

Міністерство освіти і науки України
Центральноукраїнський національний технічний університет
Кафедра “Матеріалознавство та ливарне виробництво”

ВЛАСТИВОСТІ ФОРМУВАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ І СУМІШЕЙ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

**до виконання лабораторних робіт з курсу
«Технологія ливарного виробництва»
для студентів-ливарників спеціальностей
131 “Прикладна механіка”, 133 “Галузеве машинобудування”**

Затверджено на засіданні кафедри
“Матеріалознавство та ливарне виробництво”
протокол № 6 від 18. 03. 2019 р.

Кропивницький 2019

УДК 621.74

Конончук С.В. Властивості формувальних матеріалів і сумішей: Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу «Технологія ливарного виробництва» для студентів-ливарників спеціальностей 131 «Прикладна механіка» 133 «Галузеве машинобудування» / С.В. Конончук, О. В. Скрипник. – Кропивницький: ЦНТУ, 2019. – 116 с.

В методичних вказівках викладені методики досліджень властивостей формувальних матеріалів і сумішей згідно з державними стандартами та учбовою програмою дисципліни «Технологія ливарного виробництва».

Методичні вказівки призначені для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» спеціалізації «Обладнання та технології ливарного виробництва», 133 «Галузеве машинобудування» спеціалізації «Обслуговування обладнання ливарного виробництва».

Рис. 24, табл. 29, бібліогр. 29 назв.

Рецензент: В. М. Кропівний – канд. техн. наук, професор

© Конончук С.В.

© Тиражування РВЛ ЦНТУ

ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП.....	4
Лабораторна робота № 1. ВИЗНАЧЕННЯ МАРКИ ФОРМУВАЛЬНОГО ПІСКУ.....	5
Лабораторна робота № 2. ВИЗНАЧЕННЯ МАРКИ ФОРМУВАЛЬНОЇ ГЛИНИ.....	25
Лабораторна робота № 3. ВИЗНАЧЕННЯ ВОЛОГОСТІ СУМІШЕЙ.....	32
Лабораторна робота № 4. ВИЗНАЧЕННЯ ГАЗОТВОРНОЇ ЗДАТНОСТІ СУМІШЕЙ.....	38
Лабораторна робота № 5. ВИЗНАЧЕННЯ ГАЗОПРОНИКНОСТІ ФОРМУВАЛЬНИХ СУМІШЕЙ.....	44
Лабораторна робота № 6. ВИЗНАЧЕННЯ МІЦНОСТІ ФОРМУВАЛЬНИХ І СТЕРЖНЕВИХ СУМІШЕЙ НА СТИСНЕННЯ....	55
Лабораторна робота № 7. ВИЗНАЧЕННЯ МІЦНОСТІ ФОРМУВАЛЬНИХ І СТЕРЖНЕВИХ СУМІШЕЙ НА РОЗТЯГ.....	62
Лабораторна робота № 8. ВИЗНАЧЕННЯ ОБСИПАЛЬНОСТІ СУМІШЕЙ.....	69
Лабораторна робота № 9. ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ РАЗОВИХ ЛИВАРНИХ ФОРМ.....	73
Лабораторна робота № 10. РОЗРОБКА ОПТИМАЛЬНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПРИГОТУВАННЯ СУМІШЕЙ.....	78
ЛІТЕРАТУРА.....	115

ВСТУП

Ливарне виробництво є однією із основних заготівельних баз машинобудування. Широке використання литва пояснюється його перевагами порівняно з іншими способами формоутворення та можливостями виготовляти заготовки та деталі складної конфігурації з мінімальними припусками на обробку різанням і з високими механічними властивостями.

Основним напрямком розвитку ливарного виробництва є удосконалення відомих та створення нових технологічних процесів, які дозволяють зменшити витрати матеріальних, трудових та енергетичних ресурсів, підвищити продуктивність, усунути шкідливий вплив на навколишнє середовище і, як результат, підвищити якість та ефективність виробництва.

Вирішальну роль у формуванні якості виливків відіграють такі властивості формувальних і стержневих сумішей як міцність у сирому і сухому стані, газотворність, газопроникність, обсипальність, твердість, тощо.

При вивченні студентами окремих дисциплін велике значення для якості освіти мають лабораторні роботи, на яких закріплюються знання, які отримують студенти на лекціях.

В методичні вказівки включені лабораторні роботи з дослідження властивостей формувальних і стержневих матеріалів і сумішей. Роботи мають однакову структуру і містять відомості про мету; теоретичні основи та зміст роботи; опис лабораторних установок, інструменту, матеріалів, що використовуються; порядок виконання роботи; вимоги техніки безпеки; вимоги щодо змісту звіту.

До виконання лабораторної роботи студент повинен ретельно підготуватись, вивчити конструкцію і принцип роботи лабораторного обладнання, методику випробувань, техніку безпеки при виконанні лабораторної роботи.

Лабораторна робота № 1

ВИЗНАЧЕННЯ МАРКИ ФОРМУВАЛЬНОГО ПІСКУ

Загальні відомості

До складу формувальних пісків (ГОСТ 2138–91) входять зерна кварцу (основна частина), глинисті мінерали (не більше 50 %) і деякі інші матеріали. В залежності від вмісту кремнезему і глинистої складової формувальні піски підрозділяють на декілька класів.

Марку формувального піску визначають за вмістом глинистої складової і зерновим складом піщаної основи; зерновий склад піску – за допомогою розсіву його через набір стандартних сит і аналізу залишків просіяного піску на трьох суміжних ситах.

Задача № 1

ВИЗНАЧЕННЯ ГЛИНИСТОЇ СКЛАДОВОЇ ПІСКУ

Мета роботи – вивчити стандартний і прискорений методи визначення глинистої складової формувальних пісків.

СТАНДАРТНИЙ МЕТОД

1.1. Теоретичні відомості

Перед ситовим аналізом формувальних пісків необхідно відокремити найдрібніші частинки від великих за допомогою відмулювання, заснованого на різній швидкості падіння частинок у рідкому середовищі.

Щоб результати ситового аналізу не були спотворені внаслідок прилипання більш дрібних частинок до великих, зерна піску перед просіюванням звільняють також від оболонок, які можуть бути створені навколо них глиною, оксидами заліза, силікатами, карбонатами, тощо.

Відділення глинистої складової здійснюється методом седиментації в нерухомій рідині. В основу цього методу покладена здатність частинок, що падають у воді, набувати постійної швидкості, яка визначається за формулою Стокса:

$$V = \frac{d^2(\gamma_1 - \gamma_2)g}{18\eta}, \text{ м/с}, \quad (1.1)$$

де V – швидкість падіння частинки, м/с; d – діаметр частинки, м; γ_1, γ_2 – густина, відповідно, частинки і середовища, кг/м³; g – прискорення вільного падіння, м/с²; η – коефіцієнт динамічної в'язкості, Н·с /м² = Па·с.

Підставивши у формулу Стокса відповідні значення (в системі SI):

$\gamma_1 = 2,62 \cdot 10^4$ кг/м³ (2,62 г/см³) – густина кварцу;

$\gamma_2 = 10^4$ кг/м³ (1 г/см³) – густина води;

$g = 9,81$ м/с² (981 см/с²);

$\eta = 9,81 \cdot 10^{-3}$ Н·с/м² (0,01 г/(см·с) в системі СГС),

отримаємо залежність між умовним діаметром зерна кварцового піску і швидкістю його падіння у воді при температурі 20 °С.

За стандартною методикою рівень води в банці повинен скласти 0,15 м, а відстань від дна банки до нижнього отвору трубки – 0,025 м.

Тривалість відстоювання за стандартом передбачається 5 хв. Тому швидкість падіння частинок:

$$V = \frac{0,150 - 0,025}{5 \cdot 60} = 4,17 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}. \quad (1.2)$$

Тоді діаметр частинки можна знайти з формули (1.1):

$$d = \sqrt{\frac{V \cdot 18 \cdot \eta}{(\gamma_1 - \gamma_2)g}} = \sqrt{\frac{4,17 \cdot 10^{-4} \cdot 18 \cdot 9,81 \cdot 10^{-3}}{(2,62 - 1,00) \cdot 9,81 \cdot 10^4}} = \quad (1.3)$$
$$= \sqrt{4,63 \cdot 10^{-10}} = 2,2 \cdot 10^{-5} \text{ м} = 0,022 \text{ мм} = 22 \text{ мкм}.$$

Температура води, що використовується для відмулювання, повинна бити в межах 15...20 °С, оскільки при зміні температури води змінюється її в'язкість. Дана обставина спотворює показники і позначається на кількості глинистої складової.

Жорсткість води, що використовується для відмулювання, повинна бути нормальною. Вода, що подається водогоном у м. Кропивницький, має середню жорсткість, що дозволяє використовувати її для дослідження формувальних пісків. У воді з високою жорсткістю міститься велика кількість магнію і кальцію, які викликають коагуляцію глинистих часток, внаслідок чого частинки будуть осідати швидше а кількість глинистої складової при відмулювання пісків в цьому випадку буде меншою, ніж при використанні води з середньою жорсткістю.

1.2. Зміст роботи

Необхідно взяти навіску ($50 \pm 0,01$ г) піску і висипати його в посудину об'ємом 1000 мл і діаметром 90...100 мм. Потім в посудину необхідно додати 475 мл води кімнатної температури (15...20 °С) і 25 мл 1 %-го розчину NaOH. Їдкий натрій сприяє кращому відділенню глинистої складової від зерен піску. Посудину щільно закривають пробкою і закріплюють на установці для збовтування (рис.1.1). Збовтують протягом 1 год з частотою обертання посудини 60 ± 5 об / хв. Після цього установку вимикають, знімають посудину, відкривають кришку і ретельно змивають водою в посудину частинки піску що пристали до пробки. Потім в посудину

доливають воду до відмітки 150 мм, вміст енергійно збовтують скляною паличкою і дають йому відстоятися протягом 10 хв. Після закінчення цього часу, сифонною трубкою діаметром 6...9 мм, введеною в посудину (рис.1.2), зливають воду. Нижній кінець трубки повинен знаходитися на відстані 12...13 мм від поверхні осілого піску.

Операції доливання води, енергійного збовтування, відстоювання протягом 10 хв і зливання сифоном повторюють 1...2 рази. Потім в посудину знову наливають воду до позначки 150 мм, вміст енергійно збовтують, витримують протягом 5 хв, після чого зливають воду за допомогою сифона.

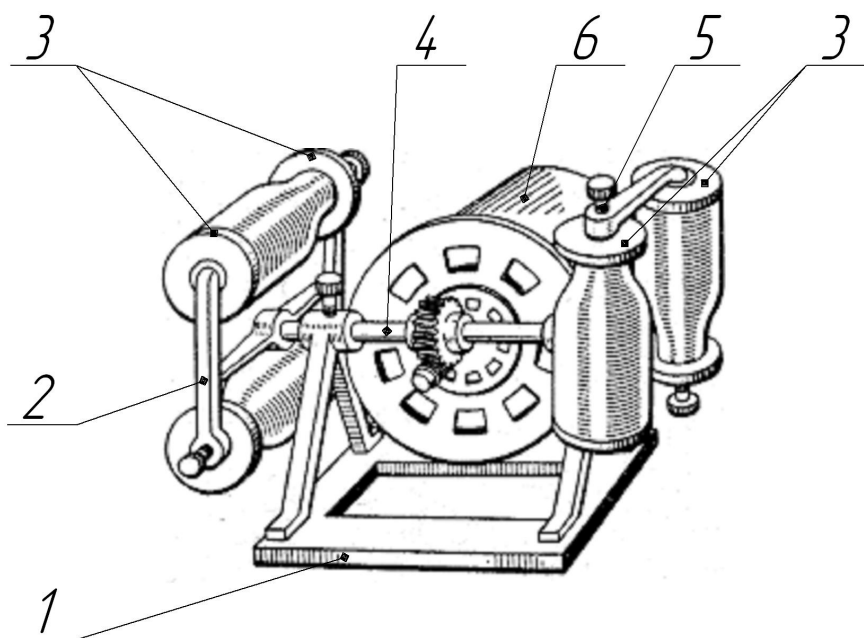


Рисунок 1.1 – Установка для збовтування

Ці операції повторюють до тих пір, поки вода в посудині після відстоювання не буде абсолютно прозорою, що свідчить про видалення глинистої складової.

