

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Ващенко Світлана Михайлівна

УДК 621.512

**СИСТЕМНЕ ПРОЕКТУВАННЯ  
МЕХАНІЗМУ ВРІВНОВАЖЕННЯ  
ПОРШНЕВОГО КОМПРЕСОРА**

05.05.15 - вакуумна та компресорна техніка

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Суми-2007

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Сумському державному університеті  
Міністерства освіти і науки України.

**Науковий керівник** - кандидат технічних наук, доцент  
**КОНЦЕВИЧ Валерій Георгійович**,  
Сумський державний університет,  
доцент кафедри інформаційних  
технологій проектування

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
**ГНЕСІН Віталій Ісайович**,  
Інститут проблем машинобудування  
НАН України ім. А. М. Підгорного,  
зав. відділу аерогідромеханіки;

кандидат технічних наук  
**СМІРНОВ Андрій Віталійович**,  
ВАТ «Сумське НВО ім. М. В. Фрунзе»,  
головний конструктор проектів  
поршневих машин та АГНКС СКБ  
турбокомпресорних машин

Захист відбудеться « 12 » жовтня 2007 р. о 13.00 годині на  
засіданні спеціалізованої вченої ради К 55.051.03 у Сумському  
державному університеті за адресою: 40007, вул. Римського-  
Корсакова, 2.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Сумського  
державного університету (м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2).

Автореферат розісланий « 7 » вересня 2007 р.

**Вчений секретар**  
спеціалізованої вченої ради



**Є. М. Савченко**

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

### **Актуальність теми.**

В умовах вільного ринку перед підприємствами компресоробудівної галузі стоїть завдання отримати максимальні конкурентні переваги. Цього можна досягти підвищуючи якість продукції, знижуючи витрати на проектування і підготовку виробництва, прискорюючи шлях, який проходять вироби від розробки концепції до виходу на ринок. Ключ до вирішення цих проблем – сучасні інформаційні технології, які дозволяють підвищити ефективність конструкторської праці, позбавитися від виконання рутинної роботи, зменшити витрати на забезпечення життєвого циклу, прискорити втілення у життя технічної ідеї, забезпечити якість і моделювати експлуатаційні властивості майбутніх виробів.

Однією з перешкод щодо підвищення якості і конкурентоспроможності поршневих компресорів і скороченню термінів їх розробки є невідповідність між складністю об'єктів проектування і застарілими методами і засобами їх проектування.

На сьогодні в компресоробудуванні, як і в інших галузях машинобудування, усвідомлена необхідність розроблення сучасних систем автоматизації проектування. На провідних підприємствах і науково-дослідних інститутах розпочато роботу з автоматизації конструкторсько-технологічної підготовки виробництва (КТПП) устаткування, що випускається. Зокрема, в СНПП «Технокомпресормаш» (м. Суми) розпочато роботу зі створення системи автоматизованого проектування поршневих компресорів. За результатами реалізації першого етапу визначено, що однією з підсистем поршневого компресора є механізм руху, оптимізація конструкції якого дає якісний ефект в області матеріаломісткості, а також віброакустичних характеристик, які є одними з показників якості компресорної техніки.

З урахуванням всього вищезазначеного підвищення якості поршневих компресорів (відповідно їх надійності) – одне з основних завдань, що стоїть на сучасному етапі перед вітчизняними підприємствами компресоробудівної галузі, а використання новітніх інформаційних технологій як спосіб її вирішення є актуальною проблемою.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконувалася згідно із планом науково-дослідних робіт кафедри інформаційних технологій проектування Сумського

державного університету і реалізована при виконанні держбюджетної науково-дослідної роботи «Розробка науково-методичних основ автоматизованого проектування енергетичних машин і установок» (номер державної реєстрації 0107U001604).

**Мета і задачі дослідження.** *Метою роботи* є вдосконалення методики проектування механізму руху поршневого компресора для підвищення ефективності процесу конструкторсько-технологічної підготовки виробництва.

Для реалізації поставленої мети потрібно вирішити наступні **задачі**:

- застосування системного підходу до проектування механізму руху поршневого компресора і створення системної моделі механізму;
- розробка інформаційної системи автоматизації процесу проектування досліджуваного механізму;
- створення інтегрованої математичної моделі розрахунків деталей механізму руху поршневого компресора на міцність;
- створення типорозмірних рядів параметричних моделей деталей механізму руху;
- розробка методики точного визначення центра мас рухомих деталей для зниження масогабаритних показників.

**Об'єктом дослідження** є V-подібний поршневий компресор.

**Предметом дослідження** є механізм руху і процес врівноваження поршневого компресора.

**Методи дослідження:**

- методи проектування і конструювання поршневих компресорів, аналізу на міцність;
- системний аналіз і об'єктний підхід при проектуванні складних виробів, загальна теорія проектування систем;
- методи математичного моделювання;
- методи сучасних інформаційних технологій, зокрема: моделювання життєвого циклу виробу (CALS), структурний аналіз (CASE-технології), інтеграція стадій проектування і конструювання і підготовки виробництва (CAD/CAM/CAE).

**Наукова новизна отриманих результатів:**

1. Запропоновано сучасний підхід до організації процесу проектування механізму руху поршневого компресора, встановлені функціональні та інформаційні зв'язки між етапами, уточнено стратегію проектування.

2. Розроблено системну модель механізму руху поршневого компресора. Визначено необхідний перелік елементів, що реалізують функціональне призначення поршневого компресора, а також створено інтегровану математичну модель їх геометричних розрахунків і розрахунків на міцність.
3. Розроблено структурно-функціональну модель інформаційної системи автоматизації проектування механізму руху поршневого компресора.
4. Визначено основні геометричні характеристики деталей механізму руху поршневого компресора, що дозволяють провести гнучку параметризацію і створити типорозмірні ряди твердотільних моделей механізму руху поршневого компресора.

### **Практичне значення отриманих результатів:**

- структурно-функціональна модель процесу проектування, яка побудована на основі системного підходу і використання сучасних інформаційних технологій;
- системна модель механізму руху поршневого компресора, що дозволяє:
  - визначити основні принципи створення бібліотек параметричних моделей деталей досліджуваного механізму;
  - сформувати перелік необхідних типорозмірних рядів деталей механізму руху поршневого компресора;
- структурно-функціональна модель системи автоматизованого проектування механізму руху поршневого компресора, що реалізує паралельне і варіантне проектування відповідно до вимог ЄСКД з інформаційного забезпечення всіх етапів проектування;
- методика точного визначення центра мас рухомих деталей за створеною тривимірною твердотільною моделлю механізму руху, що дозволяє розробляти конструкції зі зниженою вагою і покращеними віброакустичними характеристиками;
- комплекс прикладного програмного забезпечення для комп'ютерного моделювання механізму руху поршневого компресора згідно із розробленими математичними моделями.

