

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
До виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни
«Аналіз та синтез ливарних систем»

Для студентів денної та заочної форми навчання
За спеціальністю G9 Прикладна механіка
та G10 Металургія

Видання друге, перероблене й доповнене

Затверджено редакційно
видавничою радою університету
Протокол № 1 від 13.02.2025 р.

Харків
НТУ «ХПІ»
2025

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни «Аналіз та синтез ливарних систем», видання 2-ге, перероб. й доп. для студентів денної та заочної форми навчання за спеціальністю G9 Прикладна механіка та G10 Металургія / Уклад.: Пономаренко О.І., Масалітіна О.В. – Харків: НТУ «ХПІ», 2025. – 63 с.

Укладач: Пономаренко О. І., Масалітіна О. В.

Рецензент: Акімов О. В.

Кафедра ливарного виробництва

ВСТУП

Методичні вказівки призначені для студентів спеціальностей G9 Прикладна механіка та G10 Металургія, другого (магістерського) рівня вищої освіти.

Лабораторні роботи являють собою невеликі дослідження, що дозволяють студентам більш детально ознайомитися з аналізом робочих процесів, які використовуються у ливарному виробництві.

У кожній лабораторній роботі наводиться перелік матеріалів, короткий огляд теоретичних аспектів та методів дослідження, а також послідовність виконання. Це сприяє тому, щоб студенти могли виконати практичну частину роботи правильно і з розумінням, а також зробити висновки на основі отриманих результатів.

Мета методичних вказівок – дати студентам знання по сучасним тенденціям і перспективам розвитку машинобудівних виробництв та генеративних технологій, про фізичні і технологічні особливості робочих процесів сучасних виробництв, основ системного аналізу складних технічних систем.

Окрім визначеної основної мети, методичні вказівки націлені на стимулювання інтересу до наукової діяльності та знайомство з різноманітними методиками дослідження ливарних систем та процесів. Це сприяє розвитку студентів і буде корисним у майбутньому при виконанні ними дипломної роботи.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВІД ВПРОВАДЖЕННЯ ЗАХОДІВ, СПРЯМОВАНИХ НА СКОРОЧЕННЯ ПРОСТОЇВ АВТОМАТИЧНИХ ЛИВАРНИХ ЛІНІЙ

Мета роботи:

1. Ознайомлення студентів з роботою автоматичних ливарних ліній (АЛЛ) в процесі експлуатації та вплив простов ліній на їх продуктивність.
2. Поелементний розрахунок величини економічної ефективності від запровадження заходів, вкладених у скорочення простоїв АЛЛ ливарних цехів.

1. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ

У загальному випадку продуктивність автоматичної лінії визначається за формулою

$$P = K_{\text{вик}} \cdot P_{\text{ц}} \quad (1)$$

Де $P_{\text{ц}}$ - циклова продуктивність лінії, форм/год.;

$K_{\text{вик}}$ – коефіцієнт використання лінії.

Збільшення обсягу випуску виливків досягається шляхом збільшення продуктивності лінії за рахунок підвищення величини коефіцієнта її використання.

На практиці $K_{\text{вик}}$ лінії обчислюють за сумарним напрацюванням лінії за деякий період її спостереження, яка може бути виражена в обсягах виготовленої придатної продукції або ж в одиницях часу.

У першому випадку $K_{\text{вик}}$ виражається ставленням числа виготовлених придатних форм до загального числа форм, яке могло б бути виготовлено за умови, що протягом усього періоду спостереження за експлуатацією лінії вона працює безвідмовно. При цьому

$$K_{\text{ВИК}} = \frac{Q_r}{Q_r + Q_{\text{тех}} + Q_{\text{орг}}}, \quad (2)$$

де Q_r – кількість годних форм, що виготовлено за проміжок часу, за який виконується нагляд за роботою лінії;

$Q_{\text{тех}}$ - кількість форм, які не виготовлені з технічних причин (сюди включені форми, які не виготовлено з причини ремонту обладнання);

$Q_{\text{орг}}$ - кількість форм, які не виготовлені з організаційних причин за той же період нагляду.

У другому випадку $K_{\text{ВИК}}$ виражається ставленням сумарного часу безвідмовної роботи лінії $t_{\text{сум}}$ до часу спостереження $t_{\text{набл}}$, тобто, до суми часу роботи та простою:

$$\frac{t_{\text{сум}}}{t_{\text{набл}}} = \frac{t_{\text{сум}}}{t_{\text{сум}} + t_{\text{пр}}}, \quad (3)$$

$$t_{\text{пр}} = t_{\text{тех}} + t_{\text{орг}},$$

$t_{\text{тех}}$ - простої з технічних причин, (лінія не працездатна через, наприклад, поломок, відмов в роботі, розрегулюванні; або лінія працездатна, але готової продукції немає, тобто результат роботи не відповідає вимогам якості; час, який витрачено на виготовлення браку з організаційних причин технологічних причин також треба відносити до простоїв);

$t_{\text{орг}}$ – простої з організаційних причин (лінія працездатна, але відсутні зовнішні умови для її нормальної експлуатації, наприклад немає суміші, стрижнів, допоміжних матеріалів, перебої з електропостачанням або стислим повітрям; простої з вини суміжного обладнання, заміни модельного оснащення під час переналадження лінії на іншій заказ; із-за несвоєчасного приходу або уходу обслуговуючого персоналу, із-за прибирання тощо).

У спеціальній технічній літературі прийнято економічну ефективність заходів розраховувати за вартістю одиниці часу простою автоматизованого комплексу устаткування, що є необґрунтованим. Тому пропонується зробити поелементний розрахунок величини економічної ефективності від запровадження заходів, скорочення простоїв АЛЛ ливарних цехів.

2. МЕТОДИКА РІШЕННЯ ЗАВДАННЯ

У цій методиці пропонується вести розрахунок економічної ефективності за рахунок економії:

- умовно-постійних витрат за тонну придатного лиття;
- заробітної плати, що виплачується робітникам-відрядникам за час простою обладнання;
- електроенергії, що йде на додаткове нагрівання металу при простої АЛЛ;
- шляхом зниження витрат від браку виливків, спричиненого погіршенням властивостей формувальної суміші при простоях;
- шляхом скорочення витрати формувальної суміші, що йде виготовлення бракованих форм;
- електроенергії, що йде на приготування формувальної суміші, що втратила необхідні властивості через простої технологічного обладнання.

Застосування ПК як скорочує час громіздких розрахунків і підвищує їх точність, а й дає можливість визначити вплив окремих чинників на складові під час розрахунку економічної ефективності.

1. Економія умовно-постійних витрат з допомогою збільшення випуску товарної продукції, грн.,

$$\Delta C_{ум.п.} \left[\frac{\Delta C_{ум.п.}}{A_{\phi}} - \frac{\Delta C_{ум.п.}}{A_{пл}} \right] \cdot A_{пл} \quad (4)$$

де

$C_{ум.п.}$ – умовно-постійна частина витрат на річний обсяг товарної продукції за існуючим умовам виробництва, грн.;

A_{ϕ} - об'єм випуску виливків при базовому (фактичному) коефіцієнті використання обладнання, т.;

$A_{пл}$ - об'єм випуску виливків при планованому коефіцієнті використання обладнання, т.

$$A_{пл} = \sum_{i=1}^n K_{вик.пл.i} \cdot \Pi_{ц.i} \cdot T \sum_{j=1}^m q_{ji} \cdot p_{ji} \cdot t_{ji} , \quad (5)$$

де

T - час розглянутого періоду, г;

n - кількість автоматичних ліній, шт.;

$K_{вик.пл.i}$ - планований коефіцієнт використання лінії;

$\Pi_{цi}$ - циклова продуктивність i -ї лінії, форм/г.;

m – кількість найменувань (типів) виливків на i -ї лінії;

q_{ji} - маса виливка j -го найменування на i -ї лінії;

p_{ji} - кількість виливків j -го найменування на i -ї лінії;

T_{ji} - доля часу, протягом якого випускається j найменувань виливків, г.

Обсяг випуску виливків за базовими (фактичними) умовами, т.

$$A_{\phi} = \sum_{i=1}^n K_{вик.ф.i} \cdot \Pi_{ц.i} \cdot T \sum_{j=1}^m q_{ji} \cdot p_{ji} \cdot t_{ji} , \quad (6)$$

де

$K_{вик.ф.i}$ - фактичний коефіцієнт використання i -ї лінії.

Умовно-постійна частина витрат на річний об'єм товарної продукції за існуючими умовами виробництва, грн.,

$$C_{ум.п} = U \cdot C_T \cdot A_{\phi} \cdot Ц, \quad (7)$$

де

U – питома вага умовно-постійних витрат в загальних витратах на товарний випуск виливків;

C_T - норматив витрат на одну гривню товарного випуску;

$Ц$ – оптова ціна продукції, тобто ціна однієї тони годного товарного литва, грн..

Ця формула використовується визначення загальної суми витрат, які будуть стабільні в розрахунковому періоді.

2. Економія заробітної плати, що виплачується робітникам-відрядникам за час простою обладнання, грн.,

$$E_{з.п} = \sum_{i=1}^n E_{з.п}^{(i)} = 0,5 \cdot S \cdot t_i \cdot b_i , \quad (8)$$

де

$E_{з.л}$ - економія заробітної плати, що виплачується робітникам-відрядникам за простій i -ї лінії, грн.;

n – кількість автоматичних ліній, шт.;

0,5 – нормативний коефіцієнт;

S – середня заробітна плата робочого, який обслуговує автоматичну ливарну лінію, грн.;

t – час простою i -ї лінії, г.;

b_i - кількість основних виробничих робітників обслуговуючих i -ю лінію, чол.

3. Економія електроенергії, що йде на додаткове нагрівання металу при простой АЛЛ, грн.,

$$E_z = \sum_{i=1}^n E_z^{(i)} = C_1 \cdot \sum P_{ци} \cdot t_i \cdot d_i, \quad (9)$$

де

n – кількість автоматичних ліній, шт.;

C_1 - вартість 1 кВт·г, грн;

t_i - час простою i -ї лінії, г.;

d_i - середня металоємність форми на i -й лінії, г;

$P_{ци}$ – циклова продуктивність i -ї лінії, форм/г.

4. Економія за рахунок зниження втрат від браку виливків, спричиненого погіршенням властивостей формувальної суміші при простоях, грн.,

$$E_{бр} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m N_{ji} \cdot P_{ji} \cdot q_{ji} \cdot (C_{ji} - C_{пов}), \quad (10)$$

де

N_{ji} - кількість форм і напівформ, що втратили необхідні властивості за час простою i -ї лінії для j -найменування виливків, шт.;

q_{ji} - маса виливки j -найменування на i -ї лінії, т.;

P_{ji} - кількість виливків j -найменування у формі на i -й лінії, шт.;

C_{ji} – собівартість j -найменування виливків i -й лінії, грн.;

$C_{пов}$ - вартість повернення, грн.

Кількість форм та напівформ, що втратили необхідні властивості, на лінії визначається тривалістю простою. Результати обробки виробничих даних показують: при витримці відкритої напівформи більше деякого значення $t_{кр.1}$ властивості формувальної суміші погіршуються настільки, що при виготовленні виливків завжди виходить брак. При витримці на повітрі зібраної форми без заливки протягом більшого часу, ніж деяка фактична величина $t_{кр.2}$ вона також незворотно втрачає властивості і при її заливці виливка завжди виходить бракованою. Величини $t_{кр.1}$ та $t_{кр.2}$ визначаються дослідним шляхом.