Вміст посудини переносять у порцелянову чашку, ретельно змиваючи піщинки, що пристали до стінок посудини. Протягом 5 хв воду в чашці необхідно відстояти, після чого її зливають. Пісок що залишився поміщують у сушильну камеру і висушують при температурі 105...110 °С до постійної маси. Потім пісок зважують з точністю до 0,01 г.

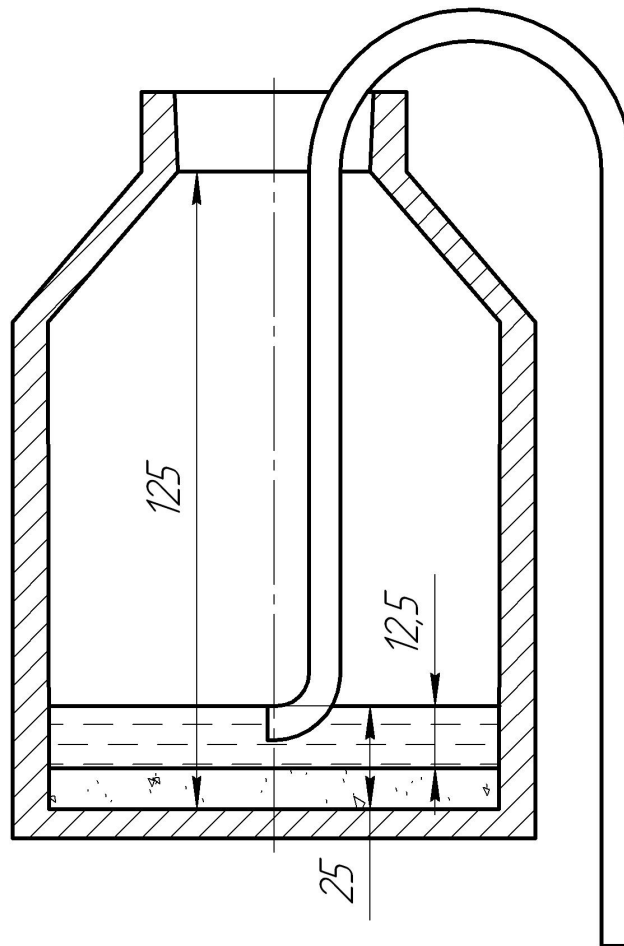


Рисунок 1.2 – Посудина з сифоном для визначення глинистої складової нормальним методом

Вміст глинистої складової в піску визначають за формулою:

$$Г \% = 2(Q_1 - Q_2), \% \quad (1.4)$$

де Q_1 , Q_2 – маса піску, відповідно, до і після відмулювання, г.

1.3. Обладнання, прилади та матеріали

Установка для збовтування (рис.1.1), технічні ваги з набором гирьок, сушильна шафа, скляні банки об'ємом 1000 мл (рис.1.2), мензурка мірна 500 мл, змивалка, сифонна трубка, дві порцелянові чашки, скляна паличка,

годинникове скло для зважування, 1%-вий розчин NaOH, вода, досліджуваний пісок.

Прилад для збовтування випускає Усманський завод ливарного обладнання під назвою "Збовтувач" (рис.1.1). Він складається із станини 1, в підшипниках якої обертається вал 4, що приводиться в рух електромотором 6. На кінцях валу насаджені дві хрестовини 2, на яких закріплені по чотири чашки 3. Дві чашки на кожній хрестовині закріплені жорстко, а дві інші – рухомо. Відгвинчуванням стопорного гвинта 5 звільняється стрижень, на якому закріплена чашка 3, призначена для закріплення скляних банок з досліджуваними пробами піску. Частота обертання хрестовин повинна бути 60 об / хв.

1.4. Порядок виконання роботи

1. Просушити досліджуваний пісок при температурі 105...110 °С до постійної маси.
2. Відважити з точністю до 0,01 г 50 г попередньо просушеного піску.
3. Помістити пробу піску в банку об'ємом 1000 мл, діаметром 90...100 мм.
4. Налити в банку 475 мл води нормальної жорсткості з температурою 15...20 °С.
5. Долити в банку 25 мл 1%-го розчину їдкого натрію.
6. Закрити банку пробкою.
7. Закріпити банку в приладі для збовтування.
8. Включити прилад.
9. Збовтувати протягом години.
10. Зняти банку з приладу.
11. Зняти пробку.
12. Ретельно змити за допомогою промивалки піщинки з пробки і внутрішніх стінок банки.

13. Долити банку водою до висоти 150 мм від дна.
14. Збовтати вміст банки.
15. Поставити банку для відстоювання протягом 10 або 5 хв (залежно від прозорості води в банці).
16. Після відстоювання злити каламутну рідину сифоном з внутрішнім діаметром 6...9 мм до глибини 25 мм від дна банки (див. рис. 1.2).
17. Повторити відмулювання до повного освітлення рідини.
18. Вміст посудини перенести в чашку, ретельно промивши банку.
19. Злити воду з чашки.
20. Просушити отриманий осад піску до постійної маси при температурі 105...110 °С.
21. Зважити залишок піску з точністю до 0,01 г.
22. За різницею мас піску до і після відмучування визначити глинисту складову досліджуваного піску.

1.5. Техніка безпеки

1. Перевірити щільність закривання банки пробкою.
2. В гнізда чашок приладу вкласти гумові прокладки.
3. Встановити банки по центру чашок приладу.
4. Слід пам'ятати, що надмірне зусилля затискання банок шкідливе, оскільки може призвести до їх руйнування.
5. Перевірити, чи ретельно загвинчені стопорні гвинти.
6. Забороняється стороннім особам, що не пройшли інструктаж з техніки безпеки підходити до працюючого приладу ближче, ніж на 2 м.
7. Знімати банки з приладу тільки після повної його зупинки.
8. При проливанні води необхідно негайно вимкнути установку для збовтування та відключити електроживлення.
9. Забороняється торкатись рухомих частин установки під час її роботи.

1.6. Зміст звіту

Звіт повинен містити: короткі теоретичні відомості; описання ходу роботи і методики випробування; схеми приладу для збовтування і відмулювання; результати визначення глинистої складової у вигляді протоколу випробувань (табл. 1.1)); висновки.

Таблиця 1.1 – Протокол випробувань

Температура води, °C	Жорсткість води	Температура сушки піску, °C	Маса проби піску до відмулювання	Частота обертання збовтувача, об/хв	Час збовтування, хв	Число циклів відмулювання		Маса навіски після відмулювання, г	Кількість глинистої складової, г	Відсоток глинистої складової, %
						10-ти хвилинних	5-ти хвилинних			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

В залежності від кількості глинистої складової визначити за табл. 1.4 клас піску.

ПРИСКОРЕНИЙ МЕТОД

Пробу піску масою $25 \pm 0,01$ г засипають в хімічний стакан, в який потім наливають 250 мл киплячої води і 10 мл розчину NaOH. Стакан встановлюють на електроплиту та кип'ятять протягом 5 хв. Вміст стакану після охолодження переливають в конічну склянку (рис.1.3), в яку потім доливають воду до рівня зливного отвору 3. Потім, після 5-хвилинного відстоювання суспензії в воронку трубки 1 подають воду, яка, проходячи через отвір 2 діаметром 2 мм, вимиває глинисті частки з піску і видаляє їх через отвір 3. Промивання піску продовжується до тих пір, поки вода на відстані не менше 20 мм від зливного отвору 3 не стане повністю прозорою. Через кран 4 осад змивається з конічної склянки в порцелянову чашку.

Подальший аналіз проводиться так само, як і при визначенні глинистої складової стандартним способом.

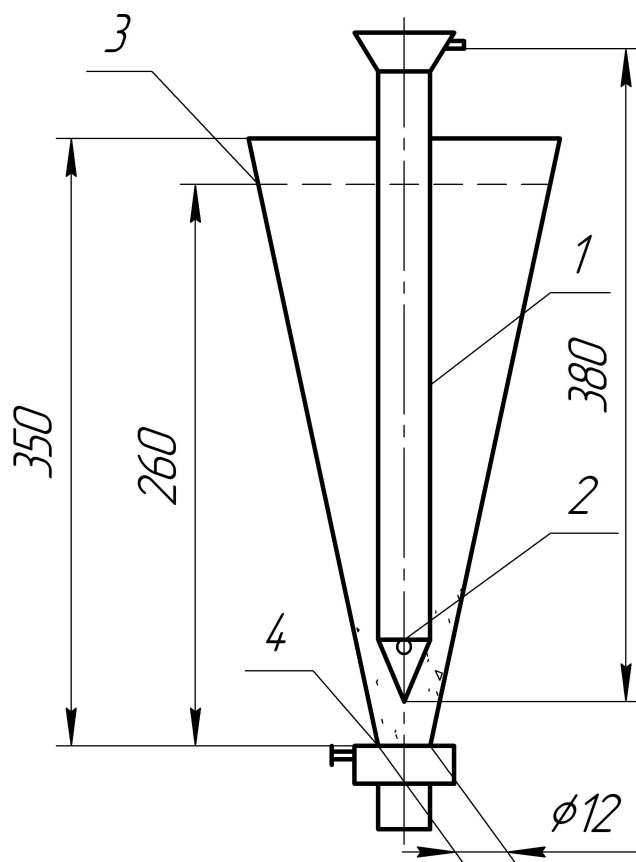


Рисунок 1.3 – Конічна склянка для визначення глинистої складової
прискореним методом

Задача № 2

ВИЗНАЧЕННЯ ЗЕРНОВОГО СКЛАДУ ФОРМУВАЛЬНОГО ПІСКУ

Мета роботи – вивчити метод визначення зернового складу піску, навчитися правильно виражати результати зернового аналізу та визначати марку формувального піску.

1.7. Теоретичні відомості

Зерновий склад формувальних пісків залежить від розміру, форми, стану поверхні зерна і є найбільш важливою природною властивістю, що визначає більшість робочих і технологічних властивостей формувальних та стержневих сумішей. Найбільше значення при цьому має розмір зерна.

Зерновий склад піску визначається за допомогою зернового аналізу, який дозволяє встановити у досліджуваному піску кількісні співвідношення між зернами різних розмірів і форми.

Піски характеризуються наявністю в них зерен різних розмірів. При зерновому аналізі, який здійснюють за допомогою розсіву на стандартних ситах, піщинки вважаються однаковими, якщо вони проходять через отвори певного розміру. Розмір зерен в цьому випадку визначається розмірами отворів сит, через які вони проходять.

Проведенню ситового аналізу передуює визначення глинистої складової за допомогою відмулювання методом седиментації у нерухомій рідині (див. задачу 1). Згідно з прийнятою методикою визначення глинистої складової, всі частинки у формувальних пісках розміром менше 0,022 мм, незалежно від їх мінералогічного складу, відносяться до глинистої складової.

Після визначення глинистої складової, решту проби формувального піску піддають розсіву на ситах. Стандартом передбачено розсіювання на 11

ситах з поступовим зменшенням в них розмірів вічок. Характеристика сит наводиться в табл.1.2.