Достовірність отриманих результатів підтверджується:

- використанням широко апробованих і визнаних положень прикладної механіки, які базуються на фундаментальних законах і закономірностях кінематики і динаміки механізмів;

– використанням отриманих у результаті виконання дисертаційної роботи розробок при проектуванні компресорних машин в СНПП «Технокомпресормаш».

Запропонована здобувачем методика проектування механізму руху і розроблена система автоматизованого проектування рекомендовані для застосування в САПР поршневого компресора і були використані при модернізації поршневого компресора ВУ1-2,5/12 в СНПП «Технокомпресормаш» (м. Суми). Програмне забезпечення і отримані результати використовуються в учбовому процесі на кафедрі інформаційних технологій проектування Сумського державного університету при вивченні дисциплін «Основи робочих процесів машин», «Основи автоматизованого проектування типових деталей машин».

**Особистий внесок здобувача.** Основні результати дисертаційної роботи отримані автором самостійно. У роботах, опублікованих за темою дисертації у співавторстві, здобувачеві належить: [1] – формулювання цілей проектування системи автоматизованого проектування, переліку вхідної і вихідної інформації, контекстна діаграма; [3] – розроблене претендентом програмне забезпечення; [5] – розроблення функціональної і структурної моделей механізму руху поршневого компресора, допрацьовані структурні діаграми кривошипно-шатунного механізму, виконані тривимірні твердотільні параметричні моделі зазначеного механізму.

Постановку задач виконано здобувачем спільно із науковим керівником. Розроблення методики розрахунку і програмного забезпечення, аналіз, трактування і узагальнення результатів виконано здобувачем самостійно.

**Апробація роботи.** Основні положення і результати дисертаційної роботи доповідалися на:

- III Міжнародній конференції «Системи проектування, технологічної підготовки виробництва і управління етапами життєвого циклу промислового продукту. CAD/CAM/PDM – 2003» (Інститут проблем управління ім. В.А. Трапезникова РАН, м. Москва, 2003);
- XIII Міжнародній науково-технічній конференції з компресоробудування «Компресорна техніка і пневматика в XXI столітті» (м. Суми, 2004);

- IV Міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні проблеми холодильної техніки і технології» (Одеська державна академія холоду, м. Одеса, 2005);
- науково-технічних конференціях викладачів, співробітників, аспірантів і студентів Сумського державного університету (2002 – 2005).

**Публікації.** За темою дисертації опубліковано п'ять [1-5] робіт, з яких чотири – в спеціалізованих виданнях, затверджених ВАК України.

**Структура і обсяг дисертаційної роботи.** Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг дисертації становить 181 сторінку, в тому числі 81 рисунок (23 рисунки займають 13 окремих сторінок в додатках), 14 таблиць (3 таблиці займають 5 окремих сторінок, з них 2 таблиці на 4 сторінках в додатку), список використаних джерел зі 130 найменувань на 11 сторінках, 5 додатків на 26 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, викладені мета, наукова новизна, методи досліджень, практична цінність, коротко подано загальну характеристику роботи.

У **першому розділі** наводиться аналіз способів підвищення якості продукції за рахунок проведення етапу проектування на базі сучасних інформаційних технологій проектування.

Е даний час підвищення конкурентоспроможності продукції, що випускається, необхідно проводити не тільки традиційними способами, але і за рахунок повної відповідності вимогам замовника; відповідності міжнародним стандартам якості; зменшення часу виходу готового виробу на ринок; зниження собівартості; зменшення конструкторських помилок на стадії проектування; зниження витрат на експлуатацію; забезпечення простоти і зручності експлуатації і обслуговування; доступності документації, простоти її обробки.

Оскільки компресорне обладнання належить до виробів середньої складності, а номенклатура однотипних компресорів, що випускаються, достатньо велика, організація процесу проектування повинна проводитися із застосуванням системного підходу на базі

CALS-методології, що забезпечує комплексну інтеграцію процесів на всіх етапах життєвого циклу виробу.

Системний підхід до процесу проектування на базі CALS-технології широко використовується в різних галузях машинобудування. В першу чергу це стосується підприємств авіаційної галузі (наприклад, ВАТ «Туполєв», АВПК «Сухий»). За даним напрямком у сфері двигунобудування аналогічні питання розглянуті в дисертаційних роботах, наприклад, І.О. Кривошеєва, Г.Ю. Тихонова, Б.М. Арістова

Методику проектування поршневих компресорів, подібну до CALS-технології, описували у своїх працях В.Д. Васильєв і Є.Д. Соложенцев в 1970–1980 р.р. у ВНДІкомпресормаш (м. Суми). Проте рівень інформаційних технологій того часу не дозволив розвинути запропоновані авторами методи.

Аналіз сучасних літературних джерел показав, що на більшості компресоробудівних підприємств використання інформаційних технологій обмежується впровадженням їх в окремі етапи проектування без виконання комплексної автоматизації всього циклу виробництва.

З урахуванням всього вищесказаного можна стверджувати, що проблема впровадження сучасних інформаційних технологій і, зокрема, CALS-технологій в процес проектування є актуальною для сучасних компресоробудівних підприємств. За наслідками проведеного аналізу в першому розділі здійснюється постановка завдань дослідження, конкретизація мети роботи.

**Другий розділ** присвячений системному моделюванню процесу проектування і самого механізму руху поршневого компресора з використанням об'єктного підходу.

У рамках об'єктного підходу механізм руху поршневого компресора розглядається як метасистема, що складається з комплексу підсистем, елементів і зв'язків між ними. Застосування системного підходу дозволило виділити окремі елементи, визначити зв'язки між ними і врахувати їх вплив один на одного. Проектування механізму руху проводилося за методологією структурно-функціонального аналізу IDEF0.

Потреба в компресорах виникає у разі необхідності отримання газу підвищеного тиску. Таким чином, головна робоча функція метасистеми полягає в перетворенні електричної енергії в енергію газу (рис. 1).