Тому кількість форм, що гарантовано дають браковане лиття, складається з двох доданків:

- 1) брак відкритих напівформ, що настає при часі $t_{кр.1}$;
- 2) брак закритих форм, що настає при часі $t_{кр.2}$

$$N_{ji} = \frac{N_{ji}^{(1)}}{2} + N_{ji}^{(2)}, \quad (11)$$

де

$N_{ji}^{(1)}$ - кількість напівформ для виготовлення виливків j -найменування на i -ій лінії з часом простою, що задовольняє умові $t_{кр} \geq t_{кр.1}$;

$N_{ji}^{(2)}$ - кількість форм для виготовлення виливків j -найменування на i -ій лінії з часом простою, що задовольняє умові $t_{кр} \geq t_{кр.2}$.

Економія за рахунок скорочення витрати формувальної суміші, йдуть на виготовлення бракованих форм, грн.,

$$E_{\phi,c} = \sum_{i=1}^n N_{\phi i} \sum_{k=1}^s C_{ki} \cdot Y_{ki} \cdot V_i, \quad (12)$$

де

$N_{\phi i}$ - кількість бракованих форм і напівформ на i -ій лінії, шт.;

V_i - об'єм форми на i -ій лінії, м³;

s – кількість компонентів формувальної суміші, шт.;

Y_{ki} - питома вага k -компоненту в формувальній суміші;

C_{ki} - вартість k -виду домішок, грн.

Економія електроенергії, що йде на приготування формувальної суміші, що втратила необхідні властивості через простої технологічного обладнання, грн.,

$$E_{з.ф.с} = C_1 N_{см} \sum_{i=1}^n [N_{\phi i} \cdot V_{\phi i} \cdot \rho_i], \quad (13)$$

Де

C_1 - вартість 1 кВт·г, грн.;

N - кількість бракованих форм і напівформ на i -ій лінії, шт.;

$V_{\phi i}$ - об'єм форми на i -ій лінії, м³;

ρ_i - щільність формувальної суміші в формі,

$N_{см}$ – продуктивність змішувачів, м³

Економічний ефект від скорочення простоїв ливарних ліній за розрахунковий період, грн.,

$$E = C_{ум.п} + E_{зп} + E_{э} + E_{бр} + E_{ф.с} + E_{з.ф.с} \quad (14)$$

а річний економічний ефект, грн.,

$$E_r = E - E_H \cdot K_t, \quad (15)$$

де

E - економічний ефект від скорочення простоїв за розрахунковий період, грн.;

E_H - нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень, $E_H = 0,15$;

K_t - сумарні капітальні вкладення наведені до розрахункового року, грн.

3. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Введіть вихідні дані, залежно від варіанта завдання.

Визначити:

- плановий обсяг випуску виливків для кожної АЛЛ;
- плановий обсяг випуску виливків по цеху загалом;
- фактичний обсяг випуску виливків для кожної АЛЛ;
- фактичний обсяг випуску виливків по цеху загалом;
- умовно-постійну частину витрат за товарний випускати продукцію за базовим умовам;
- економію умовно-постійних витрат за рахунок збільшення випуску товарної продукції;
- економію заробітної плати, що виплачується робітникам-відрядникам за час простою обладнання;
- економію електроенергії, що йде на додатковий нагрівання металу при простій АЛЛ;
- економію за рахунок зниження втрат від браку виливків, спричиненого погіршенням властивостей формувальної суміші при простій обладнання, для кожної з АЛЛ;
- економію за рахунок зниження втрат від браку виливків, спричиненого погіршенням властивостей формувальної суміші при простоях обладнання по цеху в цілому;
- економію за рахунок скорочення витрат формувальної суміші, що йде на виготовлення бракованих форм, для кожної автоматичної ливарної лінії;
- економію з допомогою скорочення витрати формувальної суміші, що йде виготовлення бракованих форм, по цеху загалом;
- сумарний економічний ефект від скорочення простоїв АЛЛ за розрахунковий період;
- річний економічний ефект.

Розрахувати економічну ефективність від запровадження заходів, вкладених у скорочення простоїв АЛЛ, які дозволяють збільшити коефіцієнт використання ліній і цим випуск готової продукції ливарного цеху - виливків.

Число автоматичних ліній, встановлених у цеху;

питома вага умовно-постійних витрат у загальних витратах на товарний випуск виливків – 0,26;

норматив витрат за одну грн товарного випуску - 0,68;
 оптова ціна продукції – 386,0 грн.;
 середня заробітна плата робітника, який обслуговує автоматичну лінію,
 за годину – 20,65 грн. ;
 період спостереження - 2000 год.;
 вартість 1 кВт /год електроенергії 6,15 грн. ;
 питома витрата електроенергії на підтримку металу в заданому інтервалі
 температур – 485 кВт/ год;
 вартість повернення лиття – 120 грн. ;
 кількість компонентів формувальної суміші – 5;
 обсяг форми у зборі – 0,48 м³.

Варіант №1

Число АЛЛ = 2

Таблиця 1

Номер лінії	Продуктивність лінії, форм/год	Коефіцієнт використання лінії		Кількість найменувань виливок на лінії	Час простоя лінії, год	Кількість робітників на лінії	Середня металоємність форми
		Фактичний	Плановий				
1	120	0,3	0,45	6	30,5	5	0,06
2	180	0,4	0,6	8	56,0	6	0,04

Таблиця 2

Номер лінії	Найменування виливки	Маса виливки, т	Кількість виливок у формі, шт	Частка часу, протягом якого випускається даний тип виливків
1	1	0,004	12	0,15
1	2	0,009	6	0,10
1	3	0,0335	3	0,15
1	4	0,041	2	0,1
1	5	0,061	1	0,15
1	6	0,056	6	0,35
2	1	0,0381	3	0,1
2	2	0,0231	3	0,1
2	3	0,0645	2	0,1
2	4	0,014	12	0,15

2	5	0,019	8	0,1
2	6	0,033	6	0,1
2	7	0,051	8	0,1
2	8	0,04	8	0,15

Таблиця 3

Номер лінії	Найменування виливки	Кількість бракованих напівформ, шт	Кількість бракованих форм, шт	Вартість виливки, грн
1	1	15	20	206,0
1	2	15	20	201,0
1	3	16	18	135,0
1	4	14	24	168,0
1	5	14	25	138,0
1	6	10	10	290,0
2	1	20	10	200,0
2	2	10	20	210,0
2	3	13	25	205,0
2	4	16	18	122,0
2	5	21	22	125,0
2	6	43	20	126,0
2	7	8	16	189,0
2	8	16	3	121,0

Варіант № 2

Число АЛЛ = 5

Таблиця 1

Таблиця 2

Номер лінії	Продуктивність лінії, форм/год	Коефіцієнт використання лінії		Кількість найменувань виливок на лінії	Час простоя лінії, год	Кількість робітників на лінії	Середня металоємність форми
		Фактичний	Плановий				
1	120	0,3	0,5	2	32,0	5	0,06
2	140	0,3	0,42	3	36,0	4	0,08
3	160	0,4	0,58	2	80,0	4	0,06
4	180	0,43	0,64	3	60,0	6	0,08
5	120	0,41	0,52	3	56,0	6	0,04

Номер лінії	Найменування виливки	Маса виливки, т	Кількість виливок у формі, шт	Частка часу, протягом якого випускається даний тип виливків
1	1	0,041	2	0,6
1	2	0,061	4	0,4
2	1	0,056	3	0,3
2	2	0,0645	4	0,3
2	3	0,051	4	0,4
3	1	0,046	6	0,5
3	2	0,061	2	0,5
4	1	0,033	8	0,1
4	2	0,051	3	0,45
4	3	0,068	1	0,45
5	1	0,009	3	0,35
5	2	0,008	6	0,35
5	3	0,004	12	0,3

Таблиця 3

Номер лінії	Найменування виливки	Кількість бракованих напівформ, шт	Кількість бракованих форм, шт	Вартість виливки, грн
1	1	15	13	201,0
1	2	20	26	202,0
2	1	30	21	191,0
2	2	10	13	190,0
2	3	15	14	186,0
3	1	15	40	121,0
3	2	20	30	122,0
4	1	30	28	121,0
4	2	25	27	140,0
4	3	16	18	136,0
5	1	18	20	121,0
5	2	22	22	200,0
5	3	32	20	215,0

Варіант №3
Число АЛЛ = 4

Таблиця №1

Номер лінії	Продуктивність лінії, форм/год	Коефіцієнт використання лінії		Кількість найменувань виливок на лінії	Час простоя лінії, год	Кількість робітників на лінії	Середня металоємність форми
		Фактичний	Плановий				
1	160	0,35	0,37	4	90.0	5	0,08
2	140	0,37	0,45	2	63.0	4	0,04
3	120	0,4	0,43	3	40.5	5	0,06
4	160	0,35	0,4	6	20.0	5	0,08

Таблиця №2

Номер лінії	Найменування виливки	Маса виливки, т	Кількість виливок у формі, шт	Частка часу, протягом якого випускається даний тип виливків
1	1	0,0645	1	0,25
1	2	0,004	6	0,35
1	3	0,009	6	0,35
1	4	0,006	10	0,3
2	1	0,0064	10	0,8
2	2	0,007	8	0,2
3	1	0,0335	4	0,2
3	2	0,056	2	0,4
3	3	0,0381	4	0,4
4	1	0,0231	6	0,15
4	2	0,061	2	0,15
4	3	0,045	3	0,1
4	4	0,045	4	0,15
4	5	0,03	4	0,25
4	6	0,04	4	0,2

Таблиця №3

Номер лінії	Найменування виливки	Кількість бракованих напівформ, шт	Кількість бракованих форм, шт	Вартість виливки, грн
1	1	15	20	200.0
1	2	13	18	210.0
1	3	18	14	300.0

1	4	15	20	311.0
2	1	25	30	195.0
2	2	4	10	166.0
3	1	10	15	301.0
3	2	8	18	335.0
3	3	6	16	291.0
4	1	24	30	400.0
4	2	12	14	243.0
4	3	14	18	220.0
4	4	18	25	185.0
4	5	10	20	168.0
4	6	5	15	241.0

Варіант №4

Число АЛЛ = 6

Таблиця №1

Номер лінії	Продуктивність лінії, форм/год	Коефіцієнт використання лінії		Кількість найменувань виливки на лінії	Час простоя лінії, год	Кількість робітників на лінії	Середня метало- ємність форми
		Фактичний	Плановий				
1	120	0,3	0,4	2	30	5	0,08
2	120	0,35	0,42	2	40	5	0,08
3	120	0,4	0,5	3	60	5	0,06
4	180	0,4	0,54	3	50	6	0,09
5	180	0,5	0,6	2	28	6	0,07
6	180	0,35	0,5	2	34	6	0,1

Таблиця №2

Номер лінії	Найменування виливки	Маса виливки, т	Кількість виливки у формі, шт	Частка часу, протягом якого випускається даний тип виливків
1	1	0,04	4	0,5
1	2	0,065	2	0,5
2	1	0,034	8	0,6
2	2	0,02	14	0,4
3	1	0,015	7	0,3
3	2	0,065	3	0,4
3	3	0,023	4	0,3

4	1	0,038	3	0,2
4	2	0,065	2	0,4
4	3	0,026	12	0,4
5	4	0,041	8	0,6
5	2	0,033	6	0,4
6	1	0,009	8	0,5
6	2	0,005	8	0,5

Таблиця №3

Номер лінії	Найменування виливки	Кількість бракованих напівформ, шт	Кількість бракованих форм, шт	Вартість виливки, грн
1	1	40	20	290
1	2	45	20	310
2	1	16	26	300
2	2	38	40	264
3	1	40	40	145
3	2	40	30	250
3	3	10	20	196
4	1	15	18	184
4	2	25	20	193
4	3	30	25	203
5	1	21	13	227
5	2	46	18	245
6	1	15	25	264
6	2	2	4	251

Зміст звіту лабораторної роботи

1. Тема і мета роботи.
2. Вихідні данні, розрахунки.
3. Висновки.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ АВТОМАТИЧНИХ ЛИВАРНИХ ЛІНІЙ НА ІМІТАЦІЙНИХ МОДЕЛЯХ

Мета роботи:

1. Дослідити роботу автоматичних ливарних ліній на імітаційних моделях.
2. Розробити імітаційну модель автоматичної ливарної лінії.

1. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ

Історично першим склався аналітичний метод дослідження систем, коли електронно-обчислювальні машини (ПК) використовувалися як обчислювач за аналітичними залежностями. Аналіз показників процесів функціонування високих технічних систем з допомогою лише аналітичних методів дослідження нашоюхується зазвичай на значні труднощі, які призводять до необхідності суттєвого спрощення моделей, або на етапі їх побудови, або в процесі роботи з ними, що може призвести до отримання недостовірних результатів.

У зв'язку з цим в даний час поряд з побудовою аналітичних моделей особлива увага приділяється завданням оцінки характеристик великих систем на основі імітаційних моделей, реалізованих на ПК з великою швидкодією та великим обсягом оперативної пам'яті.

Імітаційне моделювання є відносно новим методом дослідження складних систем, що швидко розвивається. Відповідно до Р.Шеннону імітаційне моделювання є процес конструювання моделі реальної системи та постановки на ній експериментів з метою або зрозуміти поведінку системи, або оцінити (в рамках обмежень, що накладаються деяким критерієм або

сукупністю критеріїв) різні стратегії, що забезпечують функціонування даної системи. Метод імітаційного моделювання полягає в тому, що за допомогою ПК відтворюється (імітується) поведінка досліджуваної системи, а дослідник, керуючи ходом імітації та оглядаючи отримані результати, робить висновки про властивості та якість систем. Машинна імітація дозволяє в багатьох випадках відтворювати детальну та правдоподібну картинку функціонування системи, ретельно контролювати умови, в яких вона працює, та провести дослідження у стислому масштабі часу. В імітаційному моделюванні мають бути описані правила поведінки об'єктивної системи.

Модель будується таким чином, що в ході її випробувань об'єкти починають функціонувати "самостійно", виконуючи запропоновані ним операції та взаємодії один з одним. Таким чином, в результаті можуть бути отримані статистичні висновки щодо поведінки системи, досягнуто кращого розуміння взаємодії її компонентів.

Експеримент полягає в прогонах моделі на ПК, а керування експериментом, що здійснюється дослідником, полягає у варіюванні вихідних даних та зміні самої моделі, що виробляються на підставі огляду та аналізу одержуваних результатів.

Системи, що досліджуються методом імітації, зазвичай відносяться до розряду складних, в яких необхідно заздалегідь передбачити наслідки тих чи інших рішень, які приймають люди в процесі управління ними. У таких системах внутрішні чинники та дії середовища носять, як правило, мінливий, випадковий характер.

Імітаційне моделювання є здебільшого трудомістким та тривалим процесом. Робота починається з вивчення структури системи та формування

проблеми. Значний час йде на детальне ознайомлення із системою (виявлення структури системи та правил, за якими діють її об'єкти).

Паралельно призначається мета майбутніх експериментів і відповідно до цього вказуються змінні, початковими значеннями яких є вихідні дані, одержувані ззовні від дослідника, та змінні, що мають наприкінці моделювання значення результатів, необхідних досліднику.

На наступному етапі відомості, зібрані про систему, повинні бути перекладені мовою математики.

Математичний апарат, який використовується при побудові моделі, може бути найрізноманітнішим. Для опису дій об'єктів можуть застосовуватися арифметичні та булевські вирази, лінійні та диференціальні рівняння, лінійне та динамічне програмування тощо. Імітаційне дослідження зазвичай має статистичний характер, у математичну основу імітації входять методи теорії ймовірності та математичної статистики. Випадкові фактори, що відображаються у моделі, реалізуються за допомогою вибірки значень випадкових функцій розподілу. Обробка та оцінка даних експерименту проводиться методами математичної статистики.

Винятково важливе значення у побудові моделі набуває процес опису системи, який повинен враховувати можливості обчислювальної машини та структуру моделі.

Одночасно з розробкою моделі йде збір вихідних даних та перетворення їх у потрібну для моделі форму. Дані черпаються з документації, безпосередніх спостережень, інколи ж штучно створюються всередині самої моделі.

Коли модель побудована та вихідні дані підготовлені, починаються випробування моделі на ЕОМ відповідно до заздалегідь складеного плану. Тут

остаточно виявляється, чи здатна ця модель служити цілі дослідження, тобто. чи містить вона у собі суттєві риси досліджуваної системи. Експеримент закінчується лише тоді, коли мета дослідження, сформульована на початку роботи, досягнуто. Імітація завершується ретельним аналізом, перевіркою отриманих результатів та видачею рекомендацій для практичного впровадження.

Результати випробувань моделі, що є аналогом реальної системи, дозволяють отримувати кількісні характеристики поведінки системи за заданих умов.

Таким чином, імітаційне моделювання є багатограним дослідженням, що вимагає від експериментатора спеціальних знань в галузі, до якої належить досліджувана проблема, достатньої ерудиції у сфері різноманітних математичних методів та досвіду використання обчислювальних машин.

Області застосування імітаційного моделювання дуже великі, оскільки є потужним інструментом аналізу та проектування складних систем. За допомогою імітаційного моделювання вирішуються питання народногосподарського планування, транспортні проблеми, завдання обслуговування. Імітаційне моделювання застосовується у військовій промисловості при оцінці різних видів озброєння та у сільському господарстві.

Запропоновано імітаційні моделі новопроєктованих ливарних заводів та цехів. На їх основі відтворюються всі стадії виробництва: завантаження плавильних агрегатів, їх ремонт, процес плавки та формування хімічного складу продукції, випуск та розлив металу, робота внутрішньозаводського транспорту.

Останнім часом імітаційне моделювання стало використовуватись для дослідження складних систем у ливарному виробництві.

Розроблено імітаційну модель на ПК автоматизованої конвеєрної ливарної системи. Складаються рекомендації щодо поліпшення властивостей виливків та аналізується ефективність струшувальних формувальних машин.

2. РОЗРОБКА ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ АВТОМАТИЧНОЇ ЛИВАРНОЇ ЛІНІЇ

Побудова імітаційної моделі будь-якої досить складної системи є багатоетапним процесом, підпорядкованим певним правилам, що задає послідовність дій розробника.

Для побудови імітаційної моделі автоматичної ливарної лінії (АЛЛ) необхідно виконати такі етапи створення та використання імітаційних моделей.

1. Визначення системи - встановлення меж, обмежень та вимірювачів ефективності системи, що підлягають вивченню.

2. Формулювання моделі – перехід від реальної системи до деякої логічної схеми (абстрагування).

3. Підготовка даних - відбір даних, необхідних для побудови моделі, та подання їх у відповідній формі.

4. Трансляція моделі - опис моделі мовою, що використовується для ПК.

5. Оцінка адекватності - підвищення до прийнятного рівня впевненості, з якою можна судити щодо коректності висновків про реальну систему, отриманих на підставі звернення до моделі.

6. Стратегічне планування - планування експерименту, який має надати необхідну інформацію.

7. Тактичне планування - визначення способу поведінки кожної серії випробувань, передбаченої планом експерименту.

8. Експериментування - процес здійснення імітації з метою отримання бажаних даних та аналізатора чутливості.

9. Інтерпретація - побудова висновків за даними, які одержують шляхом імітації.

10. Реалізація - практичне використання моделі чи результатів моделювання.

II. Документування.

Як об'єкт вивчення вибираємо АЛЛ формування. Для створення імітаційної моделі АЛЛ необхідно насамперед сформулювати найзагальніші цілі моделювання. Узагальненою характеристикою АЛЛ є її продуктивність, що вимірюється випуском форм за одиницю часу (форм/год). Тому як основні показники ефективності АЛЛ, що оцінюються за допомогою імітаційних моделей, можна прийняти такі характеристики:

- продуктивність АЛЛ, що функціонує в умовах дії випадкових факторів;
- кількість простоїв ліній та їх тривалість.

При цьому за допомогою моделі можна виявити "вузькі" місця в технологічному ланцюжку АЛЛ, оцінити вплив випадкових факторів на процес виходу з ладу обладнання і т.д.

АЛЛ є складною системою технологічного та допоміжного обладнання, а також пристроїв управління, організованою таким чином, що в результаті її роботи виконується конкретне завдання - отримання придатного виливка. Кожен елемент системи здійснює певну функцію, але і він пов'язаний з іншими елементами. Складність та різноманітність можливих варіантів системи,

наявність великої кількості елементів та транспортних засобів ускладнюють процес дослідження АЛЛ.

При дослідженні структури складних систем основним математичним апаратом є теорія графів, яка наочно дозволяє відобразити структурну схему системи, що вивчається, за допомогою якої можна уявити підсистеми та їх взаємозв'язок у простому та наочному вигляді.

Приділяючи належну увагу кількісному вивченню ролі зв'язків між елементами та підсистемами всієї структури системи загалом, отримуємо можливість досліджувати таку складну систему, якою є АЛЛ. Для дослідження роботи АЛЛ можна використовувати замкнутий орієнтований граф, в якому зазначено напрямки опок, напівформ та форм. Елементи АЛЛ представляємо на рівні агрегатів (машин та механізмів), які виконують закінчені технологічні операції, наприклад, формувальний автомат, кантувач і ін..

Для дослідження ефективності роботи автоматичних ліній необхідно також правильно вибрати та обґрунтувати керовані параметри імітаційних моделей.

Особливістю АЛЛ є наявність однієї операції максимальної тривалості та інших операцій, мають значні резерви продуктивності. Для формувальної лінії операція найбільшої тривалості, як правило, виконується на формувальному автоматі, від продуктивності якого залежить в основному продуктивність лінії. Механізми лінії, розташовані в технологічному ланцюжку до формувального автомата (наприклад, розпарювач, механізм подачі порожніх опок та ін), а також після нього (кантувач, збирач, зіштовхувач заформованих опок), працюють швидше і протягом кожного циклу формувального автомата частину часу простоюють.

Технічна продуктивність автоматичної лінії, форм/год,

$$P_{\text{тех}} = K_{\text{т.в}} \cdot P_{\text{ц}} \quad (1)$$

залежить від параметрів двох видів.