Таблиця 1.2 – Характеристика стандартного набору сит, які застосовуються для зернового аналізу формувальних пісків

Номер сита	№ сітки за ГОСТ 3584-73	Нормальний розмір сторін розмір вічок (за ГОСТ 3584-73)	Номер сита	№ сітки за ГОСТ 3584-73	Нормальний розмір сторін розмір вічок (за ГОСТ 3584-73)
1	2	3	4	5	6
2,5	1,5	2,5	0,2	0,2	0,200
1,6	1,6	1,60	0,16	0,16	0,160
1	1	1,00	0,1	0,1	0,100
0,63	0,63	0,630	0,063	0,063	0,063
0,4	0,4	0,400	0,05	0,05	0,50
0,315	0,315	0,315	«Тазик»	-	< 0,05

1.8. Вираження результатів зернового аналізу

Формувальні піски більшості родовищ при зерновому аналізі розподіляються таким чином, що основна частина фракцій піску (до 70% за масою) припадає на три-чотири сита. При цьому на середньому із трьох сит зосереджується найбільша кількість зерен. З огляду на дану обставину, формувальні піски бувають із зосередженою структурою (в яких на будь-яких трьох суміжних ситах концентрується більше 70% загальної маси проби піску) і з загальною розосередженістю, коли сума залишків основної фракції на трьох будь-яких, суміжних ситах менше 60% за масою.

В залежності від розміру зерна, відповідного номеру середнього сита з трьох суміжних сит, всі зосереджені піски поділяють на вісім груп (табл. 1.3).

Таблиця 1.3 – Групи піску за ГОСТ 2138 – 91 залежно від розмірів зерен основної фракції

Група	Пісок	Номер сита, на якому залишаються зерна основної фракції	Група	Пісок	Номер сита, на якому залишаються зерна основної фракції
063	Грубий	1;063;04	016	Дрібний	02;016;01
04	Дуже крупний	063;04;0315	01	Дуже дрібний	016;01;0063
0315	Крупний	04;0315;02	0063	Тонкий	01;0063;005
02	Середній	0315;02;016	005	Пиловидний	0063;005; «Тазик»

В залежності від залишків піску на крайніх з трьох суміжних з основною фракцією сит, формувальні піски поділяють на дві категорії А та Б. До категорії А відносяться піски з більшим залишком на верхньому ситі, до категорії Б – з більшим залишком на нижньому ситі.

Марку піску встановлюють на основі результатів визначення глинистої складової і зернового аналізу піску. Залежно від змісту глинистої складової формувальні піски поділяють на дев'ять класів (табл.1.4).

При маркуванні піску на першому місці ставлять букву, що позначає клас піску, на другому – число, що позначає групу, на третьому – букву, що позначає категорію формувального піску.

Таблиця 1.4 – Класи формувальних пісків за ГОСТ 2138–91 залежно від вмісту в них глинистої складової, кремнезему та шкідливих домішок

Пісок	Клас	Глиниста складова, % за масою	Кремнезем, % за масою	Шкідливі домішки, % за масою	
				Оксиди лужно- земельних металів	Оксиди заліза
				Не більше	
Кварцевий збагачений	Об 1К	до 0,2	98,5	0,40	0,20
	Об 2К	до 0,5	98,0	0,75	0,40
	Об 3К	до 1,0	97,5	1,00	0,60
Кварцевий	1К	до 2,0	97,0	1,20	0,75
	2К	до 2,0	96,0	1,50	1,00
	3К	до 2,0	94,0	2,00	1,50
	4К	до 2,0	90,0	-	-
Глинистий: тонкий	Т	від 2,0 до 10	-	-	-
напівжирний	П	від 10 до 20	-	-	-
жирний	Ж	від 20 до 30	-	-	-
особливо жирний	ОЖ	від 30 до 50	-	-	-

Більш повним вираженням результатів зернового аналізу є графічні методи, оскільки вони більш наочні. Графічне відображення результатів зернового аналізу може бути представлене у вигляді частотної кривої, гістограми або інтегральної кривої.

Розглянемо на конкретному прикладі вираження результатів зернового аналізу.

Наприклад, після визначення глинистої складової та ситового аналізу отримані наступні результати (табл. 1.5)

Таблиця 1.5 – Результати відмулювання та зернового аналізу формувального піску

Номер сита	Масова частка піску, % за масою		Глиниста складова, % за масою
	залишку на ситі	сумарного залишку	
2,5	-	-	0,8
1,6	-	-	
1	-	-	
063	0,8	0,8	
04	3,5	4,3	
0315	25,0	29,3	
0215	47,0	76,3	
016	18,0	94,3	
01	3,3	97,6	
0063	0,7	98,3	
005	0,4	98,7	
«Тазик»	0,5	99,2	
Усього:	99,2	99,2	0,8

1. Визначаємо марку досліджуваного піску. Для цього знайдемо клас піску. Оскільки пісок містить 0,8 % глинистої складової, за табл. 1.4 встановлюємо, що пісок кварцевий. Отже буква, що відповідає класу піску – К.

Після цього визначають три суміжних сита, на яких зосереджується основна фракція піску. З табл. 1.5 знаходимо, що основна фракція піску

зосереджена на ситах 0315; 0215; 016. Отже число, що позначає групу формувального піску – 0215.

І нарешті, оскільки на нижньому ситі (016) залишок менший, ніж на верхньому (0315), пісок відноситься до категорії А.

Таким чином, досліджуваний пісок марки K02I5A, середньої крупності (див. табл. 1.3).

2. Виразимо результати зернового аналізу графічно. Для цього перерахуємо залишок піску на ситах без урахування глинистої складової, приймаючи за 100% тільки масу піску після відмулювання (99,2%). Розрахунок зводимо в табл. 1.6:

Таблиця 1.6 – Результати зернового аналізу формувального піску

Номер сита	Масова частка	
	на ситі	залишку
2,5	-	-
1,6	-	-
1	-	-
063	0,8	0,8
04	3,6	4,4
0315	25,2	29,6
0215	47,3	76,9
016	18,2	95,1
01	3,3	98,4
0063	0,7	99,1
005	0,4	99,5
«Тазик»	0,5	100,0

Візьмемо прямокутну систему координат. По осі абсцис відкладемо розміри зерен піску у вигляді номерів сит, по осі ординат – масову частку залишку піску у відсотках за масою. З'єднавши точки відрізками, отримаємо

графік (рис.1.4), який називається частотною кривою розподілу розмірів зерен формувального піску.

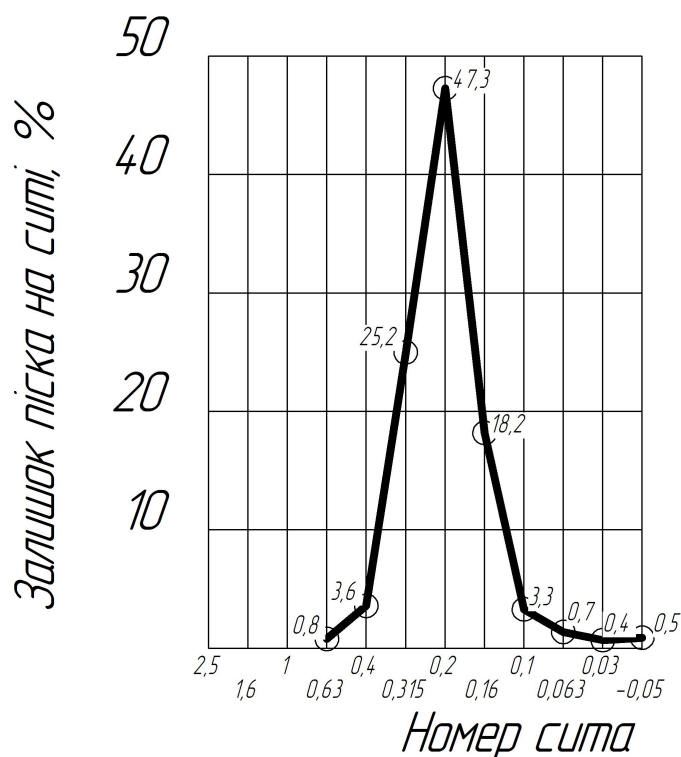


Рисунок 1.4 – Частотна крива розподілу розмірів зерен піску

Якщо по осі ординат відкласти сумарний залишок піску на кожному ситі, отримаємо графік інтегральної кривої розподілу розмірів зерен формувального піску (рис.1.5).

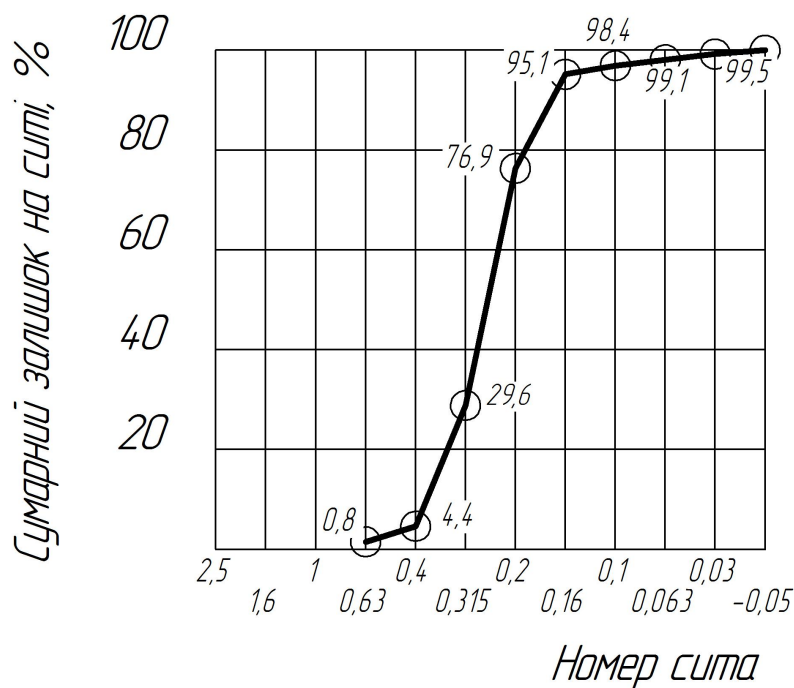


Рисунок 1.5 – Інтегральна крива розподілу розмірів зерен піску

Таку назву ця крива одержала тому, що ординати її відображають не розміри окремих фракцій, а суму фракцій піску менше певного розміру, що відкладається по осі абсцис.

3. Визначимо модуль дрібності піску за формулою:

$$a_{cp} = \frac{\sum a_i g_i}{\sum g_i}, \quad (1.5)$$

де a_i – розрахунковий коефіцієнт, визначений для кожного сита;

g_i – масова частка залишку піску на ситі, %;

$\sum g_i$ – маса проби піску, %.

Значення коефіцієнта a_i – наведені в табл. 1.7.

Таблиця 1.7 – Значення розрахункового коефіцієнта a_i

Номер сита	2,5	1,6	1	063	04	0315	0215	016	01	0063	005	Тазик
Множник a_i	2	5	10	15	25	35	45	60	100	160	200	300

Тоді:

$$a_{cp} = \frac{0,8 \cdot 15 + 3,5 \cdot 2,5 + 25 \cdot 35 + 47 \cdot 45 + 18 \cdot 60 + 3,3 \cdot 100}{99,2} + \frac{0,7 \cdot 160 + 0,04 \cdot 200 + 0,5 \cdot 300}{99,2} = \frac{4841,5}{99,2} = 49.$$

1.9. Зміст роботи

Зерновий склад піску визначають просіюванням його через стандартний набір сит з різними отворами на приладі моделі 029 Усманського заводу (рис.1.6).

Установка лабораторна модель 029, кліматичного виконання УХЛ, категорії розміщення за ГОСТ 15150–69, призначена для поділу піщаної основи формувальних пісків на фракції за крупністю зерен і використовується для роботи в земельних лабораторіях ливарних цехів і центральних заводських лабораторіях.



