових витрат.

Параметри ПО функціонально узгоджених з ОВ за СОР

Необхідний СОР		Тип, модель ПО	Технічні показники				Економічні показники	
			Точність орієнтування, мм	Циклова продуктивність, шт/год.	Технологічна гнучкість, / інтервал типорозмірів ОВ, що підлягають орієнтуванню	Надійність роботи ПО (середнє напрацювання на відмову), год.	Величина одноразових витрат, тис. грн.	Величина щомісячних витрат, тис. грн.
ЛОР відносно осей	X,Y	Модель 1	0,50	600	5	1010	21,00	3,10
		Модель 2	0,25	600	5	1000	23,00	4,50
		Модель 3	0,25	700	5	1007	25,50	4,50
		Модель 4	0,25	650	3	1000	17,00	5,00
	X,Z	Модель 5	0,25	500	4	1005	17,00	5,10
		Модель 6	1,00	450	5	1010	21,00	3,10
КОР відносно осей	X,Y	Модель 7	0,25	600	3	1015	23,10	4,50
		Модель 8	0,50	600	3	1023	23,15	3,00
		Модель 9	1,50	600	4	1020	23,17	3,50
ЛОР та КОР відносно осей	X,Y	Модель 10	0,25	550	5	1113	40,00	7,00
		Модель 11	0,05	450	5	1027	35,00	5,50
		Модель 12	1,00	600	3	1000	40,00	6,50

2. Нормування показників.

Визначені попередньо показники ПО мають різну розмірність і є різними за змістом та значенням. Всі позитивні та негативні показники повинні бути виражені в одній і тій же системі одиниць вимірювання, що досягається нормуванням їх величин.

Нормування показників системи здійснюємо за варіантами СОР, відповідно формується множина матриць моделей ПО.

Очевидним є те, що всі показники, окрім показника технологічної гнучкості мають кількісну оцінку.

Для переведення якісної оцінки у кількісну використовується бальна оцінка показника.

Для показника технологічної гнучкості, який може вважатись *не визначальним при виборі ПО*, степінь бальності може бути прийнята рівною 5. При цьому, якщо ПО, що здійснює орієнтування ОВ з широким інтервалом розмірів, форми та розташування конструктивних елементів ОВ, то він має високу технологічну гнучкість. Величина балу, яким може бути оцінений цей параметр, становить 5.

У випадку *часткового обмеження технологічної гнучкості*, наприклад, ПО здійснює орієнтування ОВ тільки за деякими різними розмірами, то *ПО має середню технологічну гнучкість* і величина балу, яким може бути оцінений цей параметр, може дорівнювати 3.

Так для нормування показників моделей ПО, що виконують ЛОР, матриця має наступний вид:

$$\begin{bmatrix} 0,50 & 0,25 & 0,25 & 0,25 & 0,25 & 1,00 \\ 600 & 600 & 700 & 650 & 500 & 450 \\ 5 & 5 & 5 & 3 & 4 & 5 \\ 1010 & 1000 & 1007 & 1000 & 1005 & 1010 \\ 21,00 & 23,00 & 25,50 & 17,00 & 17,00 & 21,00 \\ 3,10 & 4,50 & 4,50 & 5,00 & 5,10 & 3,10 \end{bmatrix} \otimes \begin{bmatrix} 1 \\ 700 \\ 5 \\ 1010 \\ 25,50 \\ 5,1 \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} 0,50 & 0,25 & 0,25 & 0,25 & 0,25 & 1,00 \\ 0,857 & 0,857 & 1,000 & 0,929 & 0,714 & 0,643 \\ 1 & 1 & 1 & 0,6 & 0,8 & 1 \\ 1,000 & 0,990 & 0,997 & 0,990 & 0,995 & 1,000 \\ 0,824 & 0,902 & 1,000 & 0,667 & 0,667 & 0,824 \\ 0,608 & 0,882 & 0,882 & 0,980 & 1,000 & 0,608 \end{bmatrix}$$

Нормовані значення показників моделей ПО, що виконують ЛОР, подані в табл. 10.2.3.