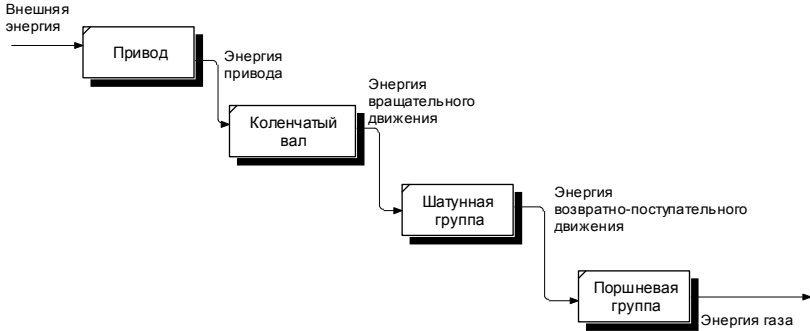


Рис. 1. Функціональна діаграма процесу зміни енергії

Перетворення енергії проводиться механізмом руху компресора (об'єкт моделювання), який, у свою чергу, складається з декількох підсистем. Детальний послідовний аналіз всіх підсистем даного механізму дозволив побудувати його структурну схему (рис. 2).

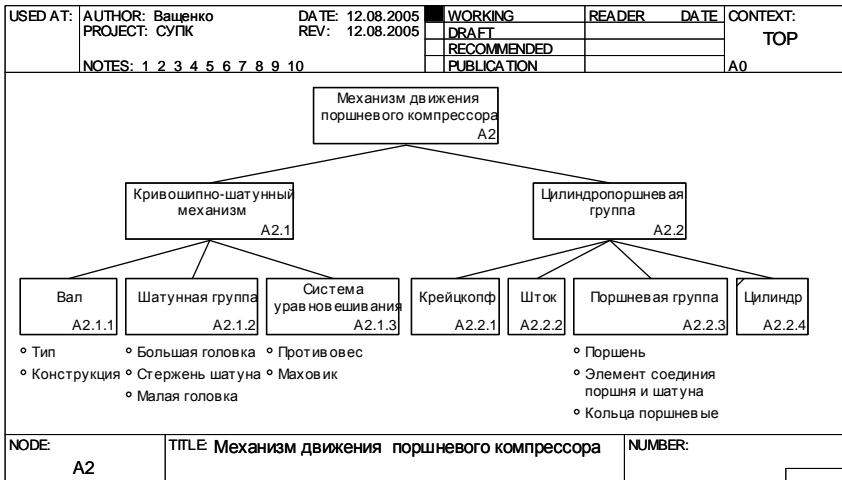


Рис. 2. Структурна схема механізму руху у вигляді дерева вузлів

Згідно із сучасними тенденціями основним підходом при моделюванні процесу проектування повинен бути системний підхід. Системний підхід дозволив розглядати процес проектування як систему, яка складається з окремих взаємопов'язаних етапів – підсистем. В результаті складено структурно-функціональні схеми, які детально описують процес проектування і інформаційні потоки, що існують (рис. 3 і 4).

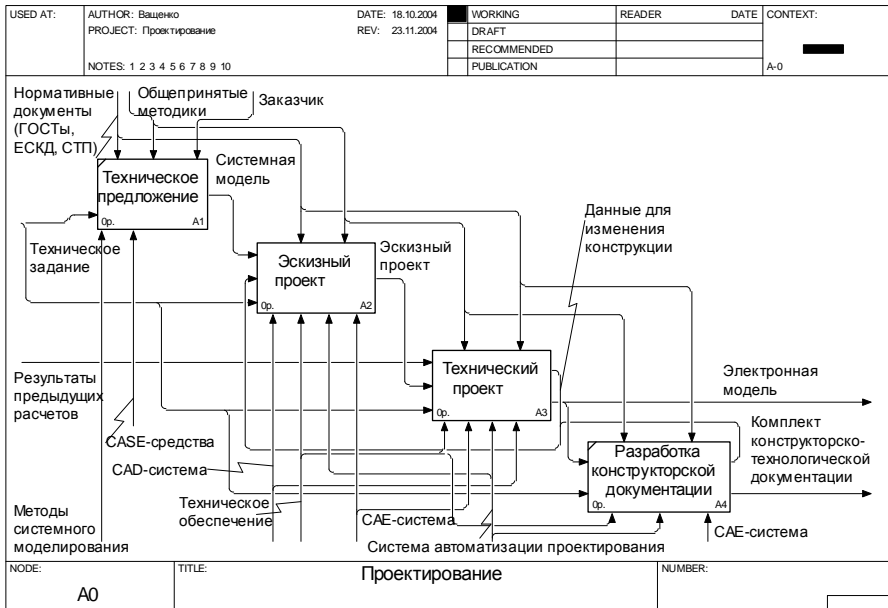


Рис. 3. Структурно-функціональна діаграма процесу проектування

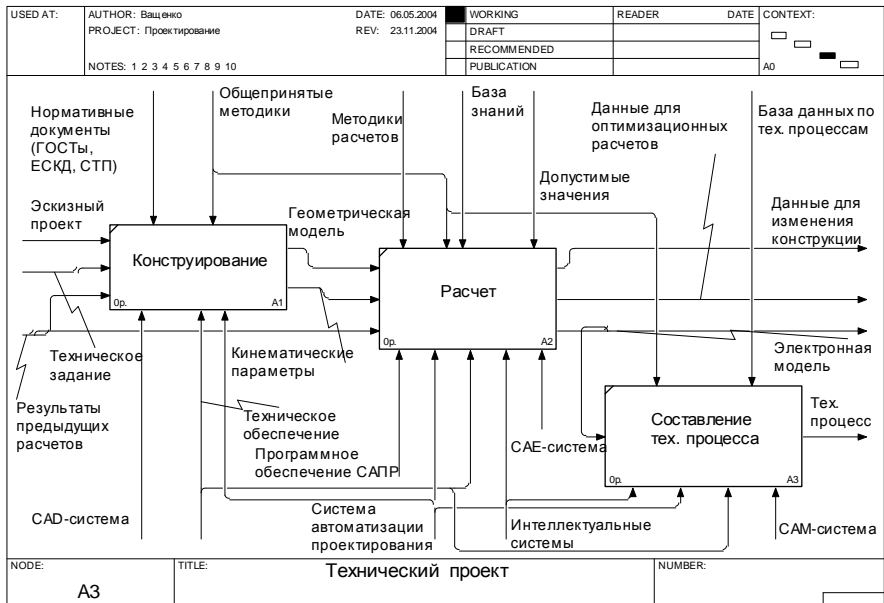


Рис. 4. Структурно-функціональна діаграма етапу технічного проектування

Аналіз отриманих діаграм дозволив:

- скласти перелік основних геометричних характеристик, що відображають можливі варіанти виконання об'єкта моделювання;
- визначити типорозмірні ряди стандартизованих та уніфікованих деталей, необхідних для проектування механізму руху поршневого компресора (шатунні болти, гайки, поршневі кільця, шатун, поршень, втулка та ін.);
- скласти перелік необхідних баз знань, що містять формалізовані знання фахівців і досвід НДІ і КБ підприємств;
- сформуванати інтегровану схему необхідних розрахунків (рис. 5);
- визначити перелік необхідних математичних моделей для розробки системи автоматизованого проектування механізму руху «СУПК», скласти перелік даних, які використовуються як вхідні при виконанні проектувальних розрахунків і розрахунків на міцність (рис. 6 і 7).

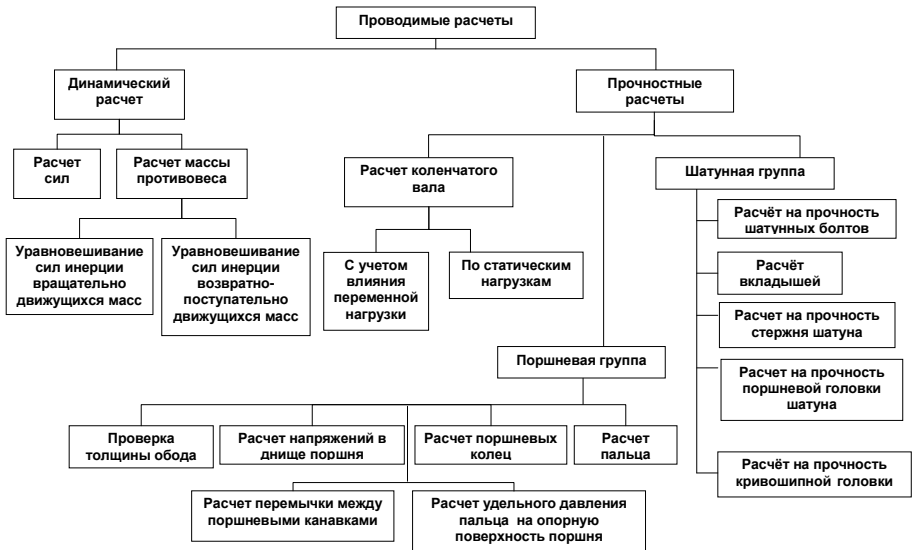


Рис. 5. Інтегрована схема необхідних розрахунків

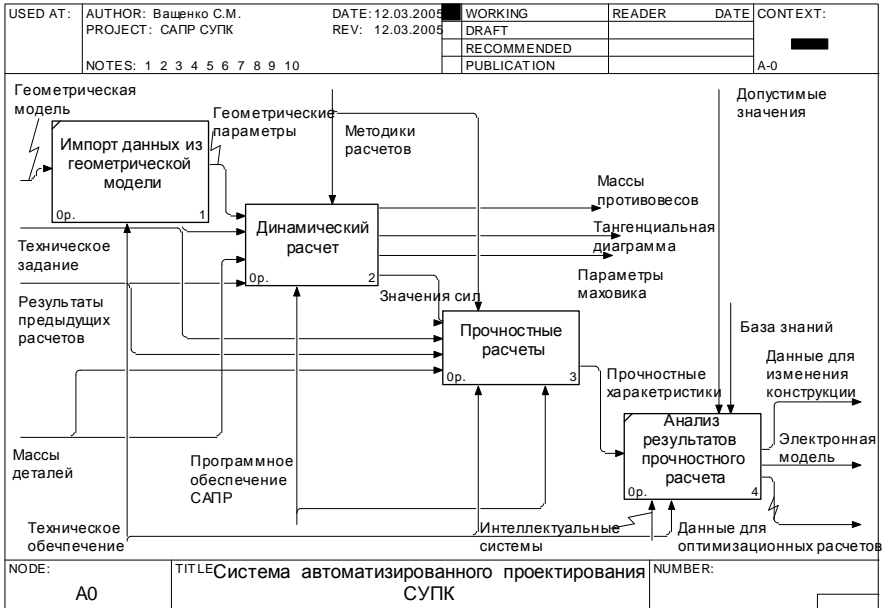


Рис. 6. Структурно-функціональна діаграма системи автоматизованого проектування механізму руху

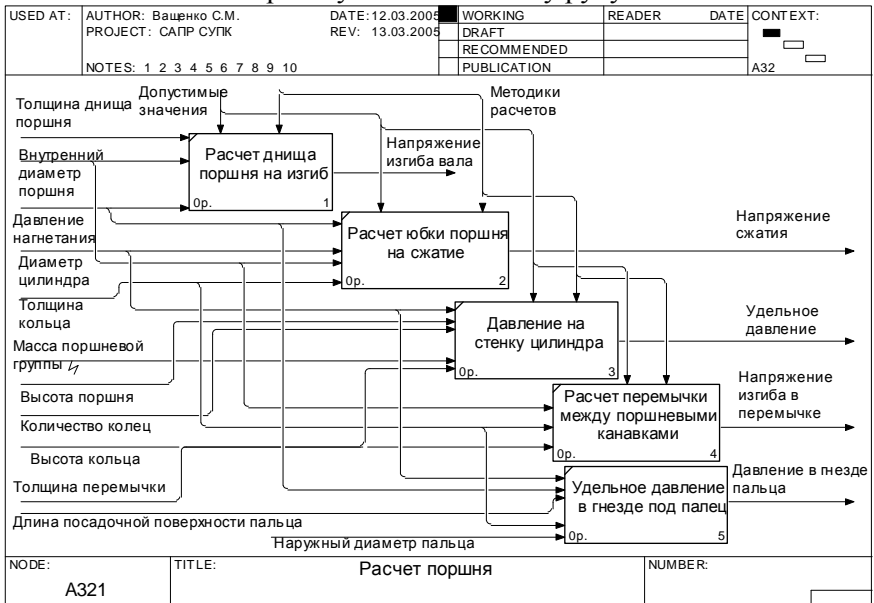


Рис. 7. Структурно-функціональна схема проведення розрахунків поршня на міцність

У **третьому розділі** описується процес створення математичної моделі механізму руху поршневого компресора.