Рисунок 1.6 – Установка моделі 029 з набором сит для визначення зернового складу формувальних пісків

Прилад складається з станини, в якій встановлено електромотор, з'єднаний сполучною муфтою безпосередньо з обертовим механізмом, розташованим також в кожусі станини.

Сита встановлюються на пересувному уздовж двох колонок піддоні і закріплюються хомутами.

Обертальний рух від електродвигуна перетворюється за допомогою куліси в зворотно-поступальний і передається до столика з ситами за допомогою ексцентрикового валу. Включення установки здійснюється за допомогою кнопки «Пуск». Реле часу автоматично відключає установку через 15 хв. Струшування сит відбувається за допомогою штовхача, рух якого передається кулачком, який обертається за рахунок конічної пари.

Пробу піску (піщану основу), що залишилася після відмулювання глинистої складової, висушують до постійної маси при температурі 105...110 °С і поміщають на верхню сітку комплекту сит. Під нижнє сито

встановлюють тазик, верхнє сито закривають кришкою. Зібраний комплект сит встановлюють на стіл і закріплюють. Режим роботи напівавтоматичний. Після просіювання вся досліджувана проба розподіляється на дванадцять частин (11 сит і тазик). Розсів продовжують 15 хв, після чого прилад зупиняють, сита з нього виймають і залишки піску на кожному з них та в тазик висипають окремо на глянце́вий папір, ретельно зчищаючи дно і стінки м'якою щіткою.

Зерна, що залишилися після просіювання на кожному ситі позначають номером. Кожен із залишків зважують з точністю до 0,01 г, після чого визначають масову частку залишку на ситі у відсотках.

1.10. Необхідне обладнання, прилади, інструменти, матеріали

Установка для визначення зернового складу піску (див. рис. 1.6), сушильна шафа, технічні ваги з набором гирьок, лист глянцевого паперу, щітка, досліджуваний пісок (попередньо відмулений).

1.11. Порядок виконання роботи

1. Ретельно очистити кожне сито від пилу і залишків піску після попереднього розсіву.
2. Зібрати сита в комплект в установленому порядку, зазначеному в табл. 1.2.
3. Помістити пробу досліджуваного попередньо відмуленого піску на верхнє сито.
4. Установити на верхнє сито кришку.
5. Ввімкнути прилад. Розсів продовжувати 15 хв.
6. Вимкнути прилад.
7. Зняти набір сит з приладу.

8. Залишки піску на кожному ситі і в "тазику" висипати окремо на папір, ретельно зчищаючи дно і стінки сита.

9. Зважити кожен залишок з точністю до 0,01 г.

10. Визначити масовий вміст піску на кожному ситі в відсотках

1.12. Зміст звіту

Звіт повинен містити: короткі теоретичні відомості; опис ходу роботи і методики випробування; схему установки з набором сит для зернового аналізу формувального піску; результати зернового аналізу у вигляді:

а) марки формувального піску;

б) частотної кривої;

в) інтегральної кривої;

г) модулю дрібності.

Результати зернового аналізу формувального піску зводять до табл. 1.8:

Таблиця 1.8 – Протокол результатів зернового аналізу формувального піску

Номер сита	Масова частка залишку піску на ситі		Час розсіювання, хв	Масова частка сумарного залишку на ситі		Примітка
	г	%		г	%	
1	2	3	4	5	6	7

1.13. Техніка безпеки

1. Перед ввімкненням установки перевірити надійність закріплення комплекту сит.

2. Заборонено торкатись рухомих частини установки під час роботи.

3. Ввімкнення установки здійснювати лише з дозволу викладача.

Лабораторна робота № 2

ВИЗНАЧЕННЯ МАРКИ ФОРМУВАЛЬНОЇ ГЛИНИ

Мета роботи – ознайомитись з методикою визначення марки формувальної глини. Вивчити класифікації формувальних глин за міцністю, колоїдальністю, вмістом шкідливих домішок, пластичністю, довговічністю та зерновим складом.

2.1. Теоретичні відомості

У формувальних сумішах основним зв'язуючим матеріалом є формувальні глини (ГОСТ 3226–93).

Властивості і склад формувальних глин наведені в табл.2.1.

Таблиця 2.1 – Марки та властивості формувальних глин

Марка	Межа міцності при стисненні, МПа, не менше		Вміст шкідливих домішок		
	у вологому стані	в сухому стані	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O+K ₂ O	CaO+MgO
1	2	3	4	5	6
		<u>Бентонітові</u>			
БП1Т ₂	0,13	0,54	4,5	3,0	5,0
БП1Т ₃	0,13	0,54	8,0	5,0	8,0
БП2Т ₂	0,13	0,34	4,5	3,0	5,0
БП2Т ₃	0,13	0,34	8,0	5,0	8,0
БП3Т ₂	0,13	0,29	4,5	3,0	5,0
БП3Т ₃	0,13	0,29	8,0	5,0	8,0
БС1Т ₂	0,11	0,54	4,5	3,0	5,0
БС1Т ₃	0,11	0,54	8,0	5,0	8,0

Продовження таблиці 2.1 – Марки та властивості формувальних глин

1	2	3	4	5	6
БС2Т ₂	0,11	0,34	4,5	3,0	5,0
БС2Т ₃	0,11	0,34	8,0	5,0	8,0
БМ2Т ₂	0,9	0,34	4,5	3,0	5,0
БМ2Т ₃	0,9	0,34	8,0	5,0	8,0
БМ3Т ₂	0,9	0,29	4,5	3,0	5,0
БМ3Т ₃	0,9	0,29	8,0	5,0	8,0
Каолінові та каоліно-гідрослюдисті глини					
КП1Т ₁	0,11	0,44	2,5	1,5	2,0
КП1Т ₂	0,11	0,44	4,5	3,0	5,0
КП2Т ₁	0,11	0,29	2,5	1,5	2,0
КП2Т ₂	0,11	0,29	4,5	3,0	5,0
КП3Т ₁	0,11	0,20	2,5	1,5	2,0
КП3Т ₂	0,11	0,20	4,5	3,0	5,0
КС1Т ₁	0,8	0,44	2,5	1,5	2,0
КС1Т ₂	0,8	0,44	4,5	3,0	5,0
КС2Т ₁	0,8	0,29	2,5	1,5	2,0
КС2Т ₂	0,8	0,29	4,5	3,0	5,0
КС3Т ₁	0,8	0,20	2,5	1,5	2,0
КС3Т ₂	0,8	0,20	4,5	3,0	5,0
КМ2Т ₁	0,5	0,29	2,5	1,5	2,0
КМ2Т ₂	0,5	0,29	4,5	3,0	5,0
КМ3Т ₁	0,5	0,20	2,5	1,5	2,0
КМ3Т ₂	0,5	0,20	4,5	3,0	5,0
Полімінеральні глини					
ПС1Т ₁	0,008	0,44	2,5	1,5	2,0
ПС1Т ₂	0,008	0,44	4,5	3,0	5,0
ПС2Т ₁	0,008	0,29	2,5	1,5	2,0
ПС2Т ₂	0,008	0,29	4,5	3,0	5,0

Продовження таблиці 2.1 – Марки та властивості формувальних глин

1	2	3	4	5	6
ПСЗТ ₁	0,08	0,20	2,5	1,5	2,0
ПСЗТ ₂	0,008	0,20	4,5	3,0	5,0
ПМЗТ ₁	0,005	0,29	2,5	1,5	2,0
ПМЗТ ₂	0,005	0,29	4,5	3,0	5,0
ПМЗТ ₁	0,005	0,20	2,5	1,5	2,0
ПМЗТ ₂	0,005	0,20	4,5	3,0	5,0

Формувальні глини за мінералогічним складом поділяють на чотири види: бентонітові (монтморилонітові), каолінові, каоліно-гідрослюдисті і полімінеральні. Найбільш широко в ливарному виробництві застосовують бентонітові глини.

Класифікація формувальних глин за межею міцності при стисненні представлена в табл.2.2. Межа міцності визначається за ГОСТ 3594.6–93.

Таблиця 2.2 – Класифікація формувальних глин за міцністю

Група і підгрупа	Межа міцності глини при стисненні, МПа, не менше	
	бентонітової	каолінової, каоліно- гідрослюдистої, полімінеральної
У вологому стані (група)		
Міцно зв'язуюча (П)	0,13	0,11
Середньо зв'язуюча (С)	0,11	0,08
Мало зв'язуюча (М)	0,09	0,05
У сухому стані (підгрупа)		
Міцно зв'язуюча (1)	0,54	0,44
Середньо зв'язуюча (2)	0,34	0,29
Мало зв'язуюча (3)	0,29	0,20

Класифікація формувальних глин за колоїдальністю наведена в табл.2.3. Колоїдальність визначають за ГОСТ 3594.10–93.

Таблиця 2.3 – Класифікація глин за колоїдальністю

Група	Колоїдність глини, % за масою, не менше	
	бентонітової	каолінової, каоліно- гидрослюдистої, полімінеральної
Високо колоїдальна (В)	90	60
Середньо колоїдальна (С)	50	30
Низько колоїдальна (Н)	25	Не нормується

Вогнетривкість глин залежать від їх мінералогічного складу. Каолінові глини мають вогнетривкість 1400...1750 °С, гідрослюдисті – 1200...1350 °С і бентонітові – 1150...1250 °С. Вогнетривкість глин визначають за ГОСТ 4071–80.

В залежності від вмісту шкідливих домішок глини поділяють за термічною стійкістю на три групи (табл. 2.4).

Таблиця 2.4 – Класифікація глин за вмістом шкідливих домішок

Група	Вміст домішок	Частка шкідливих домішок, %, за масою, не більше		
		Fe ₂ O ₃	Na ₂ O+K ₂ O	CaO+MgO
T1	Низький	2,5	1,5	2,0
T2	Середній	4,5	3,0	5,0
T3	Високий	8,0	5,0	8,0

Глини піддають контролю на пластичність (за ГОСТ 21216–2014), довговічність (за ГОСТ 3594.8–93), та зерновий склад (за ГОСТ 3594.12–93).

Марки глини позначають наступним чином. Наприклад, марка глини БП1Т₂ означає, що це бентонітова глина (Б), міцно зв'язуюча (П) у вологому стані, міцно зв'язуюча (1) в сухому стані, за вмістом шкідливих домішок (Т₂) глина має середній вміст; КП1Т₁ – каолінова (К), міцно зв'язуюча (П) у вологому стані, міцно зв'язуюча (1) в сухому стані, вміст шкідливих домішок (Т) низький; ПМЗТ₁ – полімінеральна глина (П), мало зв'язуюча у вологому стані (М) , мало зв'язуюча (3) в сухому стані, з низьким вмістом шкідливих домішок (Т).

Щоб визначити марку глини, необхідно виміряти міцність глини при стисненні в сирому і сухому стану, а також вміст шкідливих домішок.

2.2. Методика визначення марки формувальної глини

Для визначення міцності глини в сирому і сухому стані в лабораторних бігунах готують формувальні суміші складів А і Б.

Рецептури сумішей наступні:

Суміш А

1. Сухий кварцовий пісок К02А або К02Б	90 % (1800 г)
2. Випробувана глина, висушена і просіяна через сито 0315	10 % (200г)
3. Вода понад 100 %	3,5 % (70 г)

Суміш Б

1. Сухий кварцовий пісок марки К02А або К02Б	95 % (1900 г)
2. Випробувана глина, висушена і просіяну через сито 0315	5 % (100 г)
3. Вода понад 100%	6,5 % (130 г)

Технологія приготування суміші та виготовлення зразків приведена в лабораторній роботі № 5 (див. далі).

Частину сирих зразків (не менше трьох) піддають випробуванню на міцність, а іншу частину (також не менше трьох) поміщають в нагріту до 180...200 °С сушильну шафу і сушать протягом 1,5 год. Після закінчення сушіння й охолодження зразків до кімнатної температури їх випробовують. Сирі та сухі зразки випробовують за методикою, наведеною в лабораторних роботах № 6,7 (див. далі).