Аналогічним чином нормуються показники інших ПО, зокрема моделей ПО, що виконують КОР (табл. 10.2.4) та моделей ПО, що виконують КОР та ЛОР (табл. 10.2.5).

3. Розрахунок сукупного параметра якості F_0 системи.

Сукупний параметр якості F_0 розраховується за виразом (10.2.9) для кожного ПО.

При автоматичному орієнтуванні заданого на рис. 10.2.3 ОВ для досягнення КОП необхідним є виконання наступного СОР (див. табл. 10.2.1):

1. суміщення осі обертання з віссю X абсолютної системи координат: рух в площині X,Y або X,Z ;
2. поворот відносно двох осей X та Y або однієї з вказаних осей абсолютної системи координат.

Очевидно, вказане може бути досягнуто шляхом використання наступних комбінацій різних моделей ПО, що виконують відповідні СОР (див. табл. 10.2.2):

1. ПО, що виконують ЛОР відносно осей X,Y (Модель 1, або Модель 2, або Модель 3, або Модель 4) та ПО, що виконують КОР відносно осей X,Y (Модель 7, або Модель 8, або Модель 9);
2. ПО, що виконують ЛОР відносно осей X,Z (Модель 5 або Модель 6) та ПО, що виконують КОР відносно осей X,Y (Модель 7, або Модель 8, або Модель 9);
3. ПО, що виконують ЛОР та КОР відносно осей X,Y (Модель 10, або Модель 11, або Модель 12).

Для визначення оптимального складу СООВ необхідним є порівняння між собою значення сукупного параметра якості F_0 ПО. Це:

- Моделі 1–6 ПО, що виконують ЛОР;
- Моделі 7–9 ПО, що виконують КОР;
- Моделі 10–12 ПО, що виконують ЛОР та КОР.

Результати, отримані при цьому приведені в табл. 10.2.3 – 10.2.5.

Таблиця 10.2.3

Значення сукупного параметра якості F_0 та техніко-економічних показників моделей ПО, що виконують необхідні ЛОР для автоматичного орієнтування ОВ за рис. 10.2.3

		Показники технічної відповідності								Показники економічних витрат			
		Точність орієнтування, мм	Циклова продуктивність, шт./год	Технологічна гнучкість, балів	Надійність роботи, год	Величина одноразових витрат, тис. грн	Величина щомісячних витрат, тис. грн.						
Вплив показника на систему		негативний	позитивний	позитивний	позитивний	негативний	негативний						
Вагові коефіцієнти важливості показників		0,30	0,10	0,10	0,20	0,15	0,15						
Σ вагов.коэф.		1											
Найбільше дійсне значення показника		1,00	700,00	5,00	1010,00	25,50	5,10						
№ з/п	Тип, марка (модель) ПО	Значення показників											
		дійсні	норм.	дійсні	норм.	дійсні	норм.	дійсні	норм.	дійсні	норм.	дійсні	норм.
1	Модель 1	0,50	0,50	600	0,857	5	1,0	1010	1,000	21,00	0,824	3,10	0,608
2	Модель 2	0,25	0,25	600	0,857	5	1,0	1000	0,990	23,00	0,902	4,50	0,882
3	Модель 3	0,25	0,25	700	1,00	5	1,0	1007	0,997	25,50	1,000	4,50	0,882
4	Модель 4	0,25	0,25	650	0,929	3	0,6	1000	0,990	17,00	0,667	5,00	0,980
5	Модель 5	0,25	0,25	500	0,714	4	0,8	1005	0,995	17,00	0,667	5,10	1,000
6	Модель 6	1,00	1,00	450	0,643	5	1,0	1010	1,000	21,00	0,824	3,10	0,608
№ з/п	Тип, марка ПО	Значення сукупного параметра якості F_0											
1	Модель ПО3	0,042											
2	Модель ПО2	0,041											
3	Модель ПО4	0,029											
4	Модель ПО5	0,025											
5	Модель ПО1	0,021											
6	Модель ПО6	-0,150											

Таблиця 10.2.4

Значення сукупного параметра якості F_0 та техніко-економічних показників моделей ПО, що виконують необхідні КОР для автоматичного орієнтування ОВ за рис. 10.2.3

