

использование энергии солнечной радиации для отопления и ГВС; применение децентрализации с местными локальными котельными), так и активные меры энергосбережения, может обеспечить снижение энергопотребления в зданиях до 70%.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. М.А. Короли, А.И. Анарбаев Комплекс технических мероприятий по повышению энергоэффективности системы теплоснабжения г. Ташкента. // Проблемы энерго- и ресурсосбережения №1-2, Ташкент, 2013. С. 86-91.

Аналитический доклад Повышение энергоэффективности зданий в Узбекистане:

направления реформ и ожидаемые эффекты (ЦЭИ), 2014

2. Постановление Президента РУз от 22.08.2019г. № ПП – 4422 «Об ускоренных мерах по повышению энергоэффективности отраслей экономики и социальной сферы, внедрению энергосберегающих технологий и развитию возобновляемых источников энергии»

3. Научные основы схемно-технологической оптимизации комбинированных солнечно-топливных котельных: монография / М.А. Короли, Р.А. Захидов, А.И. Анарбаев. – Новосибирск: Издательство ЦРНС, 2016. – 106 с.

Lavinsky D.V.

candidate of technical sciences, docent,

docent of the department «Theoretical Mechanics»

National Technical University «Kharkov Polytechnic Institute»

Morachkovsky O.K.

doctor of technical sciences, professor,

head of the department «Theoretical Mechanics»,

National Technical University «Kharkov Polytechnic Institute»

DEFORMATION OF DEVICES FOR PRESSURE OF POWDERS IN THE ACTION OF THE ELECTROMAGNETIC FIELD

Лавінський Денис Володимирович

кандидат технічних наук, доцент,

доцент кафедри «Теоретична механіка»

Національний Технічний Університет

«Харківський політехнічний інститут»

Морачковський Олег Костянтинович

доктор технічних наук, професор,

завідувач кафедри «Теоретична механіка»

Національний Технічний Університет

«Харківський політехнічний інститут»

ДЕФОРМУВАННЯ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ ПРЕСУВАННЯ ПОРОШКІВ ПРИ ДІЇ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ

Summary. The problem statement of the compound structures deformation for powder compaction is given in this article. The capability of the joint use of traditional pseudoisostatic compaction and electromagnetic compaction is considered. The finite element method is used as numerical method of solution. It is given the numerical results, which show the distribution of equivalent stresses. The influence of external electromagnetic field on stress-strain state of press-molding elements is studied under the number of numerical investigations.

Анотація. В роботі наведено постановку задачі аналізу деформування складених конструкцій, які використовуються для пресування порошкових матеріалів. Розглянуто можливість сумісного використання традиційного псевдоізостатичного пресування та електромагнітного пресування. В якості чисельного метода розв'язання використовується метод скінчених елементів. Наведено результати розрахунків, що ілюструють розподіл інтенсивності магнітного поля та інтенсивності напружень. Проведено серію розрахунків, у яких вивчено вплив зовнішнього електромагнітного поля на напружено-деформований стан елементів прес-форми.

Key words: compound structures, powder compaction, electromagnetic field, stress-strain state, finite element method.

Ключові слова: складені конструкції, пресування порошкових матеріалів, електромагнітне поле, напружено-деформований стан, метод скінчених елементів.

Постановка проблеми, аналіз останніх досліджень. Порошкові матеріали (ПМ) наразі стають невід'ємним елементом при виготовленні

сировини для одержання як заготовок, так і готових виробів у різноманітних галузях промисловості [1]. Велика кількість технологічних процесів

пресування (ущільнення) ПМ стосується обробки високоактивних відходів із метою їх подальшої утилізації. Один з напрямків, передбачає пресування нових виробів з порошків тугоплавких сполук типу карбиду вольфраму, кобальту, нікелю. Ефективним процес пресування може бути тільки при підвищених температурах. Так при температурі оброблюваного порошку $\sim 1800^\circ\text{C}$ і питомих тисках 30-40 МПа пресування може проводитись в матрицях з тугоплавких матеріалів. При рівнях тиску 40-100 МПа можна використовувати для матриці вуглець-вуглецевий композиційний матеріал – ВВКМ, який має високі механічні властивості при підвищених температурах [2,3].

У роботах [4,5] наведено розрахункову схему прес-форми та надано постановку задачі аналізу напружено-деформованого стану (НДС) складеної прес-форми з ВВКМ, наведені результати розрахунків. Згідно цих результатів можна стверджувати, що основні елементи прес-форм для обробки порошків високоміцних тугоплавких матеріалів (пуансони і матриця) є високонавантаженими конструкційними елементами, причому рівні напружень в них близькі до небезпечних, особливо це стосується матриці.