Показником межі міцності суміші є середнє арифметичне значення з випробувань трьох зразків.

2.3. Необхідне обладнання, інструменти та матеріали

Лабораторні бігуни, лабораторний копер, прилад для визначення міцності суміші в сирому і сухому стані на стиснення, прилад для визначення міцності суміші в сирому і сухому стані на розтяг, сушильна шафа, технічні ваги з набором гирьок, металева гільза з внутрішнім діаметром $50 \pm 0,2$ мм, виштовхувач діаметром $50^{-0,5}$ мм, мензурка, годинник, коробка для суміші, лист щільного паперу, совок, сухий кварцевий пісок марки K02A або K02Б, досліджувана глина.

2.4. Порядок виконання роботи

1. Приготувати суміш складу А.
2. Визначити межу міцності суміші при стисненні в сирому стані.
3. Приготувати суміш складу Б.
4. Висушити зразки в сушильній шафі при температурі 180...200 °С протягом 1,5 ч.
5. Визначити межу міцності суміші при стисненні в сухому стані.

2.5. Зміст звіту

Звіт повинен містити: стислий опис методики випробувань; схеми установок і приладів, що застосовуються в роботі (лабораторні бігуни, лабораторний копер, прилад для визначення міцності суміші в сирому і сухому стані на стиснення, прилад для визначення міцності суміші в сирому і сухому стані на розтяг) та принцип їх роботи; показники міцності суміші в сирому і сухому станах; марку формувальної глини); висновки.

2.6. Техніка безпеки

1. Вмикати і вимикати бігуни дозволяється лише з дозволу викладача.
2. Категорично забороняється брати руками суміш з бігунів при їх роботі, а також торкатися рухомих частин бігунів.
3. Очистку бігунів робити лише при вимкненому головному вимикачі.
4. При виготовленні зразків остерігатись ударів копра, не підставляти пальці під вантаж копра.

Лабораторна робота № 3

ВИЗНАЧЕННЯ ВОЛОГОСТІ СУМІШЕЙ

Мета роботи – ознайомитись з методикою визначення вологості формувальних і стержневих сумішей. Вивчити вплив вологості на основні технологічні властивості сумішей: газотворність, газопроникність, міцність, обсіпальність, ущільнювальна здатність, здатність до висихання.

3.1. Теоретичні відомості

У формувальні і стержневі суміші додають воду в кількості, необхідній для забезпечення певних технологічних властивостей: міцності, пластичності, живучості, тощо. Зв'язуючі властивості багатьох органічних (сульфітна барда, декстрин, патока, тощо) і неорганічних (глина, цемент, рідке скло, тощо) матеріалів проявляються лише з додаванням води. В одних випадках вода утворює з ними колоїдні системи, в інших розчиняє їх, а в третіх – вода просочується в зв'язуючі матеріали, приводячи до їх набухання. У всіх випадках вода, сприяє рівномірному розподілу і збільшує міцність зчеплення (адгезію) зв'язуючого матеріалу з поверхнею зерен піску.

Крім того, вода, маючи порівняно високий поверхневий натяг, сама є в певній мірі зв'язуючим матеріалом. Тому вологість суміші є одним з найважливіших параметрів, що визначають властивості суміші і, як наслідок, якість форм та готових виливків.

Вологість на ті чи інші властивості суміші впливає по різному. З підвищенням вологості одні властивості суміші підвищуються, інші навпаки – погіршуються (рис. 3.1). Тому, при виборі вмісту води в суміші доводиться знаходити оптимальне рішення, при якому свідомо підвищуються одні властивості за рахунок інших. Для сумішей, які ущільнюють звичайними методами, вологість коливається в межах 2...8 % за масою.

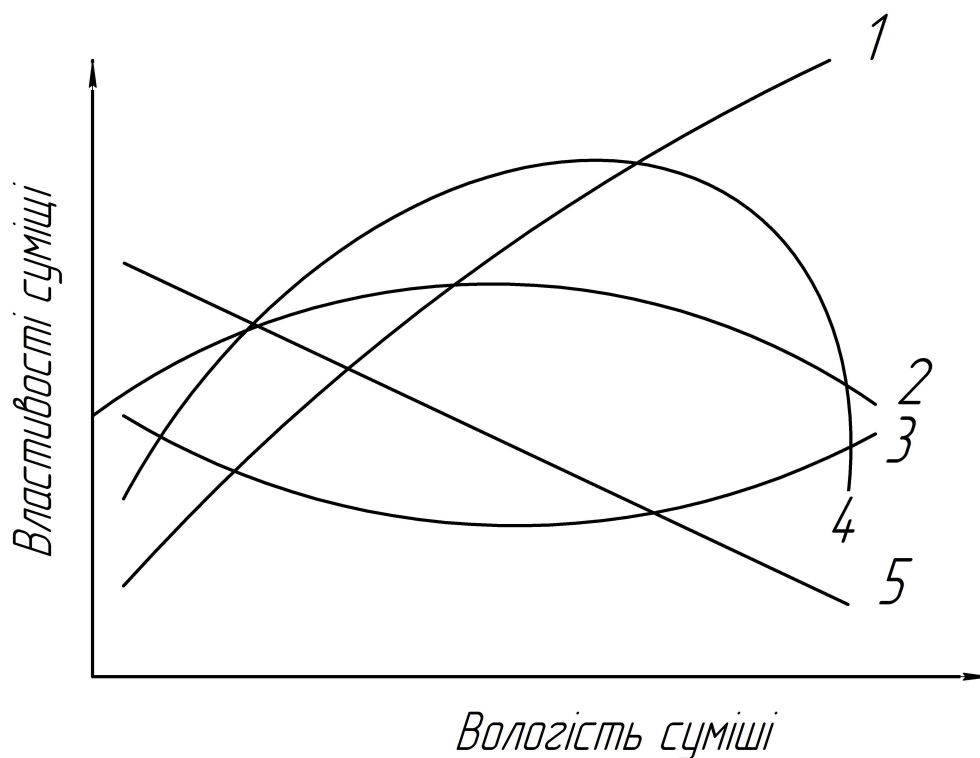


Рисунок 3.1 – Вплив вологості сумішей на їх технологічні властивості:

1 – газотворність; 2 – газопроникність; 3 – здатність до ущільнення;
4 – міцність при стисненні; 5 – здатність до висихання

У кожному конкретному випадку потрібно експериментально визначати оптимальний вміст води в суміші, при якому забезпечується найкраще співвідношення між її основними властивостями.

У ливарному виробництві прийнято дві групи методів визначення вологості формувальних і стержневих сумішей. До першої групи відносять методи безпосереднього визначення вологості фізичним або хімічним шляхом. До другої – непрямі методи, засновані на визначенні властивостей суміші, що залежать від вологості, або на вимірюванні інтенсивності протікання в суміші будь-яких процесів, залежних від вологості і викликаних дією якого-небудь зовнішнього чинника. Поняття "вологість суміші" часто охоплює вміст в ній води, що утримується фізико-хімічними і фізико-механічними зв'язками. Хімічно зв'язана вода не враховується, оскільки вона несуттєво впливає на фізико-механічні властивості сумішей.

Найбільш простим і поширеним є прямий метод визначення вологості суміші, заснований на розділенні вологого матеріалу на суху речовину і воду шляхом сушіння.

3.2. Зміст роботи

Зразок вологої суміші зважують з точністю до 0,01 г. Потім зразок суміші сушать в сушильній печі при температурі 105...110 °С до досягнення постійної маси, охолоджують до кімнатної (15...20 °С) температури і зважують. За втратою маси визначають вологість у % за масою. Процес сушіння вимагає порівняно тривалого часу, тому на практиці частіше використовують прискорену сушку при підвищеній температурі.

Вологість сумішей визначають нормальним і прискореним способами.

3.3. Необхідне обладнання, прилади, матеріали

Лабораторні бігуни; сушильна піч; прилад для прискореного визначення вологості; технічні ваги з набором гирьок; формувальні матеріали: кварцовий пісок, вогнетривка глина, зв'язуючі матеріали, вода.

3.4. Порядок виконання роботи

3.4.1. Нормальний метод

1. В лабораторних бігунах приготувати суміш А, або Б (див. попередню лабораторну роботу).
2. Зважити на терезах три зразки суміші масою $50 \pm 0,01$ г кожен і помістити їх в ретельно висушені і зважені порцелянові чашки або в скляні стакани.

3. Встановити чашки або стакани із зразками суміші в попередньо нагріту до 105...110 °С сушильну піч та просушити їх протягом 10 хв.
4. Після висушування зразки остудити на повітрі до температури 15...20 °С.
5. Зважити окремо кожен зразок суміші з точністю до 0,01 г.
6. Визначити вологість, суміші для кожного зразка за формулою:

$$W = \frac{G - G_1}{G} 100\%, \quad (3.1)$$

де G , G_1 – маса зразка суміші, відповідно, до і після сушіння.

7. Визначити середнє арифметичне значення вологості суміші.

3.4.2. Прискорений метод

1. Зважити на терезах $10 \pm 0,01$ г досліджуваної суміші.
2. Зразок суміші помістити на поворотний столик 1 приладу для прискореного визначення вологості (рис. 3.2).
3. Столик зі зразком суміші помістити під ковпак 2 з інфрачервоною лампою.
4. Сушити зразок суміші протягом 180 с до постійної маси.
5. Висушену суміш акуратно прибрати з поворотного столика і зважити.
6. За формулою (3.1) визначити вміст води в суміші.

Прискорений метод визначення вологості відрізняється від нормального лише інтенсифікацією процесу сушіння зразків при підвищеній (до 200 °С) температурі. Цей режим сушки здійснюється або шляхом інфрачервоного нагрівання зразків, або пропусканням через суміш підігрітого до 200 °С повітря.



Рисунок 3.2 – Прилад для прискороного визначення вологості сумішей:

1 – поворотний столик; 2 – ковпак з інфрачервоною лампою

Прискорений метод має такі недоліки:

1) зі зразка суміші завдяки підвищеній температурі сушіння видаляється не лише механічно утримувана вода, але і частина кристалізаційної (хімічно зв'язаної), а також деякі летючі речовини зв'язуючих матеріалів;

2) при пропусканні через суміш нагрітого повітря з проби видаляються (видуваються) дрібні частки, що спотворює показник вологості в бік збільшення;

3) пил, масло і волога, що містяться в повітрі, яке продувають через зразок, можуть конденсуватися в зразку, що призведе до спотворювання показника вологості в бік зменшення.

До переваг даного методу слід віднести швидкість визначення вологості суміші. Однак, в прискореному методі у порівнянні з нормальним дещо нижча точність.

3.5. Зміст звіту

Звіт повинен містити: короткі теоретичні відомості; опис проведення дослідів нормальним і прискореним методом; схеми установок і приладів, що застосовуються в роботі та принцип їх роботи; результати дослідів); висновки.

Результати визначення вологості сумішей зводять до табл. 3.1:

Таблиця 3.1 – Зразок протоколу випробувань

Склад суміші	Номер зразка	Маса зразка до сушки, г	Час сушки, хв	Температура сушки, °C	Маса зразка після сушки, г	Середня маса по трьох зразках, г	Середня вологість по трьох зразках, % за масою

3.6. Техніка безпеки

1. Вмикати і вимикати бігуни дозволяється лише з дозволу викладача.
2. Категорично забороняється брати руками суміш з бігунів при їх роботі, а також торкатися рухомих частин бігунів.
3. Очистку бігунів робити лише при вимкненому головному вимикачі.
4. При установці зразка суміші в сушильну піч необхідно користуватися рукавицями.
5. Всі операції виконують лише з дозволу викладача.