		Показники технічної відповідності								Показники економічних витрат			
		Точність орієнтування, мм		Циклова продуктивність, шт./год		Технологічна гнучкість, балів		Надійність роботи, год		Величина одноразових витрат, тис. грн		Величина щомісячних витрат, тис. грн	
Вплив показника на систему		негативний		позитивний		позитивний		позитивний		негативний		негативний	
Вагові коефіцієнти важливості показників		0,30		0,10		0,10		0,20		0,15		0,15	
Σ вагов.коэф.		1											
Найбільше дійсне значення показника		1,50		600,00		4,00		1023,00		23,20		4,50	
№ з/п	Тип, марка ПО	Значення показників											
		дійсні		норм.		дійсні		норм.		дійсні		норм.	
1	Модель 7	0,25	0,167	600	1	3	0,75	1015	0,992	23,10	0,997	4,50	1,000
2	Модель 8	0,50	0,333	600	1	3	0,75	1023	1,000	23,15	0,999	3,00	0,667
3	Модель 9	1,50	1,000	600	1	4	1,00	1020	0,997	23,17	1,000	3,50	0,778
№ з/п	Тип, марка ПО	Значення сукупного параметра якості F_0											
1	Модель ПО 8	0,025											
2	Модель ПО 7	0,024											
3	Модель ПО 9	-0,167											

Таблиця 10.2.5

Значення сукупного параметра якості F_0 та техніко-економічних показників моделей ПО, що виконують необхідні ЛОР та КОР для автоматичного орієнтування ОВ за рис. 10.2.3

		Показники технічної відповідності								Показники економічних витрат			
		Точність орієнтування, мм		Циклова продуктивність, шт./год		Технологічна гнучкість, балів		Надійність роботи, год		Величина одноразових витрат, тис. грн		Величина щомісячних витрат, тис. грн.	
Вплив показника на систему		негативний		позитивний		позитивний		позитивний		негативний		негативний	
Вагові коефіцієнти важливості показників		0,30		0,10		0,10		0,20		0,15		0,15	
Σ вагов. коеф.		1											
Найбільше дійсне значення показника		1,0		600,0		4,0		1023,0		23,2		4,5	
№ з/п	Тип, марка ПО	Значення показників											
		дійсні		норм.		дійсні		норм.		дійсні		норм.	
1	Модель 10	0,25	0,25	550	0,917	5	1,0	1113	1,000	40,00	1,000	7,00	1,000
2	Модель 11	0,05	0,05	450	0,750	5	1,0	1027	0,923	35,00	0,875	5,50	0,786
3	Модель 12	1,00	1,00	600	1,000	3	0,6	1000	0,898	40,00	1,000	6,50	0,929
№ з/п	Тип, марка ПО	Значення сукупного параметра якості F_0											
1	Модель ПО11	0,095											
2	Модель ПО10	0,017											
3	Модель ПО12	-0,250											

Отримані результати вказують, що для автоматичного орієнтування ОВ за рис. 10.2.3, технологічно-доцільними є два варіанти складу СООВ:

- 1) до складу СООВ входить два ПО:
 - Модель ПО 3 (ПО забезпечує виконання ЛОР відносно осей X, Y, див. табл. 10.2.3);
 - Модель ПО 8 (ПО забезпечується виконання КОР відносно осей X, Y, див. табл. 10.2.4);
- 2) до складу СООВ входить один ПО:
 - Модель ПО 11 (забезпечується виконання ЛОР та КОР відносно осей X, Y, див. табл. 10.2.5).