Основним джерелом навантаження вкладиша і матриці є радіальний тиск пресування, якщо в процесі пресування створити тиск, який діє на заготовку в протилежному напрямку (що забезпечує радіальне стиснення заготовки), то тоді знизиться навантаженість вкладиша і матриці. Створити такий стискаючий радіальний тиск можна, якщо використовувати енергію наведеного електромагнітного поля (ЕМП), що розвивається зовнішнім індуктором. В даному випадку це можна реалізувати, якщо розмістити з боку зовнішньої

поверхні матриці циліндричний спіральний багатовитковий індуктор. Застосування подібних індукторів широко поширене як в традиційних технологіях МІОМ, коли оброблювана заготовка розташована всередині індуктора (тут вплив класифікується за схемою «обтискання» [6]), так і при магнітно-імпульсному пресуванні порошкових матеріалів [1,7,8], коли електромагнітні сили діють безпосередньо на оброблюваний порошок.

Постановка завдання досліджень.

Розглянемо розрахункову схему прес-форми із зовнішнім індуктором, яка може мати вигляд, наведений на рис. 1. В даному випадку електромагнітні сили, що розвиваються індуктором, будуть спрямовані до осі Oz вздовж радіуса. Зовнішній спіральний багатовитковий індуктор з ізоляцією на основі азбесту, струмопровід – з міді. Товщина ізоляції індуктора – $H = 8$ мм, переріз струмопроводу – прямокутник 3 на 4 мм. Кількість витків струмопроводу варіюється. Прес-форма має такі розміри: $d_1 = 340$ мм, $d_3 = 340$ мм, $L = 340$ мм. Вироби можуть мати різну висоту (l), яка задається відносно висоти прес-форми (L). Навантаженість вкладиша і матриці залежить від співвідношення їх товстистінностей, які можна визначити відношенням зовнішнього діаметра вкладиша (d_2) до зовнішнього діаметра матриці (d_3) при фіксованому діаметрі пресованого виробу (d_1). Результати розрахунків за ізостатичного пресування [4,5] свідчать, що найбільш навантаженими елементи прес-форми є у випадку: $l/L = 0,550$ та $d_2/d_3 = 0,850$, тому подальші розрахунки проводились саме при цих співвідношеннях.

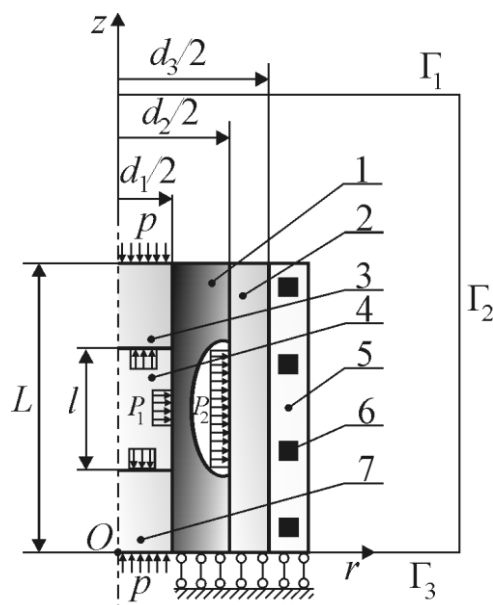


Рисунок 1 – Розрахункова схема пристрою з індуктором для пресування порожнистих виробів з порошків: 1 – вкладиш; 2 – матриця; 3,7 – пуансони; 4 – брикет з порошку;

5 – ізоляція індуктора; 6 – струмопровід індуктора

У таблицях 1 і 2 приведені фізико-механічні характеристики матеріалів ізоляції та струмопроводу індуктора, а також електрофізичні характеристики матеріалу елементів прес-форми і індуктора, які використовувалися в розрахунках.