Лабораторна робота № 4

ВИЗНАЧЕННЯ ГАЗОТВОРНОЇ ЗДАТНОСТІ СУМІШЕЙ

Мета роботи – вивчити будову та принцип роботи приладу для визначення газотворної здатності сумішей; ознайомитися з методикою випробування; ознайомитись з факторами, які впливають на газотворну здатність сумішей.

4.1. Теоретичні відомості

Газотворною здатністю формувальної або стержневої суміші називають їх здатність виділяти гази при нагріванні. Причиною газоутворення є наступні процеси, що відбуваються в ливарній формі при заливці її металом:

- 1) випаровування вологи та інших рідких продуктів, що містяться в сумішах. При використанні сирих форм і стержнів волога є головним джерелом газів;
- 2) згорання різних органічних матеріалів, що входять до складу сумішей;
- 3) газифікація і суха перегонка різних твердих і рідких матеріалів при високих температурах;
- 4) виділення хімічно зв'язаної конституційної, кристалізаційної і цеолітної води, що входить до складу мінералів;
- 5) утворення газів на поверхні розділу метал – форма в результаті протікання різних хімічних реакцій між металом і матеріалами форми;
- 6) виділення при зниженні температури вилівка газів, що розчинені в металі;
- 7) розкладання мінералів (термічна дисоціація), що входять до складу сумішей, з виділенням газів;
- 8) дисоціація газів, що виділяються при високій температурі.

Причиною всіх перерахованих джерел газоутворення є різні за своєю природою фізичні і хімічні процеси, які називаються одним умовним терміном – газоутворення.

Газотворна здатність сумішей визначається двома принципово різними методами. До першого відносять різні непрямі методи, які засновані на вимірюванні об'єму газів, що виділяються зі зразка суміші, що піддається дії високої температури (750...1200°C) в електричній печі. Другий метод включає в себе прямі способи, засновані на максимальному наближенні умов газоутворення суміші до умов в ливарній формі при її заливанні металом.

Найбільш поширений непрямий метод газифікації зразка суміші в спеціальній трубчастій печі. Цей спосіб характеризується тим, що об'єм газів, зібраних в спеціальній бюретці, приводиться до нормальних умов, а їх тиск залишається постійним.

4.2. Зміст роботи

Газотворну здатність сумішей прямим методом визначають приладом, принципова схема якого показана на рис.4.1.

Прилад складається з трубчастої електричної печі 1 (піч Марса) із вставленою в центрі кварцевою або порцеляною трубкою 2 з внутрішнім діаметром 18...20 мм. Один кінець трубки закривається пробкою, а інший з'єднується з водоохолоджуваною мірною бюреткою 9. Зразок суміші масою $3 \pm 0,01$ г поміщують в порцеляновий човник для зразків 3, який встановлюють в трубку при досягненні в ній температури 1000...1200 °C (температуру визначають за показниками гальванометра 5 і термопари 6). Температуру в печі регулюють реостатом 4.

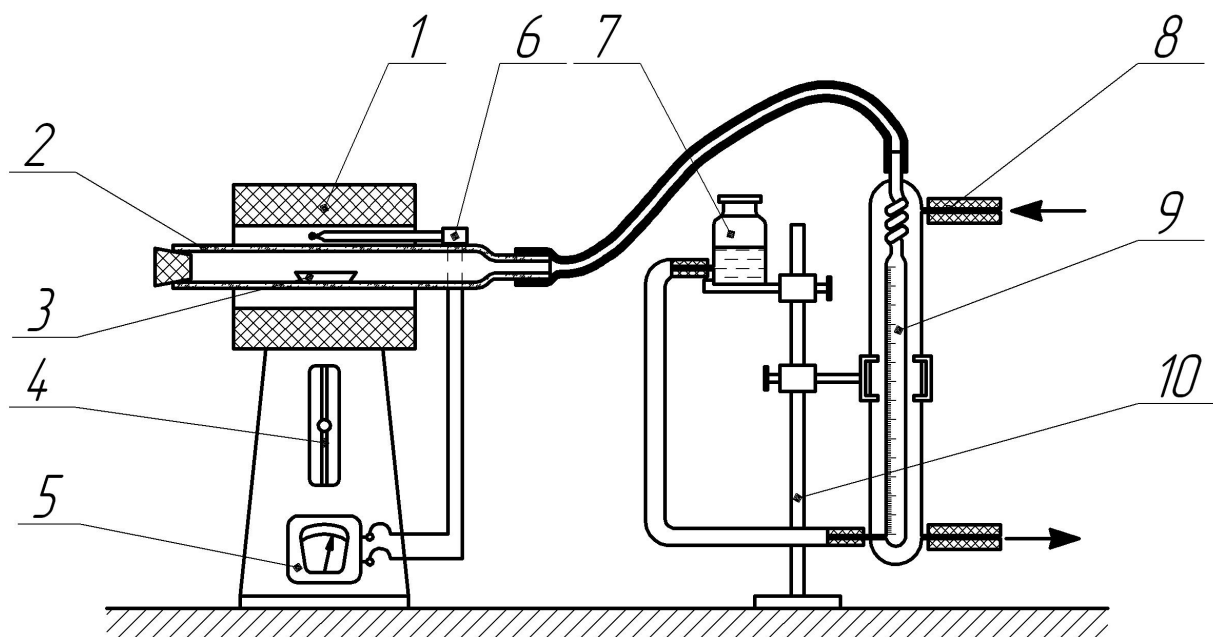


Рисунок 4.1 – Установка для визначення газотворної здатності у сумішей:
 1 – трубчаста електрична піч; 2 – кварцева трубка; 3 – порцеляновий човник;
 4 – реостат; 5 – гальванометр; 6 – термопара; 7 – компенсаційна посудина;
 8 – штуцер подачі охолоджуваної води; 9 – водоохолоджувана мірна
 бюретка; 10 - штатив

Газ, що виділяється зі зразка суміші при нагріванні, надходить в мірну водоохолоджувану бюретку, витісняє з неї воду у компенсаційну посудину 7, закріплену так само, як і мірна бюретка, на штативі 10. Для забезпечення постійності тиску при проведенні випробування, посудина 7 повинна поступово опускатися, щоб нівелювати рівень води в бюретці і компенсаційній посудині, оскільки газ, що виділяється зі зразка суміші витісняє воду з бюретки в компенсаційну посудину. Приведення газів до нормальних умов відбувається в результаті їх охолодження в бюретці водопровідною трубою 8 і нівелюванням рівня води в сполучених посудинах.

4.3. Необхідне обладнання, прилади та матеріали

Лабораторні бігуни; формувальний пісок; вогнетривка глина; зв'язуючі матеріали; вода; технічні ваги з набором гирьок; лопатка для взяття суміші;

порцелянові човники; секундомір; гачок для установки човника в піч і його виймання після проведення досліду.

4.4. Порядок виконання роботи

1. В лабораторних бігунах приготувати суміш А, або Б (див. лабораторну роботу № 2).

2. Взяти наважку $3 \pm 0,01$ г суміші та помістити її в попередньо прожарений при температурі $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ і охолоджений порцеляновий човник.

3. Човник з сумішшю встановити в кварцеву трубку печі Марса, нагріту до $1000\ldots 1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ і швидко закрити отвір пробкою.

4. Засікти час установки наважки в піч за секундоміром.

5. Перед початком випробування рівень води в бюретці повинен бути на позначці "нуль".

6. За шкалою на бюретці секундоміром відлічують об'єм витісненої води за прийняті проміжки часу: 15, 30, 45, 60 с і т.д. По мірі витіснення води з бюретки повинна опускатися компенсаційна посудина так, щоб вода в бюретці і посудині була на одному рівні. Прилад обслуговують дві людини.

7. Випробування проводять протягом $5\ldots 10$ хв або до моменту повного припинення процесу газовиділення.

8. Суміш випробовують 3 рази і беруть середнє значення газотворної здатності суміші.

9. Отриманий середній об'єм виділених газів ділять на середню масу зразків суміші і визначають питому газотворну здатність суміші в $\text{см}^3 / \text{г}$.

10. За результатами випробувань будують графік швидкості газоутворення в координатах: кількість виділилися газів в кубічних сантиметрах, час у хвилинах (рис.4.2).

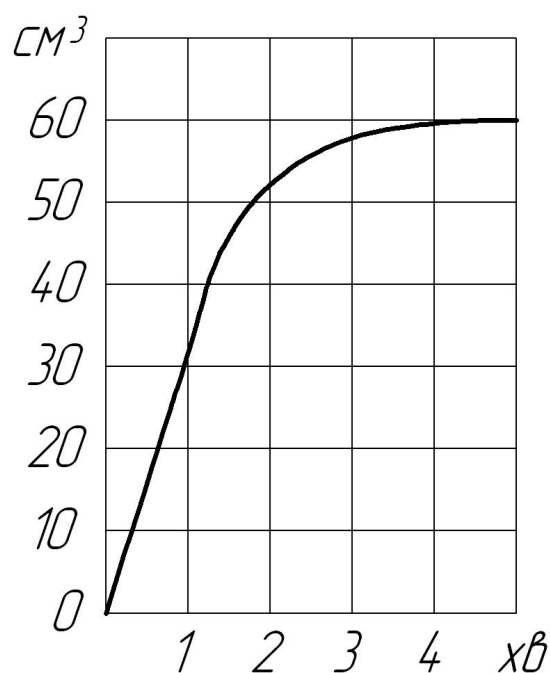


Рисунок 4.2 – Графік залежності швидкості газоутворення

4.5. Зміст звіту

Звіт повинен містити: короткі теоретичні відомості; схему установки для визначення газотворної здатності суміші і принцип її роботи; результати дослідів у вигляді протоколу випробувань (табл. 4.1) і графіку швидкості газоутворення (рис. 4.2); висновки.

Таблиця 4.1 – Зразок протоколу випробувань

Склад суміші	Номер проби	Маса проби, г	Кількість виділених газів, см³, через			Абсолютна газотворність, см³	Питома газотворність, см³ / г
			15 с	30 с	45 с		

4.6. Техніка безпеки

1. Вмикати і вимикати бігуни дозволяється лише з дозволу викладача.
2. Категорично забороняється брати руками суміш з бігунів при їх роботі, а також торкатися рухомих частин бігунів.
3. Очистку бігунів робити лише при вимкненому головному вимикачі.
4. Перед вмиканням печі Марса перевірити справність заземлення.
5. При установці човники з наважкою суміші в порцелянову трубку печі Марса необхідно користуватися рукавицями.
6. Всі операції виконують лише з дозволу викладача.

Лабораторна робота №5

ВИЗНАЧЕННЯ ГАЗОПРОНИКНОСТІ ФОРМУВАЛЬНИХ СУМІШЕЙ

Мета роботи – вивчити будову і принцип роботи приладу для визначення газопроникності формувальних і стержневих сумішей; ознайомитись з методикою визначення газопроникності сумішей.

6.1. Теоретичні відомості

Газопроникність – це здатність формувальних і стержневих сумішей пропускати через себе газу.

Газопроникність суміші визначають пропусканням через циліндричний стандартний зразок певного об'єму повітря під тиском 100 мм вод. ст.

Число газопроникності K за стандартним методом розраховують за формулою:

$$K = \frac{Q \cdot l}{F \cdot t \cdot p}, \quad (5.1)$$

де K – число газопроникності, см /хв; Q – кількість повітря, що пройшло через зразок, см³; l – висота зразка, см; F – площа поперечного перерізу зразка, см; t – час, протягом якого через зразок пройшло Q см³ повітря, хв; p – тиск, під яким повітря проходило через зразок, см. вод. ст.

За стандартом беруть $Q = 2000$ см³; $l = 5$ см; $F = 19,63$ см².