Формування СООВ за першим варіантом, що формується із двох одиниць обладнання, а саме ПО Моделі 1 та ПО Моделі 8, передбачає проведення додаткових обчислень техніко-економічних параметрів СООВ з врахуванням технічних та економічних показників кожного ПО наступним чином:

- 1) *точність орієнтування* Δ визначається як середнє квадратичне значення точності орієнтування ПО Моделі 3 та ПО Моделі 8:

$$\Delta = \sqrt{\Delta_{\text{ПО3}}^2 + \Delta_{\text{ПО8}}^2} = \sqrt{1^2 + 0,5^2} = 1,1 \text{ мм};$$

- 2) *циклова продуктивність* Q визначається як середнє арифметичне значення продуктивності ПО Моделі 3 та ПО Моделі 8:

$$Q = \frac{Q_{\text{ПО3}} + Q_{\text{ПО8}}}{2} = \frac{700 + 600}{2} = 650 \text{ шт./год.};$$

- 3) *технологічна гнучкість* Γ визначається як середнє арифметичне значення технологічної гнучкості ПО Моделі 3 та ПО Моделі 8 у балах:

$$\Gamma = \frac{\Gamma_{\text{ПО3}} + \Gamma_{\text{ПО8}}}{2} = \frac{5 + 3}{2} = 4;$$

- 4) *надійність* H визначається як середнє арифметичне значення надійності ПО Моделі 3 та ПО Моделі 8:

$$H = \frac{H_{\text{ПО3}} + H_{\text{ПО8}}}{2} = \frac{1007 + 1023}{2} = 1015 \text{ год.};$$

- 5) *одноразові витрати* E_1 визначаються як середнє арифметичне значення одноразових витрат ПО Моделі 3 та ПО Моделі 8:

$$E_1 = \frac{E_{1\text{ПО3}} + E_{1\text{ПО8}}}{2} = \frac{25,50 + 23,15}{2} = 24,33 \text{ тис. грн.};$$

- 6) *щомісячні витрати* E_2 визначаються як середнє арифметичне значення щомісячних витрат ПО Моделі 3 та ПО Моделі 8:

$$E_2 = \frac{E_{2\text{ПО3}} + E_{2\text{ПО8}}}{2} = \frac{4,50 + 3,00}{2} = 3,75 \text{ тис. грн.}$$

Проведені обчислення дозволяють визначити сукупний параметр якості кожного варіанту системи (табл. 10.2.6).

Отримані результати дають змогу зробити *висновок*, що оптимальним є перший варіант технологічно-доцільного складу СООВ, сукупний параметр якості ($F_0 = 0,056$) якого більший, ніж другого варіанту технологічно-доцільного складу СООВ ($F_0 = -0,129$).

Фрагмент прикладу екранної форми для автоматизованого розрахунку сукупного параметра якості F_0 на етапі вибору технологічного обладнання, зокрема

ПО для ГВС при проектуванні ГВК із використанням табличного процесора Excel, наведений на рис. 10.2.4.

Таблиця 10.2.6

Значення сукупного параметра якості F_0 та техніко-економічних показників технологічно-доцільних варіантів складу СООВ

		Показники технічної відповідності								Показники економічних витрат			
		Точність орієнтування, мм		Циклова продуктивність, шт./год		Технологічна гнучкість, балів		Надійність роботи, год		Величина одноразових витрат, тис. грн		Величина щомісячних витрат, тис. грн.	
Вплив показника на систему		негативний		позитивний		позитивний		позитивний		негативний		негативний	
Вагові коефіцієнти важливості показників		0,30		0,10		0,10		0,20		0,15		0,15	
Σ вагов. коеф.		1											
Найбільше дійсне значення показника		1,0		600,0		4,0		1023,0		23,2		4,5	
№ з/п	Тип, марка ПО	Значення показників											
		дійсні	норм.	дійсні	норм.	дійсні	норм.	дійсні	норм.	дійсні	норм.	дійсні	норм.
1	Модель 3, Модель 8	1,118	1,000	650	1,000	4	0,8	1015	0,988	24,325	0,695	3,75	0,682
2	Модель 11	0,050	0,045	450	0,692	5	1,0	1027	1,000	35,00	1,000	5,50	1,000
№ з/п	Тип, марка ПО	Значення сукупного параметра якості F_0											
1	Модель 11	0,056											
3	Модель 3, Модель 8	-0,129											