Багато математичних моделей, що описують необхідні фізичні процеси, вже створено і описано в літературі, причому деякі з них абсолютно аналогічні за своїм змістом, хоча дещо відрізняються в логіці їх опису. Проте значну частину математичних моделей, необхідних для математичного опису процесу врівноваження, не описано в роботах, присвячених компресорам з поворотно-поступальним механізмом руху, і їх потрібно було запозичити з інших галузей машинобудування, зокрема з двигунобудування. У результаті виконання дисертаційної роботи створено інтегровану математичну модель, яка описує динамічні процеси в механізмі руху і забезпечує проведення розрахунків деталей механізму руху поршневого компресора на міцність для мінімальних дискретних значень кута повороту колінчастого вала. Для отримання адекватної математичної моделі використовувалися розроблені структурно-функціональні діаграми системи автоматизованого проектування «СУПК».

Створення інтегрованої математичної моделі базується на результатах аналізу можливості використання основних постулатів, описаних в роботах П.І. Пластініна, М.І. Френкеля, Б.С. Фотіна, В.Я. Хлумського, Е.А. Івашньова Е.А., А.С. Орліна А.С. та ін.

При побудові математичної моделі використовувалися основні залежності:

- динамічний розрахунок:

$$\frac{\partial P_{\Sigma}}{\partial a} = \frac{\partial P_{\Gamma}}{\partial a} + \frac{\partial J_{nc}}{\partial a} + \frac{\partial P_{mp.nc}}{\partial a}, \quad (1)$$

$$\frac{\partial p_u}{\partial a} = \begin{cases} (p_{наз} + \Delta p_{наз}) \left[ \frac{s \cdot c}{x_a} \right]^m \geq (p_{вс} - \Delta p_{вс}) \text{ при } 0 \leq a \leq 180^\circ \\ (p_{вс} - \Delta p_{вс}) \left[ \frac{s \cdot (1+c)}{x_a} \right]^k \leq (p_{наз} + \Delta p_{наз}) \text{ при } 180^\circ \leq a \leq 360^\circ \end{cases}, \quad (2)$$

$$\frac{\partial P_{\Gamma}}{\partial a} = \left( \frac{\partial p_u}{\partial a} - p_{вс} \right) F_n, \quad \frac{\partial J_{nc}}{\partial a} = -0,5 s m_{nc} w^2 \frac{\partial k_a}{\partial a}, \quad \frac{\partial P_{mp.nc}}{\partial a} = \frac{1}{3} \frac{\partial p_{imp}}{\partial a} F_n, \quad (3)$$

$$\frac{\partial T}{\partial a} = - \left. \frac{\partial P_{\Sigma}}{\partial a} \right|_T + \frac{1}{3p} \cdot \frac{\partial p_{imp}}{\partial a} \cdot F_n, \quad \frac{\partial R}{\partial a} = \left. \frac{\partial P_{\Sigma}}{\partial a} \right|_R, \quad (4)$$

$$T_{cp} = \frac{1}{360} \int_0^{360} \Sigma T(a) da \approx \frac{1}{360} \sum_{i=0}^{360} (\Sigma T_i + \Sigma T_{i+1}) \frac{da}{2}, \quad (7)$$

$$\vec{r}_c = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \cdot \vec{r}_i}{\sum_{i=1}^n m_i}, \quad y_c = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \cdot y_i}{\sum_{i=1}^n m_i} \quad (8)$$

$$m_{np} = \frac{1}{2} (m_{nz} + m_{uz}^{nc} + m_6^{неер} + z \cdot m_{uz}^{оо}) \frac{R}{R_{np}}, \quad a_{np} = \frac{m_{np}}{r \cdot F_{np}}; \quad (9)$$

- розрахунок деталей поршневої групи на міцність:

$$S_{сж} = \frac{0,25 \cdot p \cdot D_n^2 \cdot p_{наз}}{p \cdot 0,25 \cdot ((D_n - 1,2 \cdot s_{н.к.})^2 - D_{н.внуп}^2)}, \quad (10)$$

$$S_{s2} = 0,68 \cdot p_{наз} \cdot \frac{(0,5 D_{н.внуп})^2}{S_{дн.н}^2}, \quad q_{cm} = \frac{m_{nz} \cdot g \cdot \sin j + N_{max}}{D_n \cdot (H_n - (h_{н.к.у} k_y + h_{н.к.м} k_m))}, \quad (11)$$

$$S'_{s2} = 3 \cdot p_k \cdot \left( \frac{D_n}{s_k} - 1 \right)^2, \quad S''_{s2} = \frac{0,625 \cdot E}{(r_m/s_k)^2} \cdot \left( 1 - \frac{A}{9,42 \cdot s_k} \right), \quad (12)$$

$$S_{s2}^{н.н} = \frac{[0,5 \cdot p_{наз} \cdot F \cdot (0,5 \cdot L_{н.н.} - 0,25 \cdot a_{uz}^M)] \cdot D_{н.н.}^{30вн}}{0,1(D_{н.н.}^{30вн} - D_{н.н.}^{внуп})}; \quad (13)$$

- розрахунок деталей шатунної групи на міцність:

$$S_p = -\frac{m_{nz+мz} \cdot W^2 \cdot R \cdot (1+I)}{a_A \cdot h_A + b_A \cdot (H_A - h_A)}, \quad S_{сж} = \frac{p_{наз} \cdot F_n}{a_A \cdot h_A + b_A \cdot (H_A - h_A)}, \quad (14)$$

$$S_{x-сж} = p_{наз} \cdot F_n \cdot \left( \frac{1}{a_B \cdot h_B + b_B \cdot (H_B - h_B)} + C \frac{L}{I_x} \right), \quad (15)$$

$$S_{x-сж} = p_{наз} \cdot F_n \cdot \left( \frac{1}{a_B \cdot h_B + b_B \cdot (H_B - h_B)} + C \frac{L - 0,5(D_{м.з.}^{внуп} + D_{б.з.}^{внуп})}{4I_y} \right), \quad (16)$$

$$S_j = \left[ 2M_j \frac{6r_{cp} + h_{cm.z}}{h_{cm.z} (2r_{cp} + h_{cm.z})} + N_j \right] \frac{1}{a_{м.з.} \cdot h_{cm.z}}, \quad (17)$$