Тоді,

$$K = \frac{2000 \cdot 5}{19.63 \cdot p \cdot t} = \frac{509,5}{pt}, \text{ см / хв.} \quad (5.2)$$

5.2. Зміст роботи

Газопроникність сумішей визначають за допомогою приладу (рис.5.1) на стандартному циліндричному зразку (рис. 5.2), що виготовляють з досліджуваної суміші на лабораторному копрі (рис. 5.3).

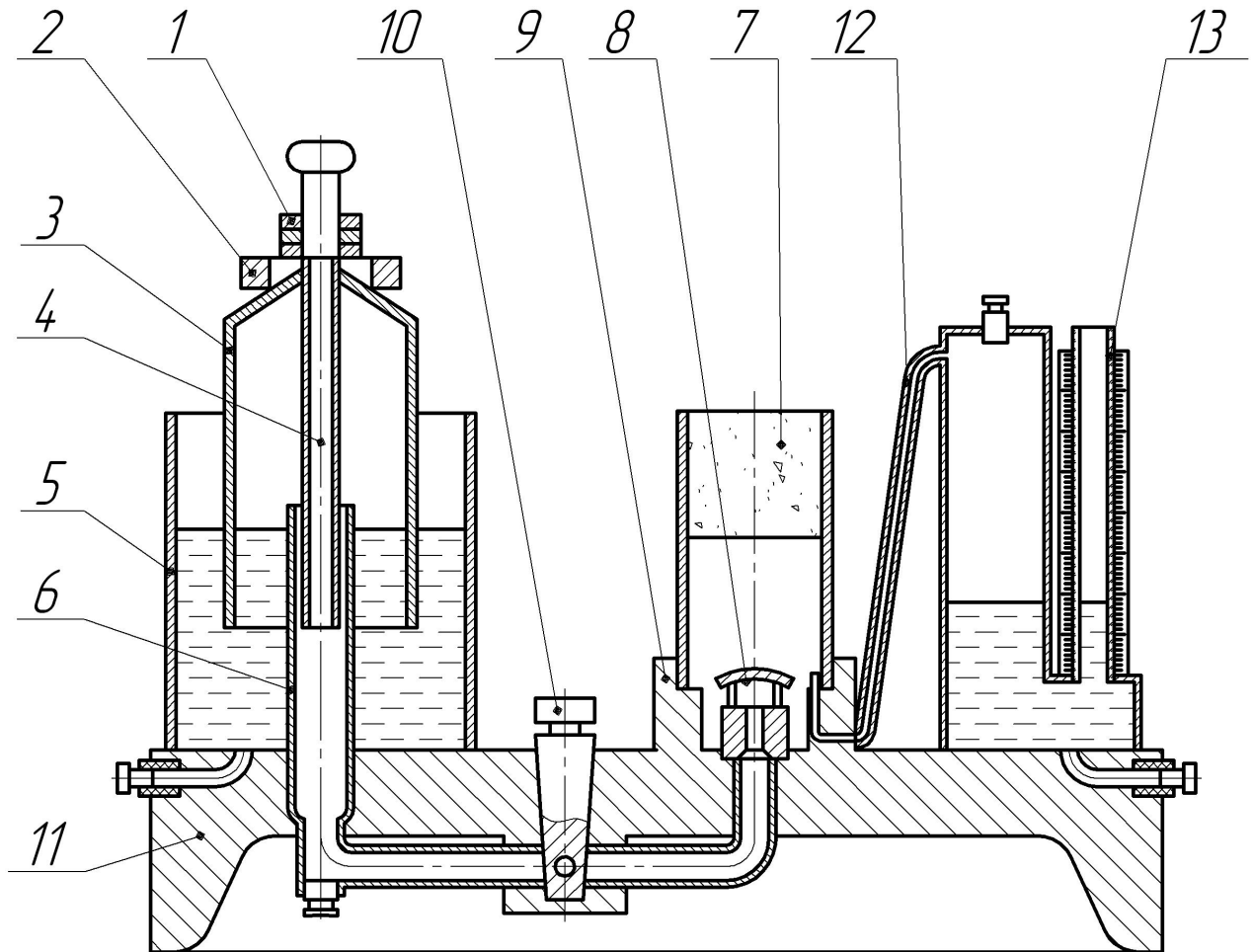


Рисунок 5.1 – Прилад для визначення газопроникності сумішей

Суміш для випробувань готують в лабораторних бігунах. Для приготування суміші необхідно зважити в заданій кількості сипучі компоненти, засипати їх в бігуни і перемішувати в незволоженому стані 2...3 хв, після чого додати необхідну кількість води і зв'язуючих матеріалів. Зволожену суміш ретельно перемішувати в протягом 3...8 хв, після чого суміш готова до випробування.

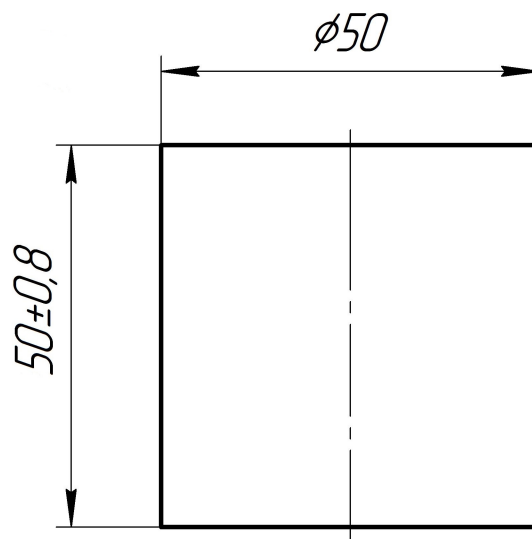


Рисунок 5.2 – Стандартний зразок для визначення газопроникності сумішей

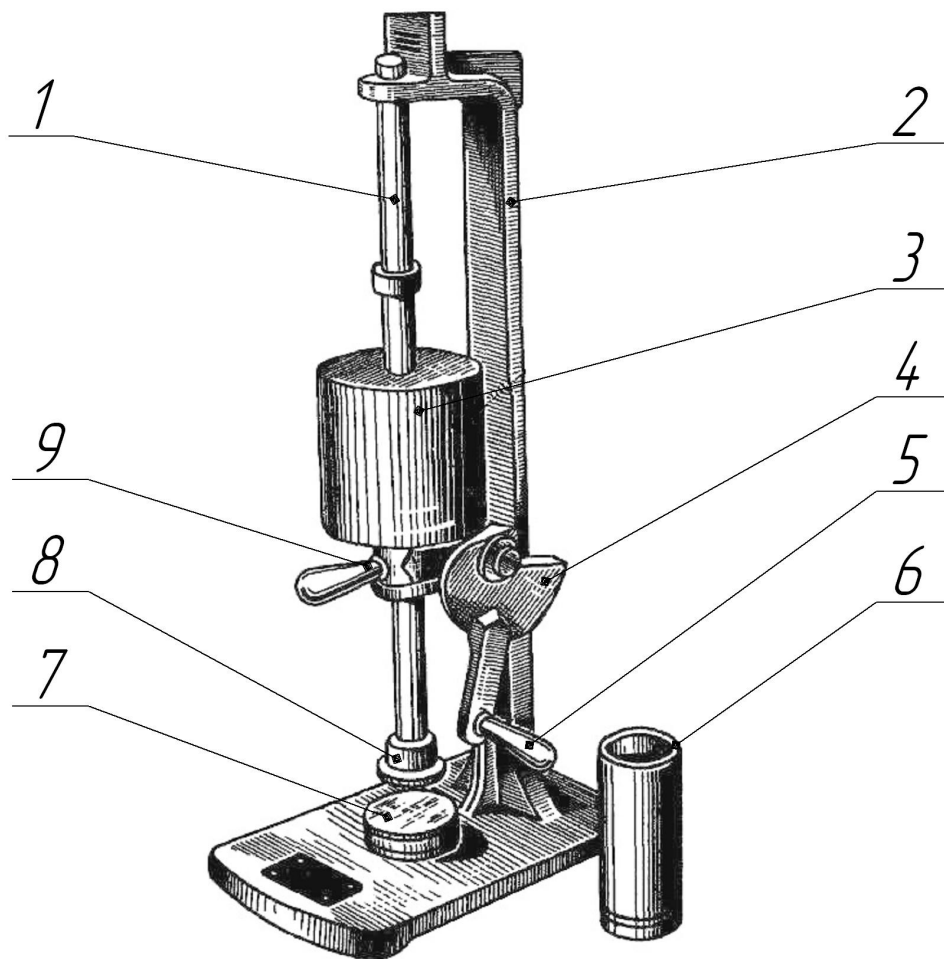


Рисунок 5.3 – Лабораторний копер для виготовлення зразків

Лабораторний копер (рис. 5.3) для виготовлення стандартних зразків складається зі станини 2, яку отримують методом лиття суцільно з

кронштейном і вертикальним верхнім ребром жорсткості. Через кронштейн пропущений шток 1, на якому вільно надітий вантаж 3, який можливість підніматися на постійну висоту до контрольного кільця за допомогою равлики 4. На нижньому кінці штока 1 закріплений бойок 8.

Рух вантажу вниз обмежується закріпленням на штоку 1 підйомником 9. За допомогою ручки 5 здійснюється підйом штока з вантажем. Потім встановлюється гільза 6 з чашечкою, яка центрується в станині циліндричним шипом.

Для виготовлення зразка необхідно виконати наступні операції:

- 1) насипати в закриту знизу чашечкою гільзу приблизно 175 г суміші;
- 2) підйомником підняти шток і вантаж, після чого в станину копра вставити чашечку разом з гільзою і насипаною в неї сумішшю;
- 3) без поштовхів, плавно опустити бойок штока в гільзу до дотику його з насипаною туди сумішшю;
- 4) триразовим обертанням рукоятки равлика здійснити триразове падіння вантажу, чим і досягається стандартне ущільнення зразка.

Після триразового падіння вантажу висота зразка повинна бути рівною 50 мм з допустимим відхиленням $\pm 0,8$ мм. Цим розмірам відповідають три риси на штоку копра.

Якщо риска на станині копра після ущільнення виходить за межі крайніх рисок на штоку, зразок необхідно видалити з гільзи, як непридатний для випробування і виготовити новий зразок;

5) після третього удару вантажу і перевірки відповідності риси на станині з рисками на штоку, бойок виймають з гільзи. Потім гільза з чашкою знімається з підставки копра і вже після цього з гільзи знімається чашечка. Ущільнений зразок в гільзі готовий для випробування на газопроникність.

Прилад для визначення газопроникності сумішей (рис.5.1) складається з чавунної підставки 11, на якій закріплений бак 5 з трубою 6. У середині бака поміщається дзвін 3. Дзвін має трубку 4. При опусканні дзвона в бак

трубка 4 входить в трубку 6. На поверхні дзвона є відмітки "2000", "1000", "0" та "X"

Зверху дзвін навантажений з'ємним вантажем 2. Для більш точного регулювання маси дзвона на його верхній частині встановлюють вантажі 1.

Принцип дії приладу полягає в тому, що дзвін, опущений в наповнений водою бак, тисне своєю масою і масою встановленого вантажу на закриті в об'ємі дзвону повітря, створюючи статичний тиск, рівний 100 мм вод. ст., і змушує його проходити по повітропроводу через триходовий кран 10 в гільзу із зразком 7. Гільза в свою чергу з'єднана повітропроводом 12 з рідинним манометром 13. Чим менше газопроникність зразка, тим більшими будуть показники манометра.

До початку випробування в бак 5 наливають воду, після чого опускають дзвін 3. Кран 10 регулює потік повітря:

- 1) при положенні крана "закрито" повітря із під дзвона не виходить;
- 2) при положенні крана "відкрито" повітря випускається з приладу;
- 3) при положенні крана "випробування" повітря прямує через повітропровід в гільзу зі зразком, вставлену в чашку затвора 9.