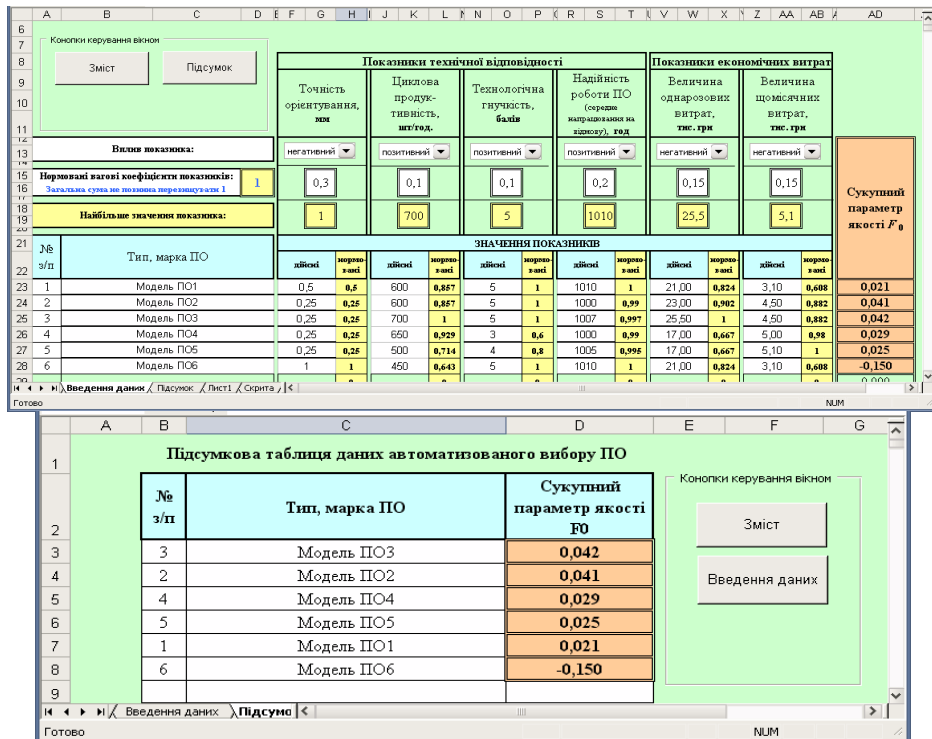


Рис. 10.2.4. Екранна форма (приклад) автоматизованого розрахунку сукупного параметра якості F_0 на етапі вибору технологічного обладнання, зокрема ПО для ГВС при проектуванні ГВК із використанням Excel

**Результати формування оптимального складу СООВ
для автоматичного орієнтування ОВ**

АВТОМАТИЗОВАНИЙ ВИБІР СКЛАДОВИХ ГВС НА ПРИКЛАДІ АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИБОРУ ПРИСТРОЇВ ОРІЄНТУВАННЯ													
Ескіз ОВ													
Параметри автоматичного орієнтування ОВ													
СОР, що може бути рекомендований при автоматичному орієнтуванні ОВ													
ТСВ, що використовують ПО для взаємодії з ОВ													
Параметри ПО функціонально узгоджених з ОВ													
Необхідний СОР	Тип, марка ПО	Технічні показники					Економічні показники						
		Точність орієнту- вання, мм	Циклова продук- тивність, шт/год.	Техноло- гічна гнучкість, діапазон типороз- мірів ОВ, що підлягають орієнту- ванню	Надійність роботи ПО (середнє напрацю- вання на відмову), год.	Величина однора- зових витрат, тис. грн.	Величина щомісячних витрат, тис. грн.						
		Показники технічної відповідності ПО					Показники економічних витрат ПО						
		Точність орієнту- вання, мм	Циклова продук- тивність, шт./год.	Технологічна гнучкість, балів	Надійність роботи, год.			Величина одноразових витрат, тис. грн.	Величина щомісячних витрат, тис. грн.				
Вплив показника на систему													
Вагові коефіцієнти важливості показників													
Σ вагов. коеф.													
Найбільше дійсне значення показника													
№ з/п	Тип, марка ПО	Значення показників											
		дійсні	норм.	дійсні	норм.	дійсні	норм.	дійсні	норм.	дійсні	норм.	дійсні	норм.
№ з/п	Тип, марка ПО				Значення сукупного параметра якості F_0								