$$S_{сж} = \left[ 2M_p \frac{6r_{cp} + h_{cm.z}}{h_{cm.z} (2r_{cp} + h_{cm.z})} + N_p \right] \frac{1}{a_{м.з.} \cdot h_{cm.z}}, \quad (18)$$

$$S_{max} = (J_{nc}^{max} + (m_{uz}^{оо} - m_{сп})RW) \cdot \left( \frac{0,0236L_{м.о}}{(a_{б.з.}^2 \cdot h_{б.з.})/6} + \frac{0,5}{a_{б.з.} \cdot h_{б.з.}} \right), \quad (19)$$

$$s_E = \sqrt{\left( \frac{4(P_3 + (J_{nc}^{max} + (m_{uz}^{ob} - m_{kp})Rw)/1 + F_{u.d.}/F_6)}{i_6 \cdot p \cdot (D_{u.6})^2} \right)^2 + 4 \left( \frac{m \cdot P_3 D_p^{cp}}{2W_K} \right)^2}, \quad (20)$$

$$s_h = \frac{d(1-c)}{R_{zu} + R_{z6}}. \quad (21)$$

Розроблений інтегрований комплекс математичних моделей може використовуватися як інструмент проведення багатокритеріальних оптимізаційних розрахунків при визначенні шляхів зниження масогабаритних показників механізму руху поршневого компресора.

У **четвертому розділі** описується процес розробки геометричних параметричних моделей механізму руху поршневого компресора, а також приводиться аналіз результатів, отриманих після впровадження основних положень наукової роботи.

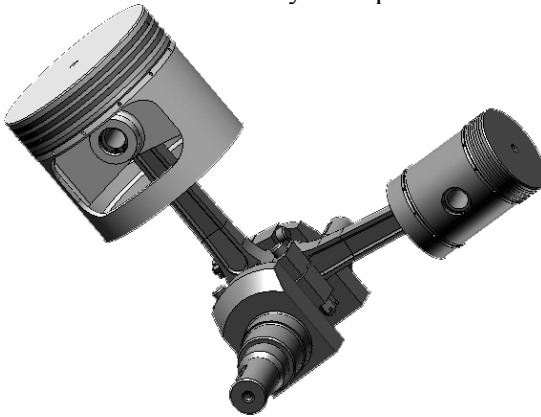


Рис. 8. Механізм руху V-подібного поршневого компресора у зібраному вигляді

Розробка геометричних моделей деталей механізму руху проводилася згідно з відповідними структурними діаграмами. У процесі моделювання побудований типовий профіль тронкового поршня, складені основні залежності для обчислення значень розмірів.

У результаті розроблено тривимірні твердотільні параметричні моделі окремих деталей і всього механізму руху у зібраному вигляді (рис.8) для натурного базового поршневого компресора ВУ1-2,5/12.

Програмне забезпечення системи автоматизованого проектування «СУПК» дозволяє виконувати математичне моделювання механізму руху. Порівняння результатів розрахунків з параметрами натурного зразка показує, що розроблене програмне забезпечення дозволяє виконувати моделювання з достатнім ступенем точності. Зокрема, відхилення розрахункової маси противаги від значення маси противаги

базового зразка, обчислені згідно із стандартним розподілом мас, складає 1%.

Аналіз тривимірних твердотільних моделей деталей механізму руху поршневого компресора ВУ1-2,5/12 дозволив визначити маси деталей шатунно-поршневої групи і маси шатунної групи, які виконують поступальний і обертальний рух (табл. 1).

У результаті аналізу тривимірної моделі, проведеного здобувачем у процесі виконання дисертаційної роботи, для даної схеми виконання механізму руху можуть бути рекомендовані такі значення коефіцієнтів розподілу мас шатунної групи (табл.1, виділено):  $k_{nc} = 0,18$  та  $k_{ep} = 0,82$ .

Таблиця 1 – Коефіцієнти розподілу мас шатунної групи

Показник	Значення показника	
	за загальноприйнятим розподілом	з геометричної моделі
Маса шатунної групи, $m_{шг}$ , кг	3,68	
Маса частки шатунної групи, яка виконує:		
- обертальний рух $m_{шг}^{ep}$ , кг	2,58	3,02
- поступальний рух, $m_{шг}^{nc}$ кг	1,1	0,66
Відношення $k_{ep} = m_{шг}^{ep} / m_{шг}$	0,7	<b>0,82</b>
Відношення $k_{nc} = m_{шг}^{nc} / m_{шг}$	0,3	<b>0,18</b>

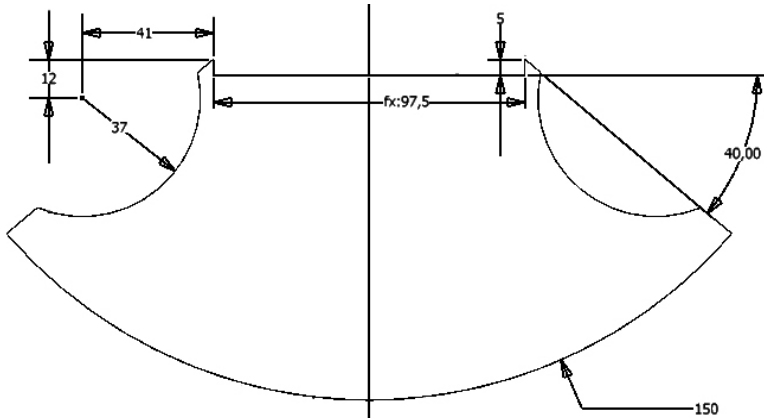


Рис. 9 – Профіль противаги, що рекомендується

Виконання профілізації противаги (рис. 9), запропоноване здобувачем, дозволило збільшити радіус центра мас без зміни



габаритів механізму руху. В даному випадку  $m_{np}^{pek}=3,36$  кг, ширина противаги  $a_{np}^{pek}=33$  мм.

Таким чином, профілізація дозволила зменшити масу кожної противаги на 0,47 кг, що складає 12 % по відношенню до маси базової противаги.

Всі розрахунки виконувалися за допомогою розробленого програмного забезпечення. За наслідками комп'ютерного моделювання отримано діаграму сумарної тангенціальної сили (рис. 10), яка є одним із результатів роботи САПР «СУПК».