Таблиця 1

ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРІАЛУ ЕЛЕМЕНТІВ ПРЕС-ФОРМИ

	Пуансони (ВВКМ)	Матриця (ВВКМ)	Вкладиш (графіт АРВ-1)	Ізоляція (азбест)	Струмопровід (мідь)
E , ГПа	18	18	10,5	200	180
ν	0,19	0,19	0,2	0,2	0,33
σ_T , МПа	—	—	—	—	200
σ_B , МПа	—	—	—	700	—
$(\sigma_+)_B$, МПа	100	100	15	—	—
$(\sigma_-)_B$, МПа	110	110	51,5	—	—
α_T , $1/^\circ\text{C}$	$3,5 \cdot 10^{-6}$	$3,5 \cdot 10^{-6}$	$6 \cdot 10^{-6}$	$2,5 \cdot 10^{-6}$	$3,5 \cdot 10^{-6}$
ρ , кг/м ³	1500	1500	1600	2400	1500
λ , Вт/(м·К)	130	130	120	0,05	130
c , Дж/(кг·К)	1700	1700	1700	1050	1700

Таблиця 2

ЕЛЕКТРОФІЗИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРІАЛУ ЕЛЕМЕНТІВ ПРЕС-ФОРМИ І ІНДУКТОРА

	Матриця, пуансони (ВВКМ)	Вкладиш, центральний стрижень (графіт АРВ-1)	Заготовка (карбід вольфраму)	Ізоляція (азбест)	Струмопровід (мідь)
γ , 1/(Ом·см)	$0,372 \cdot 10^7$	$0,372 \cdot 10^7$	$0,522 \cdot 10^7$	0	$7 \cdot 10^7$
μ_r	1	1	1	1	1

На першому етапі вирішувалося завдання аналізу розподілу векторних компонент ЕМП. Тут прес-форма розглядалася спільно з навколишнім середовищем, на межах Γ_1 , Γ_2 і Γ_3 задавалися нульові значення окружної компоненти векторного магнітного потенціалу, що моделює загасання ЕМП на віддаленні від джерела поля. В якості джерела поля приймався струм, рівномірно розподілений по перетину витка струмопроводу, в часі густина струму приймалася за законом: $j(t) = I_m e^{-\delta 2\pi f t} \cdot \sin(2\pi f t)$, де амплітуда сили струму $I_m = 30$ кА, частота $f = 2$ кГц, відносний коефіцієнт загасання $\delta = 0,3$. При розв'язанні задач теплопровідності та деформування оточуюче середовище виключалось із розгляду.

Повна постановка задачі пружно-пластичного деформування контактно-взаємодіючих систем тіл при дії ЕМП та метод розв'язання, що спирається

на метод скінчених елементів (МСЕ), наведені у роботах [9-11] у роботах [10,11] наведено варіаційну постановку задачі, а також підхід до визначення електромагнітних сил, який базується на принципі віртуальної роботи. Моделювання контактної взаємодії проводилось відповідно до рекомендацій, представлених у [12].

Взагалі, процес аналізу подібних розрахункових схем потребує послідовного розв'язання трьох задач: задачі з визначення просторово-часового розподілу основних характеристик ЕМП, задачі нестационарної теплопровідності, а також задачі пружного (пружно-пластичного деформування). Вплив ЕМП на етапі розв'язання другої та третьої задачі враховується введенням розподілених джерел тепловиділення та розподілених електромагнітних сил. Таким чином, розв'язання потребує пошуку стаціонарних значень наступних функціоналів:

$$\begin{aligned}
 MAG &= 2\pi \iint_S \left[\frac{1}{2} \left\{ \left(\frac{\partial A}{\partial r} \right)^2 + \left(\frac{\partial A}{\partial z} \right)^2 \right\} + \mu \gamma \frac{\partial A}{\partial t} A \right] r d\Gamma; \\
 Temp &= 2\pi \iint_S \left\{ \frac{\lambda}{2} \left[\left(\frac{\partial T}{\partial r} \right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial z} \right)^2 \right] - QT + \rho c \frac{\partial T}{\partial t} T \right\} r dS + 2\pi \int_{\Gamma_2} \frac{\alpha}{2} [T^2 - 2T_\infty T] r d\Gamma \\
 &U = \pi \int_S [\sigma_r \varepsilon_r + \sigma_z \varepsilon_z + \sigma_\theta \varepsilon_\theta + \tau_{rz} \gamma_{rz}] r dS - 2\pi \int_S [j_\theta (B_r u_z - B_z u_r)] r dS.
 \end{aligned}$$

Де j_θ – ненульова (окружна) компонента векторного магнітного потенціалу; μ – магнітна проникність матеріалу; γ – електропровідність матеріалу; λ – коефіцієнт теплопередачі; Q – питома потужність внутрішніх джерел тепловиділення;

$Q = \frac{1}{\gamma} j_\theta^2$, j_θ – окружна компонента густини вихрового струму; α – коефіцієнт конвекційного теплообміну; T_∞ – температура зовнішнього середовища; $\sigma_r \dots \tau_{rz}$, $\varepsilon_r \dots \gamma_{rz}$, B_r, B_z , u_r, u_z – ненульові компоненти тензорів напружень та

деформацій, а також векторів магнітної індукції та переміщень.