По-перше, від параметрів, значення яких у процесі роботи лінії майже стабільні та залежать лише від її конструкції. У формулі (1):

$K_{\text{тв}}$, - коефіцієнт технічного використання лінії;

$P_{\text{ц}}$ - циклова продуктивність лінії, форм/год.

До таких параметрів відноситься також час робочого циклу лінії T а значить і її циклова продуктивність $P_{\text{ц}}$.

По-друге, від параметрів, значення яких у процесі роботи лінії можуть залежно від різних випадкових причин змінюватись.

До них відносяться, наприклад, тривалість безперебійної роботи окремих механізмів лінії та тривалість простоїв щодо усунення причин, що викликали відмови цих механізмів. Зазначені параметри, як і коефіцієнт технічного використання $K_{\text{тв}}$, який від них залежить, належать до теорії надійності до категорії випадкових величин. Тому значення цих параметрів, необхідні для розрахунку технічної продуктивності лінії, визначають ймовірнісними методами на основі великої кількості практичних спостережень за роботою лінії в умовах її експлуатації.

Для оцінки конструктивної досконалості лінії доцільно користуватися коефіцієнтом технічного використання лінії $K_{\text{тв}}$, який визначається як відношення сумарного часу безвідмовної роботи лінії $t_{\text{сум}}$ до часу роботи $t_{\text{сум}}$ і часу простоїв, обумовлених технічними причинами, $t_{\text{тех}}$.

$$K_{\text{тв}} = \frac{t_{\text{сум}}}{t_{\text{сум}} + t_{\text{тех}}} \quad (2)$$

або

$$K_{\text{тв}} = \frac{I}{I + P_{\text{пр}}} \quad (3)$$

де $P_{пр}$ - відносні втрати продуктивності з технічних причин, тобто. відповідні абсолютні втрати, що припадають на одиницю продукції або віднесені до часу безвідмовної роботи лінії за період спостереження (наприклад, за 1 годину його роботи).

Час власних простоїв окремих механізмів АЛЛ (час відновлення T_v) визначають виходячи з статистичних спостережень. У наведеній нижче таблиці вміщено значення відносного простою різних механізмів лінії $P_{пр}$ експериментальні значення коефіцієнта технічного використання лінії, а також середні значення часу відновлення T_v , що припадають на 1 год роботи.

Механізм	$K_{ТВ}$	$P_{пр}$	$t_{вос, мин, при \tau_{роб} = 1 \text{ год}}$
Формувальні автомати:	0,880-0,920	0,09-0,14	5,4-8,4
багатопозиційні	0,900-0,940	0,07-0,11	4,2-6,6
однопозиційні			
Механізми вибивання:			
вибивні грати	0,900-0,980	0,02-0,11	1,2-6,6
прошивачі	0,890-0,950	0,05-0,12	3,0-7,2
Механізм збирання			
форм:	0,940-0,970	0,03-0,07	1,84,2
на ливарному конвеєрі	0,950-0,980	0,02-0,05	1,2-3,0
стаціонарні			
Кантувачі	0,940-0,980	0,02-0,07	1,2-4,2
Розпарювачі	0,900-0,980	0,02-0,11	1,2-6,6
Вантажоукладачі	0,900-0,960	0,04-0,11	2,4-6,6
Ливарні конвеєри	0,920-0,990	0,01-0,09	0,6-5,4
Крокуючі конвеєри	0,900-0,980	0,02-0,11	1,2-6,6
Привідні рольганги	0,998-0,998	0,001-0,002	0,0-0,1

Зіткувачі	0,991-0,994	0,006-0,009	0,4-0,5
Пневмоциліндри	0,994-0,998	0,002-0,006	0,1-0,4
Гідроциліндри	0,992-0,995	0,005-0,008	0,3-0,5
Електроприводи	0,998-0,999	0,001-0,002	0,0-0,1

Таким чином, як керовані параметри автоматичних ливарних ліній вибираємо:

- час робочого циклу лінії;
- коефіцієнт технічного використання лінії чи значення відносного простою різних її механізмів;
- кількість елементів АЛЛ;
- час відновлення працездатності її елементів.

Змінюючи інтенсивність вхідного потоку, цикл роботи лінії, склад обладнання (вводячи додаткові елементи) та його робочі характеристики і простежуючи під час моделювання відповідні зміни у виробничому процесі, можна отримати уявлення про функціональні можливості всієї системи та окремих її елементів.

З існуючих в даний час математичних засобів для опису складних технічних систем найбільшою мірою всім основним параметрам якості математичних моделей задовольняють ймовірнісні автомати (ЙА), що представляють собою, в загальному вигляді, математичні об'єкти, що володіють внутрішнім станом, що формуються з урахуванням ймовірнісних факторів, здатні сприймати вхідний сигнал та видавати вихідний.

Функціонування автомата зводиться до того що, що у вхід у дискретні моменти часу надходять сигнали, складові вхідний алфавіт; при цьому автомат залежно від значень вхідного сигналу, що надійшов, і свого внутрішнього стану виробляє вихідний алфавіт за правилами, що визначаються функцією

виходу. Функція переходу є правило переходу автомата з одного стану до іншого в процесі його функціонування.

Для технічних пристроїв, об'єднаних у систему ливарного технологічного обладнання, як функцію внутрішнього стану доцільно прийняти ймовірність безвідмовної роботи системи $P(\tau)$ на даний момент часу. Внутрішній алфавіт складається із символів "1" та "0", що означають, що автомат знаходиться відповідно в нормальному або непрацездатному стані. Визначення стану елемента в момент часу, що вивчається, проводиться на основі імітаційного моделювання згідно правила:

$$Z(\tau) \begin{cases} 1, \text{ з ймовірністю } P(\tau) \\ 0, \text{ з ймовірністю } 1 - P(\tau) \end{cases}$$

При моделюванні технічної системи мережею автоматів відбувається їх об'єднання, що полягає у ототожненні вхідних алфавітів одних із вихідними алфавітами інших.

У початковий момент часу ($\tau_0=0$) кожен з N -агрегатів АЛЛ характеризується одним із своїх станів $Z_i(\tau)$, де i - номер елемента АЛЛ.

Опитування внутрішнього стану елемента (працює чи простоє) проводиться з допомогою датчика випадкових чисел методом потрапляння випадкової величини X інтервал відмови.

Формування інтервалу відмови елемента проводиться в такий спосіб.

За назвою елемента (механізму АЛЛ) з наведеної таблиці вибираємо значення величини відносного простою елемента, яку чисельно прирівнюємо до величини ймовірності відмови елемента. Наприклад, ймовірність відмови ливарного конвеєра АЛЛ дорівнює 0,05. Ця величина визначається як середньоарифметичне значення між нижнім 0,01 та верхнім 0,09 значеннями

відносно простою. Вважаємо, що всі можливі значення випадкових величин лежать у деякому певному інтервалі від 0 до 1, що дорівнює сумі ймовірності безвідмовної роботи та ймовірності відмови, і що в межах цього інтервалу всі значення випадкової величини мають однакову щільність ймовірності (вони всі однаково ймовірні в межах інтервалу), тобто. такий розподіл називається законом рівномірної густини.

Отже, якщо дана випадкова величина X , підпорядкована закону рівномірної густини на ділянці від α до β , то густина ймовірності її $f(x) = C$; поза цим відрізком вона дорівнює нулю:

$$\begin{aligned} f(x) &= C \text{ при } \alpha < x < \beta, \\ f(x) &= 0 \text{ при } x < \alpha \text{ або } x > \beta \end{aligned}$$

Площа, обмежена кривою розподілу, дорівнює одиниці.

Інтервал відмови для ливарного конвеєра АЛЛ, ймовірність відмови 0,05, може бути розташований у будь-якому місці на числовій осі від 0 до 1. Наприклад, для ливарного конвеєра інтервал від 0 до 0,05 є інтервалом відмов, а від 0,05 до 1,00 інтервалом безвідмовної роботи елемента.

Таким чином, формуються інтервали відмов для всіх елементів АЛЛ.

Внутрішній стан лінії загалом залежить від внутрішнього стану її елементів, оскільки відмова будь-якого їх призводить до відмови лінії загалом.

На наступному етапі необхідно розробити алгоритм і скласти програму, що описує роботу моделі мовою, що використовується для ПК.

Алгоритм такого типу завдань, як правило, не вимагає залучення спеціалізованих мов імітаційного моделювання та може бути реалізований будь-якою універсальною мовою високого рівня. Тому для розробки програми, що реалізує розробку імітаційної моделі АЛЛ, можна

використовувати алгоритмічну мову Турбо-Паскаль, що володіє широкими логічними можливостями та взаємодією з операційною системою.

Після завершення етапу реалізації імітаційної моделі (ІМ) у вигляді програми для ПК необхідно виконати випробування ІМ, дослідити її властивості в області допустимих значень вхідних змінних, провести чисельні експерименти на ПК та підготувати модель до експлуатації з метою використання її при прийнятті обґрунтованих рішень у виробничій практиці .

Випробування ІМ полягає в основному в перевірці адекватності розробленої моделі реальної системи, що моделюється. ІМ має у всіх допустимих ситуаціях правильно відображати поведінку реальної системи.

Перевірка адекватності моделі може проводитись шляхом зіставлення розрахункових даних із реальними показниками роботи лінії.

ПРИКЛАД СТВОРЕННЯ ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ АВТОМАТИЧНОЇ ЛИВАРНОЇ ЛІНІЇ

Як базовий об'єкт моделювання вибираємо АЛЛ формування моделі 696 ХТЗ , призначену для виготовлення чавунних та сталевих виливків широкої номенклатури в умовах масового та великосерійного виробництва в опоках розміром 900 x 600 x 250 мм. Схема АЛЛ представлена на рис 1.

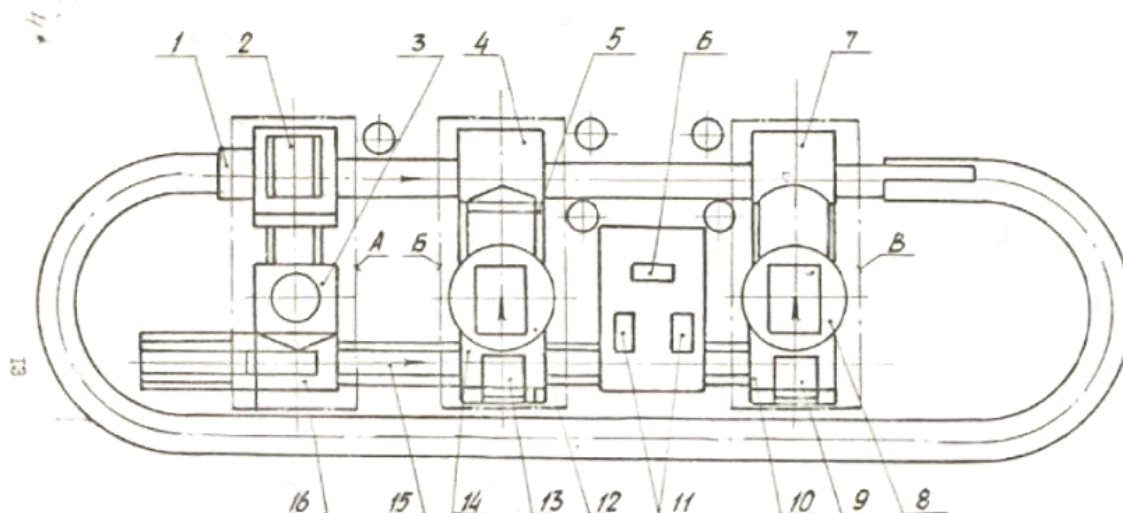


Рис.1. Схема автоматичної формувальної лінії моделі 696: А - позиція вибивки; Б - виготовлення напівформ низу; В - встановлення напівформ верху; 1 - конвеєр; 2 - механізм зіштовхування форм; 3 - механізм видавлювання кома; 4 - установник напівформ низу на 1; 5 - кантувач форм низу; 6 - пневмокомандоапарат управління АФЛ; 7 - збиральник форм; 8 - формувальний автомат (ФА); 10 - механізм знімання верхніх опок; 11 - пневмокомандоапарати управління ФА 8 и 12; 12 - ФА виготовлення напівформ низу ; 13 - механізм подачі нижніх опок у ФА; 14 - розпарювач опок; 15 - роликовий конвеєр; 16 - механізм підйому нерозпарованих опок;  робочі місця.