При побудові діаграми за допомогою розробленого програмного забезпечення було використано більшу кількість розрахункових точок, що дозволило точніше відобразити криву на діаграмі. Подальше використання отриманих результатів дозволить точніше визначити масогабаритні параметри маховика.

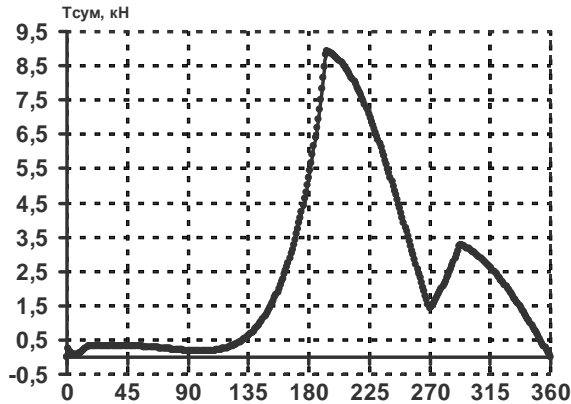


Рис. 10 – Діаграма сумарної тангенціальної сили

Ефект від впровадження запропонованих рекомендацій щодо зміни конструкції противаги також характеризується поліпшенням віброакустичних характеристик, які вимірювалися на спеціальному стенді за допомогою відповідної апаратури.

Контроль рівня вібрації здійснювався вимірюванням віброприскорення на опорах компресора. На одному й тому самому серійному зразку проведено дослідження зі штатною противагою і дослідною, виконаною згідно із запропонованими в дисертаційній роботі рекомендаціями.

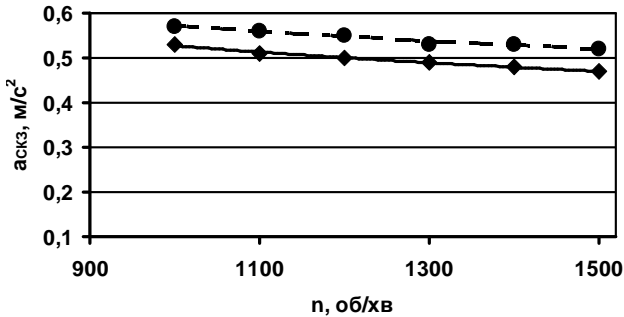


Рис. 11. Залежність середнього квадратичного значення віброприскорення  $a_{скз}$ ,  $m/s^2$  від частоти обертання колінчастого вала  $n$ , об/хв:

--●--- базовий зразок;  
 —◆— дослідний зразок

Дослідження вібраційного стану проводилися двома серіями. Перша серія випробувань (рис. 11) – при номінальному навантаженні і варіюванні частоти обертання вала від 1000 до 15000 об/хв з кроком 100 об/хв.

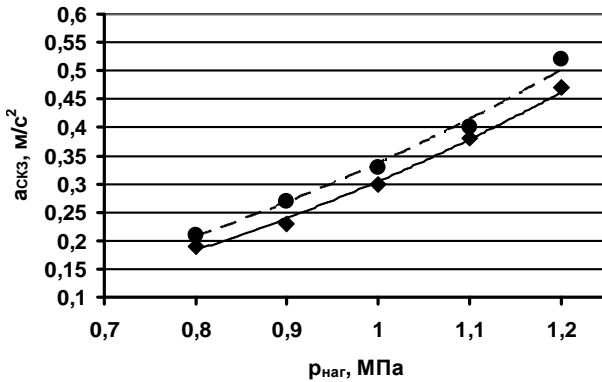


Рис. 12. Залежність середнього квадратичного значення віброприскорення  $a_{скз}$ ,  $m/s^2$  від тиску нагнітання  $p_{наг}$ , МПа:

--●--- базовий зразок;  
 —◆— дослідний зразок

Друга серія випробувань (рис. 12) – при розрахунковому режимі роботи і варіюванні навантаження від 0,8 до 1,2 МПа. В усіх випадках фіксується зниження віброприскорення дослідного зразка в порівнянні з базовим.

Аналіз отриманих у ході досліджень результатів показує, що на розрахунковому режимі при номінальному навантаженні середнє квадратичне значення віброприскорення дослідного зразка в порівнянні з базовим знижується до 9%.

## ВИСНОВКИ

За результатами виконаної роботи можна зробити наступні висновки.

- 1 Вирішення завдання створення в найкоротші терміни конкурентоспроможних компресорних машин, яке стоїть перед вітчизняним компресоробудуванням, не можливе без впровадження в процес їх розробки засобів інформаційної підтримки життєвого циклу виробів (CALS-технологій). Реінжиніринг конструкторсько-технологічної підготовки виробництва поршневих компресорів, у тому числі і розробки механізму руху поршневого компресора, рекомендується проводити на основі системного підходу з використанням CASE-технології.
- 2 При системному проектуванні як усього поршневого компресора, так і механізму руху поршневого компресора необхідно використовувати об'єктний підхід з метою формування єдиної багаторівневої системної моделі.
- 3 Використання методів системного і структурно-функціонального аналізу дозволяє організувати високоефективне конструювання підсистем поршневого компресора «зверху вниз», згідно із функціональним і технологічним проектуванням.
- 4 Скорочення термінів конструкторсько-технологічної підготовки виробництва забезпечується використанням CAD-систем параметричного твердотільного моделювання і створення бібліотек моделей конструкторських і технологічних елементів.
- 5 Підвищення ефективності конструкторсько-технологічної підготовки виробництва і конкурентоспроможності продукції, що випускається, досягається за рахунок використання розроблених методів і засобів, реалізованих у вигляді інтегрованої системи автоматизованого проектування механізму руху поршневого компресора, що дозволяє:
  - зменшити витрати на натурне моделювання в процесі розробки виробів за рахунок використання математичних моделей;
  - зменшити витрати на заводські випробування за рахунок точного визначення центра рухомих мас і врахуванні цих даних при визначенні параметрів деталей механізму;
  - виконувати паралельне і багатоваріантне проектування.

- 6 Впровадження результатів роботи у процес конструкторсько-технологічної підготовки виробництва двоступневих V-подібних поршневих компресорів забезпечило:
- визначення способів зменшення матеріаломісткості деталей механізму руху поршневого компресора;
  - поліпшення віброакустичних характеристик поршневого компресора ВУ1-2,5/12;
  - отримання початкових даних для проведення багатокритеріальних оптимізаційних розрахунків;
  - отримання геометричних параметрів для автоматизації розробки технологічної документації за рахунок створення типових технологічних процесів.