Наведені функціонали одержані із загальних виразів з [10,11] з урахуванням осової симетрії, яка стосується і геометрії конструкційних елементів, і умов навантаження та закріплення.

Поведінка матеріалів складових частин прес-форми та ізоляції індуктора приймається в рамках пружної моделі, матеріал струмопроводу розглядаємо в рамках пружно-пластичної моделі

Задача деформування розв'язувалась у квазістаціонарному наближенні, тому що в даному випадку впливом нестационарності ЕМП можна знехтувати. Дане твердження, ґрунтується на особливостях геометрії конструктивних елементів прес-форми, заготовки та індуктора – всі вони є досить масивними, а отже мало схильними до можливості виникнення коливальних процесів.

Аналіз одержаних результатів.

На рис. 2 наведено просторовий розподіл еквівалентних напружень σ_{Mo} згідно до критерію Кулона-Мора. Якісно картина навантаженості елементів прес-форми є майже ідентичною

випадку, коли пресування відбувається без додаткового індуктора. Проте кількісний аналіз свідчить, що матриця стає навантаженою у значно меншому ступені. Рівні еквівалентних напружень σ_{Mo} в матриці знижуються в порівнянні з ізостатичним пресуванням приблизно у 1,84 рази у центральній зоні та приблизно у 1,2 разу в околі верхнього торцю.

Слід відзначити, що найбільші значення еквівалентних напружень σ_{Mo} спостерігаються у витках індуктора, де вони досягають приблизно 120 МПа. Мідь є матеріалом, яка однаково деформується при розтягу та при стиску, отже розглянуті еквівалентні напруження, фактично є значенням максимального дотичного напруження, яке також може використовуватись для оцінок початку текучості. При розглянутих конструкційних та експлуатаційних параметрах струмопровід деформується пружно. Максимальні значення еквівалентних напружень в ізоляції індуктора незначні (у порівнянні з межею міцності азбесту) – вони не перевищують 42 МПа.

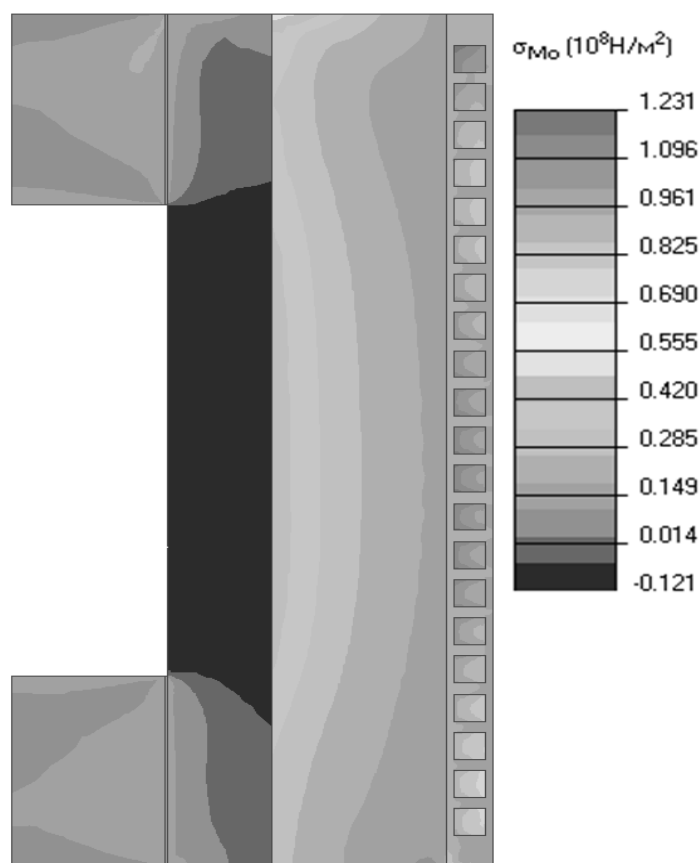


Рисунок 5.31 – Розподіл еквівалентних напружень згідно до критерію Кулона-Мора

Як відомо, зі збільшенням амплітуди сили струму відбувається збільшення значень електромагнітних сил, що в технологічних системах, подібних розглянутій призведе до зниження рівнів напружень в елементах прес-форм. Для складання кількісних оцінок була проведена серія розрахунків, в яких варіювалося значення амплітуди сила струму, що діє в індукторі.