Характеристика АЛЛ моделі 696 (ХТЗ):

- циклова продуктивність - 200 форм/год;
- допустимий час заливання – 12 с;
- виготовлення виливків - у сирих піщаних формах (суміш єдина, звичайна);

- піскострільне заповнення - під низьким тиском (0,5...0,6 МПа) з наступним нижнім допресуванням (≤ 2 МПа);

- єдиний габарит опок - 900 x 600 x 250 мм; верхні опоки з постійними штирями, без хрестовин, нижні - з постійними втулками, реверсивні, без хрестовин;

- структура лінії із жорсткою зав'язкою;

- формувальні автомати (ФА) дозволяють швидку зміну моделей;

- роздільне формування нижніх і верхніх напівформ;

- форми без штучної вентиляції, але за необхідності можливе застосування штучної вентиляції;

- навантаження форм перед заливкою без чековки та без натягу вантажів притискними роликами;

- заливання форм на майданчику візкового конвеєра за допомогою рейкового підйомника;

- вибивання-виштовхування кома з наступним поділом виливків від суміші на інерційних ґратах;

- час охолодження залитих форм – 16...18 хв;

- металомісткість форми 4120 кг;

всі технологічні та транспортні операції на АЛЛ виконуються автоматично (крім проставлення стрижнів та заливання).

Основний транспортний засіб - горизонтальний підлоговий-замкнутий візковий ливарний конвеєр 1 з пульсуючим рухом.

Робота АЛЛ моделі 696 починається з переміщення охолодженої залитої форми з майданчика конвеєра 1 механізмом зіштовхування форм 2 на проміжну позицію блоку вибивання 4, а попередня форма передається на позицію виштовхування кома 3, де формувальна суміш з виливками

видавлюється на інерційну решітку, на якій виливки відокремлюються від формувальної суміші. Після виштовхування кома порожні опоки, звільнені від формувальної суміші та виливків, при переміщенні на крок потрапляють на стіл механізму підйому нерозпарованих опок 16, з якого вони перештовхуються на роликову трасу конвеєра 15 порожніх опок. Потім спарені опоки переміщуються на позицію розпаровщика 14 опок блоку *B* виготовлення нижніх напівформ, де вони поділяються, верхня опіка переміщається на позицію механізму 10 знімання верхніх опок блоку *B* виготовлення верхніх напівформ.

Нижня опока столом розпарювача опускається на приймальні планки 13 механізму подачі нижніх опок, а верхня опока - столом механізму знімання опок на приймальні планки механізму 9 подачі верхніх опок. Нижні опоки механізмом 13 переміщуються на крок піскострільно-пресовий формувального автомату (ФА) 12, де виготовляються нижні напівформи. У кантувачі 5 напівформа повертається на 180° і надходить на захоплення установника 4 нижніх напівформ на майданчик конвеєра 1. Верхні опоки механізмом 9 переміщуються на крок у ФА 8, де виготовляються верхні напівформи, далі на проміжну позицію і на захоплення конвеєра I між установником 4 і збирачем форм 7 вручну в нижній напівформі проставляються стрижні, і зібрана форма встановлюється збирачем форм 7 на майданчик конвеєра. При подальшому переміщенні конвеєра зібрані форми 1 потрапляють на ділянку заливки, де вручну заливаються металом, а потім охолоджуються при переміщенні на позицію блоку вибивання, після чого цикл роботи повторюється.

Управління роботою механізмів АЛЛ і ФА здійснюється кроковими пневмокомандоапаратами відповідно 6 і 11 та електропневматичною системою управління.

Для дослідження роботи АЛЛ моделі 696 ХТЗ використовуємо замкнутий орієнтований граф, в якому вкажемо напрямки опок, напівформ та форм.

Структурна схема цієї лінії представлена на рис.2.

Під час створення імітаційної моделі АЛЛ накладаємо наступний ряд обмежень.

1. Вважаємо, що елементи АЛЛ з погляду надійності з'єднані послідовно.
2. Елементи АЛЛ пов'язані жорстким зв'язком, тобто відмова одного елемента веде до зупинки всієї лінії.
3. Система функціонує у дискретному часі. Розмір інтервалу дорівнює часу циклу лінії, якщо її елементи працюють безвідмовно.
4. З ладу в дискретний час виходить лише один елемент.
5. Кількість елементів імітаційної моделі дорівнює кількості агрегатів АЛЛ.
6. Вважаємо, що простої АЛЛ відбуваються лише з технічних причин .

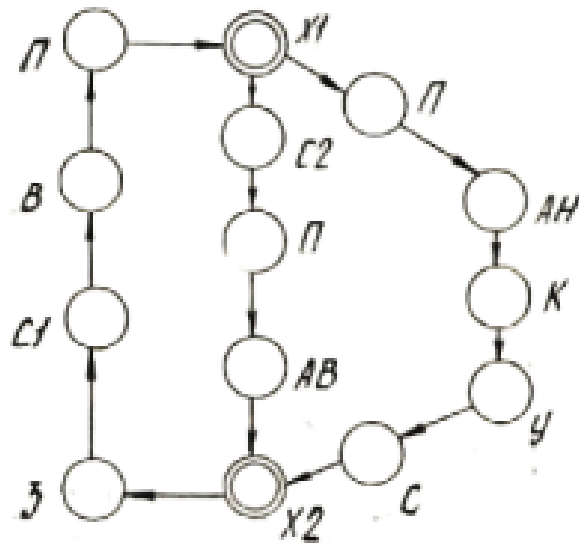


Рис.2. Структурна схема АЛЛ: Х1 – розпарювач; Х2 - збиральник форм; П - механізми перестановки та подачі опок; У - установник нижніх опок; С1 - зіштовхувач форм; С2 - знімач верхніх опок; АВ, АН - однопозиційні ФА для верхніх та нижніх напівформ; В – установка для вибивання форм; З, С - ділянки заливки та простановки стрижнів.

Внутрішній стан елемента лінії перевіряється шляхом потрапляння випадкової величини X до інтервалу відмови (тоді настане відмова елемента) або до інтервалу безвідмовної роботи (тоді елемент нормально функціонує).

Опитування елементів лінії відбувається в дискретні моменти часу, рівні часу циклу лінії, якщо всі елементи функціонують нормально, або через час, що дорівнює часу відновлення елемента, що відмовив.

Робота програми продовжується доти, доки значення в пам'яті часу не перевищить 3600 с.

Зміст звіту лабораторної роботи

1. Тема і мета роботи.
2. Вихідні данні, розрахунки, побудова структурної схеми АЛЛ.
3. Висновки.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

РОЗРАХУНОК НА ПК ОПТИМАЛЬНОЇ КІЛЬКОСТІ ПЛАВИЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ В ЦЕХАХ МАСОВОГО ТА ВЕЛИКОСЕРІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА

Мета роботи:

1. Проаналізувати та розрахувати потреби у плавильному обладнанні на ПК.

1. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ

Ливарний цех є складною технічною системою, ефективне функціонування якої визначається ступенем синхронізації роботи її виробничих і технологічних підсистем, а також їх надійністю. Організація узгодженої роботи підсистем ливарного цеху є одним із завдань у сфері ливарного виробництва, на яку відсутні ефективні рішення, що негативно позначається підвищення продуктивності цеху і якості виливків.

Численні дослідження на ряді провідних заводів сільгоспмашинобудування та автомобільної промисловості показують, що потенційні можливості автоматичних формувальних ліній (АФЛ) через наявність простоїв реалізуються в середньому лише на 50...60%. Велику

частку в простоях АФЛ, 30 ... 60% від загальної їх кількості, складають простої через неритмічну роботу суміжних виробничих ділянок, в основному через відсутність металу та формувальної суміші.

Одна з основних причин цього - недосконалість використовуваних при проектуванні методик. Існує кілька методів розрахунку кількості ємності плавильних агрегатів ливарних цехів. Для розрахунку кількості плавильних агрегатів все лиття проектного цеху підрозділяється за класами шихти в залежності від виду сплаву, із зазначенням величини виходу придатного лиття для кожного класу, чаду металу та втрат у відсотках від металевого завалки. Обсяг річної металеві завалки, необхідний розрахунку потужності плавильних агрегатів, визначається на підставою відомості шихт і балансу металу.

Розрахунок плавильних агрегатів ведеться по рідкому металу .

Кількість печей на річну програму розраховується за формулою

$$n = \frac{Q \cdot k_H}{T_d q} \quad (1)$$

де n – кількість печей, шт.;

Q – необхідна кількість рідкого металу, т;

k_H – коефіцієнт нерівномірності споживання рідкого металу;

T_d – дійсний річний фонд часу роботи печі, год;

q – продуктивність печі, т/год.

Відповідно до «Загальносоюзних норм технологічного проектування підприємств машинобудування та металообробки» при використанні в цехах автоматичних формувальних ліній у масовому та великосерійному виробництві кількість та потужність плавильних агрегатів розраховується,

виходячи з годинної потреби в рідкому металі Π , залежно від середньої металоємності $M_{\text{срі}}$ форм, закріплених за i -й АФЛ з цикловою продуктивністю Π_i з урахуванням коефіцієнта нерівномірності споживання рідкого металу ($k_H = 1,1-1,2$).

$$\Pi = \sum_{i=1}^n \Pi_i \cdot M_{\text{срі}} \cdot k_H \quad (2)$$

Дослідженнями авторів встановлено, що розрахунки за наведеним виразом мають суттєві недоліки: металомісткість форм (крім спеціалізованого виробництва) суттєво відхиляється від середнього рівня та у ряді проектних організацій продуктивність АФЛ приймають з урахуванням коефіцієнта використання $k_H = 0,8$.

Було запропоновано розраховувати максимально можливу годинну потребу в металі Π_M за формулою

$$\Pi_M = \sum_{i=1}^n \Pi_i \cdot k_{\text{иі}} \cdot M_{\text{срі}} \cdot k_M, \quad (3)$$

де k_M – коефіцієнт, що враховує нерівномірність металоємності форм;

$k_{\text{иі}}$ – коефіцієнт використання i -лінії.

При цьому коефіцієнт, що враховує нерівномірність металоємності форм у спеціалізованому виробництві, приймають рівним одиниці, а коефіцієнт використання лінії в залежності від числа АФЛ – 0,93-1,0; при багатомноменклатурному виробництві залежно від розміру партій металоємних виливків та кількості АФЛ k_M збільшують до 1,3, а k_H коливається в межах 0,8–1,0.