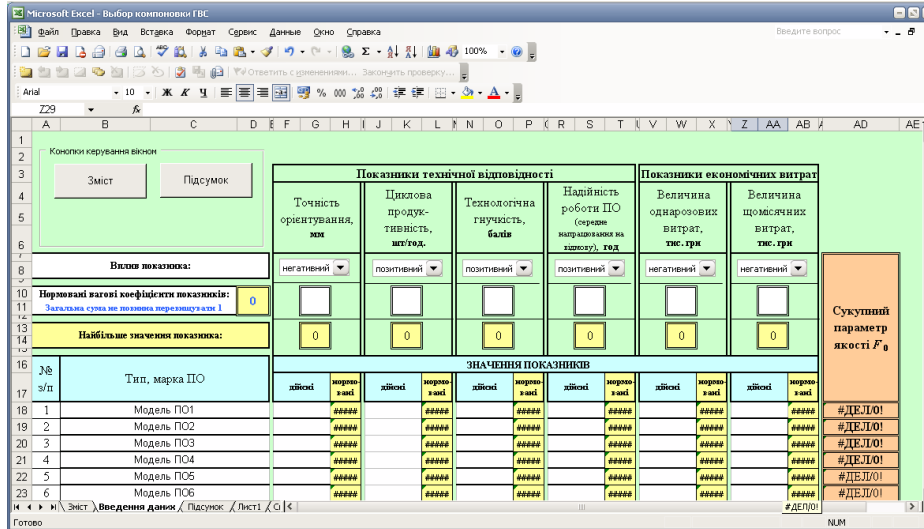


Рис. 10.2.5. Екранна форма (приклад) автоматизованого аналізу і розрахунку показників системи та сукупного параметра якості при автоматизованому формуванні оптимального складу СООВ