Виявилося, що при підвищенні амплітуди відбувається значне зниження максимальних значень інтенсивності напружень в матриці. Так, при збільшенні сили струму з 30 до 40 кА, максимальна інтенсивність напружень в матриці знижується приблизно на 10%, така ж тенденція зберігається і при подальшому збільшенні сили струму.

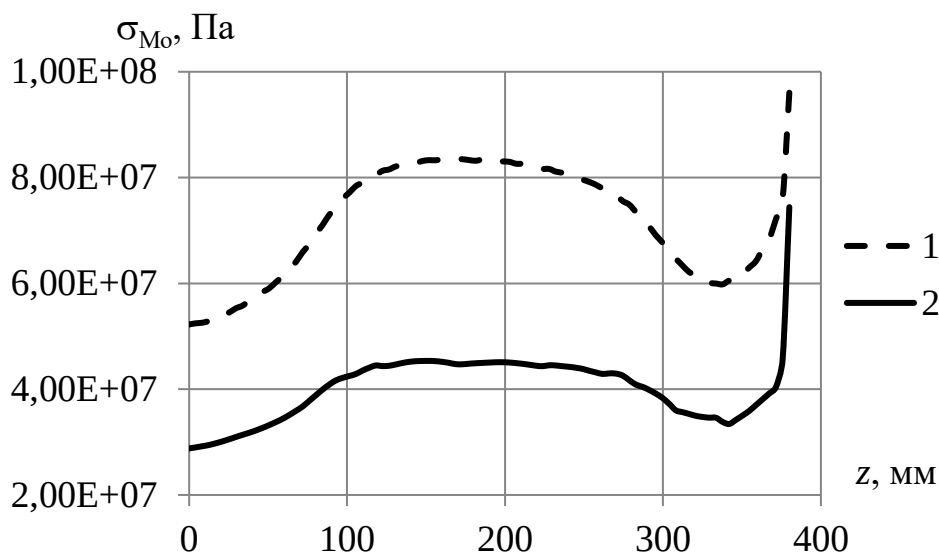


Рисунок 5.32 – Порівняння інтенсивності напружень, розподілених уздовж внутрішньої поверхні матриці; 1 – ізостатичне пресування, 2 – сумісне пресування

Однак, збільшення сили струму призводить також до збільшення електромагнітних сил, що діють на струмопровід індуктора: при збільшенні амплітуди сили струму з 30 до 40 кА максимальна інтенсивність напружень зростає приблизно на 30%. При перевищенні силою струму величини 50 кА інтенсивність напружень перевищує межу текучості міді і в матеріалі струмопроводу з'являються зони пластичних деформацій. Тому для індуктора з розглянутими геометричними розмірами струмопроводу використання сили струму більше, ніж 50 кА не бажано.

Висновки. В роботі запропоновано використання сумісного ізостатичного та електромагнітного пресування порошків тугоплавких сполук у матрицях, виконаних з вуглець-вуглецевих композитних матеріалів. Із використанням методу скінчених елементів визначені просторово-часові розподіли основних компонентів електромагнітного поля. Вплив електромагнітного поля на процес деформування враховано шляхом введення розподілених електромагнітних сил. У квазістационарному наближенні проведено аналіз деформування основних елементів прес-форми.

В цілому, для розглянутої технологічної операції, слід відзначити позитивний ефект в результаті застосування способу електромагнітної обробки матеріалів спільно із ізостатичним пресуванням. Спостерігається зниження навантаженості основного елемента прес-форми – матриці. Для визначення раціональних експлуатаційних параметрів проведено серію розрахунків, у яких вивчалась залежність інтенсивності напружень від величини амплітуди сили струму.

Список літератури:

1. Mamalis A. G., Manolakos D.E., Kladas A.G., Koumoutsos A.K. Electro-magnetic tooling for metal forming and powder compaction: numerical

simulation. High Speed Forming: Proceedings of the 1st International Conference. 2004. P. 143-154.

2. Бушуев Ю.Г., Персин М.И., Соколов В.А. Углерод-углеродные композиционные материалы. М.: Металлургия, 1994. 128с.

3. Нагорный В.Г., Котосонов А.С., Островский В.С. Свойства конструкционных материалов на основе углерода: Справочник. М.: Металлургия, 1975. 335 с.