Таким чином, запропоновано методику розрахунку плавильного

обладнання, за якою потужність плавильних відділень цехів повинна бути вищою за середню розрахункову на величину, що залежить від номенклатури вироблених виливків.

Залежно від виду сплаву застосовують різні типи плавильних агрегатів або їх комбінації. Крім того, розміри печей, їх конструкція, займані ними площі, методи обслуговування та експлуатації печей суттєво різняться між собою та сильно впливають на вибір планувань плавильних відділень та організацію робочих місць..

Для чавуноливарних цехів масового виробництва потужність вагранки визначається насамперед годинною потребою в рідкому металі цієї марки на конвеєрах або АФЛ цеху.

Розрахунок кількості печей періодичної дії дещо складніший. Так, наприклад, число електродугових печей H визначається в залежності від обраної місткості печі та оптимального часу плавлення.

$$H = \Pi_m \cdot T_n / V, \quad (4)$$

де T_n – оптимальний час плавки в годинах;

V – місткість печі в тоннах.

При цьому місткість печі рекомендується розраховувати за формулою

$$V = \Pi_m \cdot \kappa_c \cdot \kappa_p, \quad (5)$$

де κ_c – коефіцієнт, що враховує максимальний час розбору металу зі стендового ковша (при $\Pi_m < 35$ т/ч $\kappa_c = 0,5 - 0,7$; при $\Pi_m > 35$ т/ч $\kappa_c = 0,7 - 1,0$);

κ_p – коефіцієнт резерву на непередбачені втрати ($\kappa_p = 0,5 - 0,7$).

Для розрахунку кількості печей значення V рекомендується приймати не вище за розрахунковий.

Зробимо розрахунок кількості електродугових печей залежно від годинної потреби в металі та коефіцієнтів κ_c та κ_p . Дані за тривалістю плавки в залежності від ємності печі (при кислому процесі) наведені в таблиці 1. Дані розрахунку кількості електродугових печей в залежності від годинної потреби в металі наведені в таблиці 2.

Таблиця 1

Тривалість плавки в залежності від ємності печі

Ємність печі, т	0,5	1,5	3,0	6,0	12,0	25,0
Тривалість плавки, год	1,4	1,5	1,8	2,1	2,8	3,4

Таблиця 2

Розрахунок кількості електродугових печей залежно від годинної потреби у металі

Годинна потреба у металі, т/год	κ_c	κ_p	$V_{\text{розрах}}, \text{Т}$	Прийнята ємність печі $V, \text{т}$	Розрахункова кількість печей	Прийнята кількість печей
10	0,5	0,5	$10 \cdot 0,5 \cdot 0,5 = 2,5$	1,5	$\frac{10 \cdot 1,5}{1,5} = 10$	10
	0,7	0,7	$10 \cdot 0,7 \cdot 0,7 = 4,9$	3	$\frac{10 \cdot 1,8}{3} = 6$	6
20	0,5	0,5	$20 \cdot 0,5 \cdot 0,5 = 5$	3	$\frac{20 \cdot 1,8}{3} = 12$	12
	0,7	0,7	$20 \cdot 0,7 \cdot 0,7 = 9,8$	6	$\frac{20 \cdot 2,1}{6} = 7$	7
30	0,5	0,5	$30 \cdot 0,5 \cdot 0,5 = 7,5$	6	$\frac{30 \cdot 2,8}{6} = 10,5$	11

	0,7	0,7	$30 \cdot 0,7 \cdot 0,7 = 14,7$	12	$\frac{30 \cdot 2,8}{12} = 7$	7
40	0,7	0,5	$40 \cdot 0,7 \cdot 0,5 = 14$	12	$\frac{40 \cdot 2,8}{12} = 9,2$	9
	1,0	0,7	$40 \cdot 1,0 \cdot 0,7 = 28$	25	$\frac{40 \cdot 3,4}{25} = 5,4$	5

Розрахунки показують, що вибір типу та ємності печі неоднозначний і може коливатися навіть у межах рекомендованих коефіцієнтів k_c та k_p при фіксованій годинної потреби в металі. Таким чином, виникає необхідність аналізу двох варіантів типу печей з різною ємністю.

Аналіз методик дозволяє зробити такі висновки

1. У практиці проектування відділень ливарних цехів поширений емпіричний підхід, при якому прийняття технічних та організаційних рішень цілком ґрунтується на нормативних даних та професійному досвіді проектувальників та виробничників.

2. Формування структури та основних параметрів виробничого процесу ливарного цеху відбувається на стадії його проектування, причому принципова перебудова може бути здійснена тільки на стадії реконструкції цеху. Тому ефективність роботи ливарного цеху значною мірою визначається якістю та обґрунтованістю проектних рішень.

3. За запропонованими методиками не можна однозначно встановити якого типу та якої ємності печі необхідно встановлювати у плавильному відділенні ливарного цеху.

Безумовно, вибір місткості електродугових печей пов'язані з багатьма конкретними чинниками. Так, зі зростанням місткості печі зростає та її річна продуктивність у тоннах. Наприклад, для печі ДСП-0,5 продуктивність

складає близько 1300 т/год; ДОП-1,5 - 3400 т/год; ДСП-3 - 6200 т/год, ДСП6 - 10000 т/год. Крім цього, чим більша місткість печі, тим менша питома витрата електроенергії в кВт·ч/т, витрата електродів та вогнетривких матеріалів. Зазначені дані свідчать, що з інших рівних умов доцільний вибір максимальної місткості печі.

Однак, чим менша ємність печі, тим менша її вартість, менша площа потрібна під її встановлення, менше споживання води, менша тривалість повного циклу плавки, менше часу потрібно на злив металу в розливні ковші. Останні два фактори та показник норми часу розливання металу в більшості випадків є визначальними. Тому виникає необхідність розв'язання оптимізаційної задачі з великою кількістю змінних. При порівнянні варіантів плавильних агрегатів необхідно враховувати поряд з економічною ефективністю і такі технологічні фактори, як якість рідкого металу, гнучкість у роботі при виплавці послідовно різних марок металу, умови роботи на плавильному агрегаті (гази, пил, шум), які в окремих випадках можуть мати істотне значення під час виборів плавильного агрегату.

2. РОЗРАХУНОК ПОТРЕБИ У ПЛАВИЛЬНОМУ ОБЛАДНАННІ ЗА КРИТЕРІЮ МІНІМУМУ ПРИВЕДЕНИХ ВИТРАТ. МЕТОДИКА РІШЕННЯ ЗАВДАННЯ

Як критерій оптимізації обрано критерій мінімуму наведених витрат, у якому показник економічної ефективності визначається шляхом зіставлення за варіантами капітальних і поточних експлуатаційних витрат з урахуванням масштабу випуску продукції. Найбільш зручним є порівняння за наведеними витратами. Найкращим варіантом визнається той, числове значення наведених витрат якого є мінімальним.

$$Z_{min} = (K_i E_n + C_i)_{min} \quad (6)$$

де Z_{min} – наведені витрати, грн.;

K_i – капітальні витрати за i -му варіантом, грн.;

C_i – поточні витрати за i -му варіантом, грн;

E_n – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень.

Капітальні витрати складаються з вартості обладнання та засобів управління, включаючи витрати на транспортування, монтаж та налагодження, а також вартість будівництва будівель та споруд, необхідних для цього обладнання.

За більшістю статей собівартості розрахунки дозволяють отримати безпосередню величину річних експлуатаційних витрат. У цьому випадку – це вартість електроенергії та охолоджувальної води, зарплата виробничих робітників з додатковою зарплатою та відрахуваннями на соціальне страхування, витрати на утримання та експлуатацію обладнання. Інші показники можна прийняти для всіх варіантів однаковими: вартість вихідних матеріалів, вартість напівфабрикатів та покупних виробів, витрати на підготовку та освоєння нових видів продукції, вартість втрат від браку, цехові та загальнозаводські витрати.

Основні формули, які використовуються при розрахунку економічної ефективності за параметром мінімуму наведених витрат

Капітальні витрати

1. Розрахунок кількості плавильного устаткування ведеться за такою формулою (3) з урахуванням коефіцієнта завантаження устаткування.

2. Кількість мостових кранів, необхідних для обслуговування плавильного відділення, розраховується за формулою:

$$K = \frac{Q_{\text{ж}} \cdot H \cdot a}{\Phi_{\text{д}}}, \text{ шт.}, \quad (7)$$

де K – кількість кранів, шт.;

$Q_{\text{ж}}$ – річна продуктивність плавильної печі, т/год;

H – кількість плавильних агрегатів, шт.;

a – кількість крано-годин на 1 т виплавки рідкого металу;

$\Phi_{\text{д}}$ – дійсний річний фонд часу роботи крана, год.

3. Розрахунок вартості обладнання проводили за формулою

$$C_{\text{об}} = \sum_{j=1}^n S_j B_j, \quad (8)$$

де $C_{\text{об}}$ – вартість обладнання, грн.;

S_j – ціна обладнання j -го типу, грн.;

B_j – кількість обладнання j -го типу, шт.

4. Розрахунок виробничих площ плавильних відділень проводили згідно з нормами розміщення плавильного обладнання.

5. Вартість будівлі визначали наступним чином:

$$C_{\text{буд}} = V_{\text{буд}} \cdot St, \quad (9)$$

Де $C_{\text{буд}}$ – вартість будівлі, грн. ;

$V_{\text{буд}}$ – об'єм будинку, м³;

St – ціна 1 м³ будівлі, грн .

Поточні витрати

1. Витрата охолоджувальної води для виконання річної програми:

$$V_{\text{річна}} = H \cdot P_{\text{в}} \cdot \Phi_{\text{д}}, \quad (10)$$

де $V_{\text{річна}}$ – річна потреба в охолоджувальній воді, м³;

H – кількість печей, шт.;

$P_{\text{в}}$ – годинна потреба в охолоджувальній воді для однієї плавильної печі, м³;

Φ_d – дійсний фонд часу роботи однієї плавильної печі, год.

2. Вартість охолоджувальної води на річну програму визначається за формулою

$$C_B = C_B \cdot V_{год} \quad (11)$$

де C_B – вартість охолоджувальної води на річну програму, грн. ;

C_B – вартість 1 м³ технічної води, грн.

3. Споживання електроенергії для виконання річної програми розраховується за формулою

$$W_{річна} = Q_{мз} \cdot W_{пит} , \quad (12)$$

де $W_{річна}$ – річна потреба в електроенергії, кВт·год;

$Q_{мз}$ – вага металозавалки на річну програму, т;

$W_{пит}$ – питома витрата електроенергії для розплавлення 1 т металеві шихти, кВт·год/т.

4. Вартість електроенергії на річну програму визначали таким чином:

$$S_e = W_{річна} \cdot C_e , \quad (13)$$

де S_e – вартість електроенергії на річну програму, грн. ;

C_e – вартість електроенергії, грн.

5. Розмір річного фонду заробітної плати розраховується за формулою:

$$\Phi_{зп} = t_{ср} \cdot \Phi_d \cdot P_n \left(1 + \frac{l_{пр}}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{l_{доп}}{100}\right), \quad (14)$$

де $\Phi_{зп}$ – річний фонд заробітної плати, грн;

$t_{ср}$ – середня тарифна ставка плавильників, кранівників, грн;

Φ_d – дійсний річний фонд часу роботи одного робітника, год;

P_n – чисельність робітників;

$l_{пр}$ – відсоток премій;

$I_{\text{доп}}$ – відсоток доплат до основної заробітної плати.