Таблиця 10.2.8

Довідкова таблиця ПО

COP		Умовне позначення ПО	Точність орієнтування, мм	Циклова продуктивність, шт/год.	Інтервал типорозмірів ОВ, що підлягають орієнтуванню	Надійність роботи ПО, год.	Вага вагопідйомність, кг	Вартість, тис. грн.	Величина щомісячних витрат, тис. грн.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
ЛОР відносно осей	X,Y	Модель 1	0,50	600	до 150 мм	1010	до 10	21,00	3,10
		Модель 2	0,25	600	до 200 мм	1000	до 50	23,00	4,50
		Модель 3	0,25	700	до 500	1007	до 50	25,50	4,50
		Модель 4	0,25	650	до 150 мм	1000	до 10	17,00	5,00
		Модель 5	0,50	100	до 200 мм	1005	до 10	40,00	5,50
		Модель 6	0,75	150	до 500 мм	1010	до 50	30,00	3,10
		Модель 7	0,15	600	до 150 мм	1015	до 50	25,00	4,50
		Модель 8	0,20	300	до 300 мм	1023	до 20	15,00	4,50
		Модель 9	0,10	700	до 500 мм	1050	до 10	15,00	5,00
		Модель 10	0,10	700	до 150 мм	1050	до 50	20,00	5,50
	X,Z	Модель 11	0,25	500	до 200 мм	1005	до 50	17,00	5,10
		Модель 12	1,00	450	до 500 мм	1010	до 20	21,00	3,10
		Модель 13	0,50	600	до 300 мм	1010	до 50	21,00	3,10
		Модель 14	0,25	600	до 500 мм	1000	до 50	23,00	4,50
		Модель 15	0,25	700	до 150 мм	1007	до 20	25,50	4,50
		Модель 16	0,25	650	до 150 мм	1000	до 10	17,00	5,00
		Модель 17	0,50	100	до 200 мм	1005	до 50	40,00	5,50
		Модель 18	0,75	150	до 500 мм	1010	до 50	30,00	3,10
		Модель 19	0,15	600	до 150 мм	1015	до 20	25,00	4,50
		Модель 20	0,20	300	до 200 мм	1023	до 20	30,00	3,10
	Y,Z	Модель 21	0,50	600	до 150 мм	1010	до 10	21,00	3,10
		Модель 22	0,25	600	до 200 мм	1000	до 50	23,00	4,50
		Модель 23	0,25	700	до 500 мм	1007	до 50	25,50	4,50
		Модель 24	0,25	650	до 150 мм	1000	до 10	17,00	5,00
		Модель 25	0,50	100	до 200 мм	1005	до 10	40,00	5,50
		Модель 26	0,25	700	до 150 мм	1007	до 20	25,50	4,50
		Модель 27	0,25	650	до 150 мм	1000	до 10	17,00	5,00
		Модель 28	0,50	100	до 200 мм	1005	до 50	40,00	5,50
		Модель 29	0,15	600	до 150 мм	1015	до 20	25,00	4,50
		Модель 30	0,20	300	до 200 мм	1023	до 20	30,00	3,10
КОР відносно осей	X,Y	Модель 31	0,10	600	до 150 мм	1015	до 10	23,10	4,50
		Модель 32	0,10	550	до 200 мм	1023	до 50	23,15	3,00
		Модель 33	1,50	600	до 400 мм	1020	до 50	23,17	3,50
		Модель 34	0,10	600	до 150 мм	1015	до 10	23,10	4,50
		Модель 35	0,10	400	до 200 мм	1023	до 50	23,15	3,00
		Модель 36	1,50	500	до 400 мм	1020	до 50	23,17	3,50
	X,Z	Модель 37	0,50	100	до 200 мм	1005	до 10	40,00	5,50
		Модель 38	0,10	600	до 150 мм	1015	до 10	23,10	4,50
		Модель 39	0,50	600	до 150 мм	1010	до 10	21,00	3,10
		Модель 40	0,25	600	до 200 мм	1000	до 50	23,00	4,50
		Модель 41	0,25	500	до 200 мм	1005	до 50	17,00	5,10
		Модель 42	1,00	450	до 500 мм	1010	до 20	21,00	3,10
4,50	Y,Z	Модель 43	0,50	600	до 150 мм	1010	до 10	21,00	3,10
		Модель 44	0,25	600	до 200 мм	1000	до 50	23,00	4,50
		Модель 45	0,25	700	до 500 мм	1007	до 50	25,50	
		Модель 46	0,25	500	до 200 мм	1005	до 50	17,00	5,10
		Модель 47	1,00	450	до 500 мм	1010	до 20	21,00	3,10
		Модель 48	0,50	600	до 300 мм	1010	до 50	21,00	3,10
ЛОР та КОР відносно осей	X,Y	Модель 49	0,25	550	до 150 мм	1113	до 5	40,00	7,00
		Модель 50	0,05	450	до 200 мм	1027	до 5	35,00	5,50
		Модель 51	1,00	600	до 500 мм	1000	до 5	40,00	6,50
		Модель 52	0,25	550	до 200 мм	1113	до 5	40,00	7,00
		Модель 53	0,15	450	до 150 мм	1027	до 5	35,00	5,50
		Модель 54	1,50	650	до 400 мм	1000	до 5	40,00	6,50
	X,Z	Модель 55	1,25	450	до 150 мм	1113	до 5	40,00	7,00
		Модель 56	0,15	350	до 200 мм	1027	до 5	55,00	5,50
		Модель 57	1,00	600	до 500 мм	1000	до 5	40,00	6,50
		Модель 58	0,25	550	до 200 мм	1113	до 5	45,00	7,00
		Модель 59	0,05	450	до 150 мм	1027	до 5	35,00	5,50
		Модель 60	1,50	650	до 400 мм	1000	до 5	40,00	6,50
	Y,Z	Модель 61	0,50	600	до 150 мм	1010	до 10	21,00	3,10
		Модель 62	0,05	650	до 300 мм	1020	до 50	23,00	4,50
		Модель 63	0,25	700	до 500 мм	1007	до 50	25,50	3,50
		Модель 64	0,10	600	до 150 мм	1015	до 10	23,10	4,50
		Модель 65	0,50	500	до 150 мм	1010	до 15	21,00	3,10
		Модель 66	0,10	700	до 500 мм	1050	до 10	15,00	5,00
		Модель 67	0,10	700	до 150 мм	1050	до 50	20,00	5,50