### **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

1. Концевич В.Г., Ващенко С.М. Системная модель поршневого компрессора //Вісник Сумського державного університету. Серія Технічні науки. – Суми, 2004. – № 2(61). – С. 58 – 65.
2. Ващенко С.М. Разработка структурной схемы конструктивных и технологических элементов механизма движения поршневого компрессора //Вісник Сумського державного університету. Серія Технічні науки.– Суми, 2005. – №1(73). – С. 166 – 171.
3. Концевич В.Г., Ващенко С.М. Разработка САПР механизма движения поршневого компрессора на базе единого информационного пространства моделирования //Сборник научных трудов IV Международной научно-технической конференции «Современные проблемы холодильной техники и технологии». – Одесса: Издательство ОГАХ, 2005. – С. 96 – 98.
4. Ващенко С.М. Динамические силы в кривошипно-шатунном механизме поршневого компрессора //Компрессорное и энергетическое машиностроение. – 2006. – №1(3). –С. 87 – 89.
5. Концевич В.Г., Ващенко С.М. Применение системного подхода при конструировании кривошипно-шатунного механизма с целью уменьшения металлоемкости поршневого компрессора //Компрессорное и энергетическое машиностроение. – 2007. – №1 (7). – С. 54 – 58.

## АНОТАЦІЯ

Ващенко С.М. Системне проектування механізму врівноваження поршневого компресора. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.15 – вакуумна та компресорна техніка. – Сумський державний університет, Суми, 2007.

У процесі виконання дисертаційної роботи розроблено системну модель процесу проектування, уточнено мету і зміст етапів проектування, встановлено функціональні і інформаційні зв'язки між етапами. Системна модель механізму руху відображає перелік функціональних елементів, які забезпечують основне призначення поршневого компресора. Із застосуванням системного підходу складено інтегровану математичну модель проведення розрахунків на міцність і геометричних розрахунків деталей механізму руху поршневого компресора, виконання динамічного розрахунку. Комплекс програмного забезпечення дозволяє економити час і засоби, що витрачаються на проектування. Тривимірне твердотільне моделювання дозволило точно визначити маси деталей механізму руху, центр мас рухомих деталей. Виконана профілізація противаги, що дозволило зменшити його вагу.

Основні положення дисертаційної роботи перевірені при модернізації конструкції діючого поршневого компресора.

**Ключові слова:** системне моделювання, структурний аналіз, функціональні діаграми, етапи проектування, математична модель, механізм руху, противага, параметризація, динамічний розрахунок, розрахунок на міцність.

## SUMMARY

Vashchenko S.M. System designing of the mechanism of balancing of the piston compressor. – The manuscript.

Thesis on competition of a scientific degree of the candidate of engineering science in speciality 05.05.15 – vacuum and compressor technics. – Sumy state university, Sumy, 2007.

During performance of dissertational work the system model of process of designing is developed, the purpose and contents of design stages is specified, functional and information communications between stages are established. The system model of the mechanism of movement of the

reciprocating compressor reflects the list of the functional elements providing the basic purpose of the reciprocating compressor. With application of the system approach the complex mathematical model of carrying out calculation on durability and geometrical calculations of details of the mechanism of movement of the reciprocating compressor, performance of dynamic calculation is made. The complex of the software allows to save time and the means spent for designing. Three-dimensional solid-state modelling has allowed to define precisely weights of details of the mechanism of movement, the center of weights of moving details. Change of a structure of a counterbalance has allowed to lower its weight.

Substantive provisions of dissertational work are checked up on an operating design of the reciprocating compressor.

**Keywords:** system modelling, the structural analysis, functional diagrams, design stages, mathematical model, the mechanism of movement, a counterbalance, parametrization, dynamic calculation, calculation on durability.

## АННОТАЦИЯ

Вашенко С.М. Системное проектирование механизма уравнивания поршневого компрессора. – Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.05.15 – вакуумная и компрессорная техника. – Сумский государственный университет, Сумы, 2007.

Актуальность диссертационной работы обуславливается тем, что в промышленности Украины существует ощутимая потребность в модернизации существующего и разработке нового компрессорного оборудования с высокой конкурентной способностью. Это возможно лишь при условии проведения реинжиниринга процесса конструкторско-технологической подготовки производства, которое обеспечивает создание высокоэффективной компрессорной техники, отвечающей требованиям рынка относительно удельных массогабаритных показателей и сниженных виброакустических показателей.

Организация процесса проектирования должна проводиться с применением системного подхода на базе CALS-методологии, обеспечивающей комплексную интеграцию процессов на всех этапах жизненного цикла изделия. Это позволило уточнить цель и

содержимое этапов проектирования, установить функциональные и информационные связи между этапами.

Разработанная системная модель механизма движения поршневого компрессора отражает перечень функциональных элементов, обеспечивающих основное назначение компрессора.

Набор структурно-функциональных диаграмм, описывающих систему автоматизированного проектирования механизма движения, реализует параллельное и вариантное проектирование.

Комплекс программного обеспечения, разработанный на основе интегрированной математической модели проведения динамического и прочностных расчетов, позволяет экономить время, затрачиваемое на проведение расчетных операции, и средства, затрачиваемые на натурные испытания опытных образцов.

С использованием системной модели механизма движения разработан типоразмерный ряд моделей конструкторских и технологических элементов, построена модель механизма в сборе. Это позволило точно определить массы деталей механизма движения и центр масс движущихся деталей.

Для исследуемой конструкции уточнено распределение масс шатунной группы. Профилирование противовеса в современных пакетах трехмерного твердотельного проектирования позволило снизить его массу.

Основные положения диссертационной работы проверены на действующей конструкции поршневого V-образного компрессора. Анализ экспериментальных данных показал снижение среднего квадратичного значения виброускорения.

**Ключевые слова:** системное моделирование, структурный анализ, функциональные диаграммы, этапы проектирования, математическая модель, механизм движения, противовес, параметризация, динамический расчет, прочностной расчет.

Підп. до друку 22. 08. 2007 р.

Формат 60×86/16.

Папір офс.

Наклад 100 прим.

Обл.-вид. арк. 0,9.

Друк офс.

Замовл. № \_\_\_\_\_.

Ум. друк. арк. 1,4.

Вид-во СумДУ. Свідоцтво №2365 від 08.12.2005 р.

40007, м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2.