6. Розрахунок амортизаційних відрахувань ведуть за такою формулою:

$$A_m = \sum_{j=1}^n S_j \cdot A_j, \quad (15)$$

де A_m – витрати на амортизацію, грн. ;

S_j – вартість j -го виду обладнання, грн.;

A_j – відсоток амортизаційних відрахувань.

3. РОЗРАХУНОК ПОТРЕБИ У ПЛАВИЛЬНОМУ ОБЛАДНАННІ НА ПК

3.1. Постановка задачі

Розв'язання задачі з розрахунку потреби у плавильному обладнанні за критерієм мінімуму наведених витрат доцільніше проводити за допомогою ПК. Застосування ПК не тільки скорочує час розрахунків і підвищує їх точність, але й дозволяє враховувати велику кількість змінних та визначати вплив кожної з них на вибір кількості та ємності плавильних агрегатів у ливарних цехах.

Програма розроблена таким чином, що дозволяє розраховувати на ПК кількість та ємність різного плавильного обладнання (вагранок, електродугових та індукційних печей) для плавки чавуну та сталі. Кількість плавильного обладнання та його ємність розраховується залежно від загальної річної програми; кількості автоматичних ливарних ліній та їх циклової продуктивності, мінімальної та максимальної металоємності форм; середньої металоємності форм на i -й лінії; коефіцієнта використання лінії, що залежить від розміру партій металоємних виливків; коефіцієнта, що враховує нерівномірність металоємності форм; коефіцієнта, що враховує максимально допустимий час аналізу металу зі стендового ковша або міксеру; коефіцієнта

резерву на непередбачені втрати; оптимального часу плавлення; типу футерування печі.

Для визначення економічної ефективності як вихідну інформацію до програми вводяться такі дані: вартість плавильного обладнання та кранового господарства; норми виробничих площ розміщення плавильного устаткування; кількість обслуговуючого персоналу; річна витрата води для кожного типу печі та ціна 1 м³ технічної води; фонди часу роботи обладнання та працюючих; питома витрата електроенергії для розплавлення 1 тони металеві шихти; річна витрата електроенергії для кожного типу печі; вартість 1 кВт.год, 1 м³ будівлі цеху; середні тарифні ставки плавильників та кранівників; відсоток премій та відсоток доплат до основної заробітної плати, відсоток амортизаційних відрахувань.

Робота програми побудована в такий спосіб. Спочатку визначається годинна потреба у рідкому металі, потім ємність печі. Вибір остаточного варіанта ємності печі визначається на основі показників економічної ефективності для варіантів ємностей печей, розташованих за каталогом зліва та праворуч від розрахованої величини. Наприклад, якщо ємність електродугової печі з розрахунку дорівнює 4,5 т, аналізується варіант з ємністю печі 3 т (ДСП-3) і варіант з ємністю печі 6 т (ДСП-6). Якщо розрахована величина збігається з ємністю печі за каталогом, прораховують три варіанти печей.

3.2. Алгоритм завдання розрахунку плавильного обладнання

Введіть вихідні дані.

Визначити:

- Коефіцієнти k_m, k_i залежно від коливань металомісткості форм і кількості АФЛ;

- максимально можливу годинну потребу у металі;
- розрахункову ємність печі;
- ємність печі за каталогом;
- кількість печей;
- обсяг та вартість будівлі під установку плавильних печей;
- вартість обладнання;
- капітальні витрати;
- обсяг та вартість охолоджувальної води;
- чисельність та заробітну плату працюючих;
- амортизаційні відрахування;
- величину поточних витрат;
- величину наведених витрат;

Зміст звіту лабораторної роботи

1. Тема і мета роботи.
2. Вихідні данні, розрахунки.
3. Висновки.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

СТРУКТУРНА ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СЕПАРАЦІЇ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ФОРМУВАЛЬНИХ СУМІШЕЙ ТА ЇЇ РОЗРАХУНОК НА ПК

Мета роботи:

На основі використання методу структурної оптимізації визначити оптимальну кількість електромагнітних сепараторів для формувально-сумішопідготовчої системи ливарного цеху.

Вихідні передумови роботи:

1. Структурна оптимізація є одним із основних методів підвищення експлуатаційної надійності технологічних систем ливарного виробництва на стадії їх проектування та реконструкції.

2. Розв'язання задачі структурної оптимізації технологічних систем ливарного виробництва може бути отримане математично на основі використання апарату дискретної математики.

3. Оптимальним буде вирішення завдання, що відповідає мінімуму критерію, що відображає всі витрати та економічні наслідки підвищення надійності системи, пов'язані зі структурною оптимізацією.

1. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ

Основною причиною простоїв автоматизованих комплексів ливарного обладнання є недостатній рівень їхньої надійності. Існують два підходи до підвищення надійності систем обладнання: параметричний та структурний. Параметричний підхід полягає у підвищенні рівня значень параметрів ливарного обладнання, що розробляється. Структурний метод підвищення надійності полягає у резервуванні або дублюванні елементів системи, яке

може бути загальним та поелементним. Загальним називається такий вид резервування, у якому дублюється вся система шляхом застосування ідентичних дублюючих підсистем. При поелементному резервуванні системи дублюються її окремі елементи.

Структурний метод підвищення надійності використовується у ливарному виробництві. Наприклад, відомі проектні рішення, коли спеціально в структуру системи вводяться проміжні бункери - накопичувачі формувальної суміші або дублюються вибивні пристрої на автоматичних лініях формування.

2.МЕТОДИКА СТРУКТУРНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ОПТИМАЛЬНОЇ КІЛЬКОСТІ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ СЕПАРАТОРІВ

Необхідна кратність резервування елементів системи може бути визначена на основі вирішення оптимізаційної задачі за економічним критерієм, який відображає баланс витрат, пов'язаний із резервуванням та збільшенням випуску продукції ливарним цехом за рахунок підвищення надійності системи.

Загальний вигляд критерію оптимізації відображає мінімум наведених витрат матиме такий вигляд:

$$M [Z (S)] = \min, \quad (1)$$

де M - символ математичного очікування;

S - структурні змінні;

Z - витрати.

Розглянемо формування цього критерію стосовно вирішення завдання

структурної оптимізації процесу електромагнітної сепарації відпрацьованих формувальних сумішей.

Величина критерію мінімуму наведених витрат може бути визначена за формулою

$$E = \sum_{i=1}^4 C_i (N, T) + E_n \cdot K(N, T), \quad (2)$$

де $\sum_{i=1}^4 C_i$ – змінна частина витрат (грн);

K – сумарні капітальні вкладення (грн);

E_n – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень;

N – кількість сепаруючих пристроїв;

T – тип сепаруючих пристроїв.

Змінна частина витрат системи складається з наступних компонентів:

C_1 – збитки від втрати металу разом із відпрацьованою сумішшю, що йде у відвал;

C_2 – втрати, пов'язані з простоями автоматизованого комплексу обладнання;

C_3 – витрати, пов'язані з виходом з ладу модельної оснастки, через наявність скрапу у формувальній суміші;

C_4 – поточні витрати, пов'язані з експлуатацією сепаруючих пристроїв (енергетичні витрати, витрати на запчастини, заробітна плата обслуговуючого персоналу).

Окремі складові змінної частини витрат можуть бути знайдені таким чином:

$$C_1 = Q \cdot r \cdot \text{Ц} \cdot q(N, T) \text{ (грн)}, \quad (3)$$

де $q(N,T)$ – кількість металевих включень у відпрацьованій формувальній суміші залежно від числа та типу сепаруючих пристроїв;

Q – річна кількість суміші, що піддається сепаруванню, в м^3 ;

r – частка відпрацьованої формувальної суміші, що направляється у відвал;

C – вартість одиниці маси металевих включень у відпрацьованій суміші, у грн. за тонну.

У ливарних цехах великосерійного та масового виробництва, де формування виконують на високопродуктивних автоматичних лініях, потребу в суміші розраховують виходячи з продуктивності лінії за формулою

$$Q_{\text{см}} = Q_{\text{ц}} \cdot K_r \cdot V_{\text{нав}} \cdot Y_{\text{ущ}} (1 + K_n) \quad (4)$$

де $Q_{\text{ц}}$ - циклова продуктивність ливарної лінії, форм/год;

K_r - коефіцієнт технічної готовності лінії;

$V_{\text{нав}}$ - наведений обсяг форми (обсяг форми за габаритними розмірами опок мінус обсяг виливка), м^3 ;

$Y_{\text{ущ}}$ - питома вага ущільненої суміші, т/м^3 ;

K_n - коефіцієнт втрати суміші ($K_n = 0,05-0,15$ в залежності від способу формування);

Річна кількість суміші, що піддається сепаруванню, розраховується, виходячи з кількості автоматичних ливарних ліній, змінності та фонду часу роботи обладнання:

$$Q = Q_{\text{см}} \cdot \Phi \cdot n_{\text{л}} , \quad (5)$$

де $n_{\text{л}}$ – кількість автоматичних ліній;

Φ – річний фонд роботи обладнання, год.

Величина збитків, пов'язана з простоями автоматизованого комплексу ливарного обладнання, виявлена за формулою:

$$C_2 = P(N, T) \cdot \Phi \cdot t \text{ (грн)} \quad (6)$$

де P – ймовірність простою автоматичної лінії через попадання металевого скрапу до вузлів механізмів автоматичної ливарної лінії та сумішопідготовчої системи;

t – вартість одиниці часу простою автоматичної ліній, грн.

Витрати, пов'язані з виходом з ладу модельного оснащення, визначаються за формулою

$$C_3 = n_{\text{л}} \cdot n_{\text{м}} \cdot q \cdot b(N, T) \text{ (грн)}, \quad (7)$$

де $n_{\text{л}}$, $n_{\text{м}}$ – відповідно число автоматичних ліній та середня кількість моделей на кожній лінії;

q – середня вартість ремонту однієї моделі, в грн;

b – середня кількість поломок моделей на рік залежно від числа та типу пристроїв, що сепарують.

Величина поточних витрат, пов'язаних з експлуатацією пристроїв, що сепарують, різних типів.

$$C_4 = N \cdot M(T) \cdot \Phi \cdot C_{\text{ч}} + C_{\text{зп}} + C_{\text{зч}} \cdot N \text{ (грн)}, \quad (8)$$

де N – кількість сепаруючих пристроїв заданого типу;

$M(T)$ – потужність, що споживається сепаруючим пристроєм типу T ;

Φ – річний фонд часу роботи сепаруючих пристроїв, год;

$C_{\text{зп}}$ – витрата заробітної плати ремонтному персоналу за обслуговування та ремонт сепараторів на рік, грн.;

$C_{\text{зч}}$ – вартість запасних частин, що витрачаються протягом року на ремонт одного сепаратора, грн.;

$C_{\text{ч}}$ – вартість 1 кВт/год електроенергії.

Задаючись коефіцієнтом надійності вилучення металевих частинок з формувальної суміші можна визначити оптимальний рівень кратності сепарування.