4. Бирюков О.В., Колосенко В.В., Саенко С.Ю., Лавинский Д.В., Морачковский О.К., Соболев В.Н. Статический анализ прочности конструктивных элементов пресс-форм для прессования изделий из порошков. Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». 2006. №32. С. 28-32.

5. Ашихмин В.П., Бирюков О.В., Гуринов В.А., Затолока Б.Б., Колосенко В.В., Саенко С.Ю., Лавинский Д.В., Морачковский О.К. Анализ прочности элементов пресс-форм из углерод-углеродных материалов для псевдоизостатического прессования. Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение. 2007. № 6 (91). С. 120-123.

6. Белый И.В., Фертик С.М., Хименко Л.Т. Справочник по магнитно-импульсной обработке металлов. Харьков: Вища школа, 1977. 189 с.

7. Миронов В.А. Прогрессивные способы производства деталей машин и приборов из порошковых материалов. Рига: Зинатне, 1974. 87 с.

8. Миронов В.А. Магнитно-импульсное прессование порошков. Рига: Зинатне, 1980. 196 с.

9. Лавинський Д.В., Морачковський О.К. Пружно-пластичне деформування систем тіл при дії електромагнітних полів. Вісник Запорізького національного університету: Фізико-математичні науки. 2015. № 2. С. 125-135.

10. Altenbach H., Morachkovsky O., Lavinsky D., Naumenko K. Inelastic deformation of conductive

bodies in electromagnetic fields. Continuum Mechanics and Thermodynamics. 2016. Vol. 28. No. 5. P. 1421-1433.

11. Lavinskii D.V., Morachkovskii O.K. Elastoplastic Deformation of Bodies Interacting Through Contact Under the Action of Pulsed

Electromagnetic Field. Strength of materials. 2016. - Vol. 48. No. 6. P. 760-767.

12. Lavinskii D.V., Bondar' S.V. Study of thermoelastoplastic contact deformation of production tooling mixed structures. Strength of materials. 2011. Vol. 43. No. 4. P. 447-454.

Lebedev A.V.
JSC Angstrom-T,
Moscow, Russia

DSC TO ERP. ADVANTAGES AND SHORTCOMINGS

Лебедев Александр Владимирович
АО «Ангстрем-Т»
Москва, Россия

ПЕРЕХОД ОТ АСУ К ERP. ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ

Summary. Today, almost all DCS of enterprises do not meet the requirements - computer automated control. There is a transition from DCS systems to ERP systems.

Аннотация. На сегодняшний день, почти все АСУ предприятий не соответствуют требованиям – компьютерного автоматизированного управления. Происходит переход от систем АСУ к системам ERP.

Согласно ГОСТ 34.003-90 [1] под автоматизированной системой¹ управления (АСУ) понимается система, состоящая из персонала и комплекса средств автоматизации его деятельности, реализующая информационную технологию выполнения установленных функций.

По определению из ГОСТ 24.103-84 АСУ [2] предназначена для обеспечения эффективного функционирования

В финансово-хозяйственной деятельности любого предприятия микроэлектронной промышленности можно выделить большое количество задач, требующих автоматизации. К таким общим задачам можно отнести [3,4]:

- управление производственными ресурсами;
- управления процесса проектирования интегральных микросхем (ИС);
- управление качеством продукции (ОТК);
- планирование и контроль последовательности выполнения производственных (технологических) операций;

- управление материальными и финансовыми ресурсами;

- управление закупками, сбытом, заказами потребителей и поставками;

- управление кадрами, основными фондами, складами;

- бизнес-планирование и бухгалтерский учет;

- расчеты с покупателями и поставщиками;

- ведение банковских счетов

Из этих задач мы выделяем следующие задачи:

- управление производственными ресурсами;

- управление материальными и финансовыми ресурсами;

- управление закупками, сбытом, заказами потребителей и поставками.

Это совершенно разные задачи, каждая из которых, зеркально отображается в управлении финансами.

¹ Примечания:

1. В зависимости от вида деятельности выделяют, например следующие виды автоматизированных систем (АС): автоматизированные системы управления (АСУ), системы автоматизированного проектирования (САПР), автоматизированные системы научных исследований (АСНИ) и др.

2. В зависимости от вида управляемого объекта (процесса) АСУ делят, например, на АСУ технологическими процессами (АСУТП), АСУ предприятиями (АСУП) и т.д.

Под функцией автоматизированной системы понимается совокупность действий АС, направленная на достижение определенной цели