3. ВИЗНАЧЕННЯ МОЖЛИВОСТІ УЛОВЛЕННЯ МЕТАЛЕВИХ ВКЛЮЧЕНЬ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИМИ ЗАЛІЗОВІДДІЛЮВАЧАМИ

Основною причиною відмов ливарного обладнання є попадання металевого скрапу у вузли та механізми автоматичних ливарних ліній та обладнання сумішопідготовчих систем. Це призводить до поломок плужків та стійок змішувачів, порізів транспортерних стрічок, виходу з ладу окремих вузлів приводу конвеєра та агрегатів, які здійснюють технологічні операції з опоками на автоматичних ливарних лініях. Регулярними джерелами металевих включень у формувальних сумішах є сплески, що утворюються при заливанні форм, а також уламки литникових систем і заток, що утворюються при вибиванні. Випадковими включеннями у формувальній суміші також є дрібні деталі обладнання та модельно-опочного оснащення.

Кількість металевого скрапу у формувальній суміші визначається співвідношенням інтенсивності процесів їх утворення та уловлювання. Обидва ці процеси в даний час вивчені досить добре стосовно вирішення задачі максимального вилучення металевого скрапу з відпрацьованої формувальної суміші. Однак, заслуговує на увагу дослідження цього процесу з точки зору зниження простоїв обладнання сумішопідготовчих систем та автоматичних ливарних ліній, збитки від яких можуть значно перевищувати вартість одержаного за допомогою процесу сепарування скрапу.

У табл.1 наведено класифікацію металевих включень залежно від джерела їх утворення та результати статистичного аналізу металевих включень, віднесені до 1 м³ відпрацьованої формувальної суміші.

Кількість металевих включень у формувальних сумішах визначається вагою і складністю виливки, що виготовляється, конструкцією литникової системи, величиною зазорів між елементами форми і кількістю виливків, одночасно виготовляються в одній опоці. Дані, наведені у таблицях, відносяться до усереднених за цими параметрами умов.

Величина коефіцієнта небезпеки є відносною оцінкою ступеня потенційної можливості призводити до виникнення раптових відмов.

На основі аналізу даних, наведених у таблиці, встановлено, що близько 90% включень є потенційно небезпечними джерелами виникнення відмов. У цьому включення типів: Л1, Л3, С1, С2, ЗЛ1, СП - викликають порізи транспортерних стрічок; Л1, Л2, Л3, С1, С2, С3, ЗЛ1, ЗЛ2, СП - поломку деталей коткових змішувачів; С3, С4, ЗЛ2 - заклинювання та поломку деталей вузлів і агрегатів автоматичних ливарних ліній.

Таблиця 1 – Класифікація металевих включень у відпрацьованій формувальній суміші

Клас та група включень	Позначення	Характеристика	Середня кількість включень на 1 м ³ суміші	Вага, г		Товщина стінки, мм		Коефіцієнт небезпеки
				середній	середнє квадратичне відхилення	середній	середнє квадратичне відхилення	
I. Уламки літникових систем								
1. Круглі	Л1	Металеві включення, що є уламками литникових систем: живильників, випорів, шлакоуловлювачів	4	796,5	140,89	32,5	15,34	0,8
2. Конусоподібної та циліндричної форми	Л2		30	79	29,05	9,93	1,89	0,25
3. Призматичної форми	Л3		25	72,9	11,22	7,88	2,15	0,35
II. Сплески								
1. Великі, неправильної форми	C1	Металеві включення, що утворюються при заливанні форми, коли бризки рідкого металу, потрапляючи на поверхню форми, застигають	8	262,38	146,59	16,5	1,41	1,0
2. Середні, неправильної форми	C2		17	63,29	28,98	13,2	1,56	0,8
3. Середні, овальної форми	C3		25	21,64	7,02	7,96	1,28	0,2
4. Дрібні, кулясті	C4		291	1,9	1,17	2,62	1,34	0,05
III. Заливи								
1. Крупні	ЗЛ1	Металеві частинки, що утворюються при руйнуванні ділянок застиглого металу, що проникає по роз'єму форми та зазорам між формою та стрижнями	20	49,95	13,036	7,7	1,41	0,7
2. Середні	ЗЛ2		131	8,2	4,2	2,7	0,74	0,45

3. Дрібні, тонкостінні ($\delta \leq 1$ мм)			629	1,0	0,28	0,6	0,29	0,0
4. Випадкові предмети	СП	Найчастіше дрібні деталі обладнання та оснащення	6	129	59,2	15,0	6,0	0,8
РАЗОМ			1886	15131				

При конструюванні систем кратного сепарування суміші необхідно знати параметри, що характеризують надійність уловлювання металевих частинок електромагнітними залізовідділювачами. У табл.2 наведені дані щодо ймовірності уловлювання скрапу електромагнітними залізовідділювачами.

Таблиця 2

Ймовірність уловлювання скрапу електромагнітними залізовідділювачами

Тип електромагнітного сепаратора	Ймовірність уловлювання частинок										
	Клас включень										
	Л1	Л2	Л3	С1	С2	С3	С4	ЗЛ1	ЗЛ2	ЗЛ3	СП
ЕШ-ІЕ	1,0	0,75	0,7	1,0	0,81	0,71	0,14	0,91	0,56	0,5	0,95
ЕПР-800	1,0	0,81	0,7	1,0	0,95	0,77	0,11	0,72	0,42	0,5	0,95

Дані табл.2 можуть бути використані для визначення кількості частинок цієї групи після багаторазового сепарування за формулою

$$q_i(n) = q_{i0}(1 - p_i)^n, \quad (i = 1, S), \quad (9)$$

де $q_i(n)$ – кількість частинок i -го класу після n сепарування;

q_{i0} – вихідна кількість частинок i -го класу;

p_i – ймовірність вилучення частинок даного класу для сепаратора, що вивчається.

4. РОЗРАХУНОК ОПТИМАЛЬНОЇ КІЛЬКОСТІ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ СЕПАРАТОРІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ПК

Застосування ПК для розрахунку оптимальної кількості електромагнітних сепараторів не тільки скорочує час громіздких розрахунків, дає можливість визначати вплив кожної складової на критерій оптимізації, але дозволяє використовувати метод імітаційного моделювання для формування вибірок металевих включень у відпрацьовано формувальної суміші. Машинна імітація дозволяє у багатьох випадках відтворювати детальну та правдоподібну картину функціонування системи, ретельно контролювати умови, в яких вона працює, провести дослідження у стислому масштабі часу.

3.1. Алгоритм розрахунку оптимальної кількості електромагнітних сепараторів.

1. Ввести вихідні дані:

- середня кількість включень кожного класу;
- нижнє та верхнє значення межі металевих включень кожного класу за масою в грамах;
- сепаруючу здатність різних типів електромагнітних сепараторів для різних класів металевих включень;

- продуктивність автоматичних ливарних ліній, коефіцієнт технічної готовності автоматичної ливарної лінії, наведений обсяг форми, вартість одиниці маси металевих включень у відпрацьованій суміші, частку відпрацьованої суміші, що спрямовується у відвал;
- ймовірності простою лінії формування через поріз транспортерних стрічок; виходу з ладу змішувачів; внаслідок заклинювання та поломки вузлів та агрегатів автоматичних ліній та сумішопідготовчих систем;
- вартість одиниці часу простою лінії формування, річний фонд часу роботи обладнання;
- кількість моделей на кожній лінії, середня вартість ремонту однієї моделі середня кількість поломок на рік залежно від кількості сепараторів;
- потужність, що споживається: кожним із сепаруючих пристроїв, заробітна плата ремонтному персоналу за обслуговування та ремонт сепараторів, вартість запасних частин, що витрачаються протягом року на ремонт сепаруючих пристроїв, вартість сепаруючих пристроїв та ін.

2. Сформувати на основі методу імітаційного моделювання вибірку з металевих включень у відпрацьованій формувальній суміші.

3. Визначити:

1. кількість металевих частинок кожної групи після багаторазового сепарування різними типами сепараторів;
2. збитки від втрати металу разом із відпрацьованою сумішшю, що йде у відвал після j-го сепарування;
3. втрати, пов'язані з простоєм комплексу обладнання після j-го сепарування;
4. витрати, пов'язані з виходом з ладу модельної оснастки після j-го сепарування;

5. величину поточних витрат, пов'язаних з експлуатацією сепаруючих пристроїв різного типу після j -го сепарування;
6. сумарні втрати по всіх складових після j -го сепарування;
7. втрати, пов'язані з відсутністю у системі електромагнітних сепараторів;
8. оптимальна кількість сепаруючих пристроїв.

Зміст звіту лабораторної роботи

1. Тема і мета роботи.
2. Вихідні данні, розрахунки.
3. Висновки.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- 1.Пантейков С.П. Моделювання технологічних та фізичних процесів в металургії :навч.посібник./ С.П. Пантейков – Кам’янське: ДДТУ.2021. –235с.
- 2.Пономаренко О.І. Управління ливарними системами та процесами Монографія / О.І. Пономаренко, Т.В. Лисенко, О.Л. Становський, О.І. Шинський. – Харків: Підручник НТУ “ХПІ”. – 2012. – 368 с.
- 3.Пономаренко О.І. Оптимізація технологічних рішень для цехів ливарного виробництва./О.І. Пономаренко - Харків: НТУ "ХПІ". – 2007. –320с.
- 4.Пономаренко О.І. Автоматизоване проектування формувальних та стрижневих машин [текст]: навч. посіб. / О.І Пономаренко, І.І. Гунько, С.В. Порожня, Н.С. Євтушенко. – Харків: НТУ «ХПІ», 2014. – 256 с.
- 5.Павленко П.М. Основи математичного моделювання систем і процесів: навч. посіб. – К.: Книжкове вид-во НАУ, 2013. – 201 с.
- 6.Пантейков С.П. Математичне моделювання технологічних та фізичних процесів в металургії :навч.посібник./ С.П. Пантейков –Кам’янське: ДДТУ. 2022. –156с.

ЗМІСТ

Вступ.....	3
1. Лабораторна робота 1. Розрахунок на ПК економічної ефективності від впровадження заходів, спрямованих на скорочення простоїв автоматичних ливарних ліній.....	4
2.Лабораторна робота 2. Дослідження роботи автоматичних ливарних ліній на імітаційних моделях.....	18
3. Лабораторна робота 3. Розрахунок на ПК оптимальної кількості плавильного обладнання в цехах масового та великосерійного виробництва.....	36
4. Лабораторна робота 4. Структурна оптимізація процесу електромагнітної сепарації відпрацьованих формувальних сумішей та її розрахунок на ПК...	49
Список літератури.....	61

Навчальне видання

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт
з навчальної дисципліни «Аналіз та синтез ливарних систем»
для студентів денної та заочної форми навчання
за спеціальністю G9 Прикладна механіка та G10 Металургія
Українською мовою

Видання друге, перероблене й доповнене

Укладачі:

ПОНОМАРЕНКО Ольга Іванівна
МАСАЛІТІНА Олена Володимирівна

Відповідальний за випуск

проф. Акімов О. В.

Роботу до видання рекомендував

проф. Дьомін Д. О.

В авторській редакції

План 2025 р., поз.279

Підп. до друку 2025 р. Гарнітура Times New Roman

Видавничий центр НТУ «ХПІ»,
вул. Кирпичова, 2, м. Харків, 61002

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 5478 від 21.08.2017 р.

Електронна версія