У чашці затвора на кінці повітропроводу є нарізка, на яку надівається калібрувальний ніпель 8 з отвором діаметром 0,5 або 1,5 мм.

Порожнина в чашці затвора під досліджуванним зразком з'єднана повітропроводом 12 з рідинним манометром 13.

Перед визначенням газопроникності прилад необхідно відрегулювати та налаштувати:

- 1) за допомогою регулювальних гвинтів на станині за рівнем встановити горизонтальне положення приладу;
- 2) налити воду в бак 5 до рівня 120 мм нижче верхньої кромки;
- 3) налити воду в манометр до позначки "0". При цьому, перевірку рівня води на відмітці "0" необхідно проводити після того, як з поверхні трубки манометра стече вода, після чого встановити нульове положення регулюванням шкали;

4) відрегулювати положення дзвона, виконавши такі дії: поставити кран 10 в положення "закрито"; плавно, без поштовхів опустити дзвін у бак (в воду); при цьому верхня кромка бака повинна знаходитися проти позначки «Х» на дзвоні, що досягається доливанням або зменшенням об'єму води в баку;

5) відрегулювати масу дзвона, опущеного в бак при закритому крані 10, виконавши такі дії: вставити в чашку затвора порожню гільзу і верхній отвір гільзи герметично закрити долонею або спеціальною пробкою; поставити кран в положення "іспит", при цьому в манометрі 13 тиск повинен дорівнювати 10 см вод. ст.;

6) перевірити калібровані ніпелі, виконавши такі дії: надіти на кінець повітропроводу ніпель з отвором 0,5 мм. Поставити кран у положення "іспит". Тривалість опускання дзвона від відмітки «0» до позначки «2000» повинна бути рівною 4,5 хв; замінити ніпель з отвором 0,5 мм на ніпель з отвором 1,5 мм і повторити те ж саме. Тривалість опускання в цьому випадку повинна бути рівна 30 с.

7) поставити кран в положення "відкрито", дзвін при цьому опуститься до дна.

Після налагодження і регулювання приладу виготовляють стандартні зразки і піддають їх випробуванню на газопроникність. Після визначення газопроникності зразки піддають випробуванню на міцність суміші в сирому стані.

Газопроникність знаходять прискореним або нормальним методом.

Визначення газопроникності формувальної суміші за прискореним методом здійснюють в такій послідовності:

1) плавно підняти дзвін до позначки "Х" і поставити кран в положення "закрито";

2) надіти на кінець повітропроводу калібрований ніпель;

3) вставити в чашку затвора гільзу зі зразком, який виготовлено із досліджуваної суміші та стандартно ущільнено на лабораторному копрі;

4) поставити кран в положення "випробування" і при опусканні дзвона зафіксувати показання манометра. Газопроникність визначається залежно від показань манометра за спеціальною таблицею. При відсутності таблиці газопроникність можна розрахувати за наступними формулами:

$$\text{- для ніпеля діаметром 0,5 мм} \quad K_{0,5} = 35,2 \frac{10 - p}{p} \quad (5.2)$$

$$\text{- для ніпеля 0 1,5 мм} \quad K_{1,5} = 317 \frac{10 - p}{p} \quad (5.3)$$

- 5) випробування на газопроникність проводять на трьох зразках;
- 6) підрахувати середнє значення газопроникності;
- 7) порівняти показники газопроникності кожного випробування із середнім значенням.

Якщо хоча б один з показників відрізняється від середнього на 10% і більше, весь цикл випробувань з трьома зразками необхідно повторити.

Визначення газопроникності формувальної суміші за нормальним методом здійснюють в такій послідовності:

- 1) поставити кран 10 в положення "відкрито", плавно підняти дзвін до позначки «X» та поставити кран в положення "закрито";
- 2) вставити в чашку затвора гільзу зі зразком;
- 3) поставити кран в положення "іспит", при цьому дзвін почне опускатися. У момент проходження позначки "0" включити секундомір. У момент проходження позначки "2000" зафіксувати показання манометра;
- 4) в момент переходу дзвоном відмітки "2000" зупинити секундомір;
- 5) розрахувати газопроникність за формулою (5.1);
- 6) випробування на газопроникність проводять на трьох зразках;
- 7) підрахувати середнє значення газопроникності;
- 8) порівняти показники газопроникності кожного випробування із середнім значенням.

Для випробування сумішей на газопроникність в сухому стані зразки 1, попередньо висушені при температурі 180...200 °С впродовж 1,5 години і охолоджені до кімнатної температури 20 °С, встановлюють з натягом в еластичну трубку 2, один кінець якої щільно з'єднується з затвором 4 (рис. 5.4). На практиці застосовують кілька спеціальних приладів для вимірювання газопроникності сухих зразків, однак вони досить складні. Тому рекомендується простий спосіб вимірювання газопроникності зразка в сухому стані без спеціальних приладів. Він полягає в тому, що зразок не виймається після його виготовлення з гільзи, а сушиться разом з нею. Стінки гільзи перед виготовленням зразка змащують воском або стеарином, що запобігає утворенню зазору між зразком і стінками гільзи.

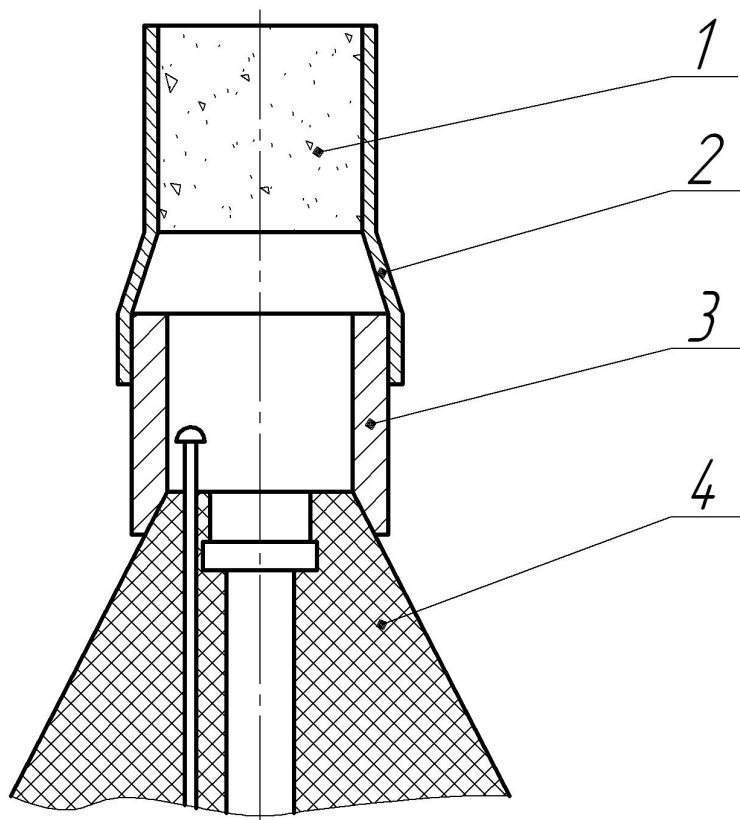


Рисунок 5.4. – Визначення газопроникності сумішей в сухому стані

5.3. Необхідне обладнання, прилади та матеріали

Лабораторні бігуни; лабораторний копер; гільза з чашкою; прилад для визначення газопроникності; секундомір; лінійка; вода; формувальний пісок; формувальна глина; зв'язуючі матеріали; тара для сумішей; мірний стакан; ваги технічні з набором гирьок.

5.4. Порядок виконання роботи

1. Провести налаштування і регулювання приладу для визначення газопроникності сумішей.
2. Приготувати на лабораторних бігунах три склади формувальної суміші з різною кількістю глини.
3. Виготовити на лабораторному копрі стандартні зразки по три для кожного складу формувальної суміші.
4. Визначити газопроникність суміші кожного складу при трьох ударах копра.
5. Для суміші одного з замісів визначити газопроникність при трьох, чотирьох, п'яти і шести ударах копра.
6. Побудувати графік залежності газопроникності формувальної суміші від кількості у формувальній суміші глини та графік залежності газопроникності формувальної суміші від кількості ударів копра при ущільненні зразка.

5.5. Зміст звіту

Звіт повинен містити: короткі теоретичні відомості; схему приладу для визначення газопроникності лабораторного копра, ескіз стандартного зразка; опис методики випробування; результати дослідів, проведених прискореним і нормальними методами у вигляді протоколу випробувань (табл. 5.1) та

графічних залежностей газопроникності формувальної суміші від ступеня ущільнення (числа ударів копра при ущільненні) та кількості глини; висновки.

5.6. Техніка безпеки

1. Вмикати і вимикати бігуни лише з дозволу викладача.
2. Суворо забороняється брати руками формувальну суміш з бігунів при їх роботі.
3. Чистити бігуни тільки при вимкненому головному вимикачі.
4. При роботі на копрі бути уважним і не підкладати пальці під вантаж копра.

Таблиця 5.1 – Зразок протоколу випробувань

№	Вміст вологи, %	Газопроникність при ударах копра																											
		Заміс 1												Заміс 2				Заміс 3											
		Вміст глини, %	3 удари			Середня	4 удари			Середня	5 ударів			Середня	6 ударів			Середня	Вміст глини, %	3 удари			Середня	Вміст глини, %	3 удари			Середня	
			зразки				зразки				зразки				зразки					зразки					зразки				
		1	2	3		1	2	3		1	2	3		1	2	3		1	2	3		1	2	3		1	2	3	

Лабораторна робота № 6

ВИЗНАЧЕННЯ МІЦНОСТІ ФОРМУВАЛЬНИХ І СТЕРЖНЕВИХ СУМІШЕЙ НА СТИСНЕННЯ

Мета роботи – вивчити будову і принцип роботи приладів для визначення міцності сумішей на стиснення; оволодіти методикою випробування сумішей на міцність при стисненні в сирому і сухому стані; вивчити вплив ступеня ущільнення, часу перемішування, вологості і кількості глини на міцність сумішей при стисненні в сирому стані.

6.1. Теоретичні відомості

Міцністю форм і стержнів називається здатність їх не руйнуватися від впливу зовнішніх статичних і динамічних навантажень.

Міцність – одна з найважливіших властивостей суміші. Міцність визначається в сирому і сухому стані.

Форми і стержні під час збирання, транспортування, зберігання, заливки піддаються впливу стискаючих, розтягуючих, згинаючих та інших видів навантажень.

У даній лабораторній роботі визначають здатність ущільненої суміші в сирому і сухому стані не руйнуватися під дією стискаючого навантаження.

Здатність ущільненої сирої формувальної суміші протистояти руйнуванню під дією стискаючого навантаження називається міцністю суміші на стиснення. Межа міцності суміші – це величина стискаючого навантаження, при якому відбувається руйнування стандартного зразка.

Міцність сумішей залежить від зернового складу піску (зернистості), кількості і якості глини, зв'язуючого, вологості, ступеня ущільнення та інших факторів.

6.2. Зміст роботи

Міцність на стиснення в сирому стані визначають на тих стандартних зразках, на яких визначали газопроникність суміші (див. лабораторну роботу № 5). Для випробування сумішей в сирому стані використовують прилад (рис. 6.1), який має наступну будову. По ходовому гвинту 1, закріпленому на двох підшипниках, переміщається каретка 2 з показчиком 4. На верхній ролик каретки спирається градуйований важіль 5 зі шкалою. При обертанні рукоятки 3 каретка пересувається і піднімає правий кінець важеля 5. При цьому плече важеля, на яке діє вантаж, збільшується. Протилежний кінець важеля 5 за допомогою передаточного пристрою піднімає лоток з площадкою 6, на який встановлено стандартний зразок, і притискає останній до верхньої площадки 7. Регулювання притискання здійснюють гвинтом 8. При руйнуванні зразка за положенням показчика на градуйованому важелі 5 визначають значення міцності.

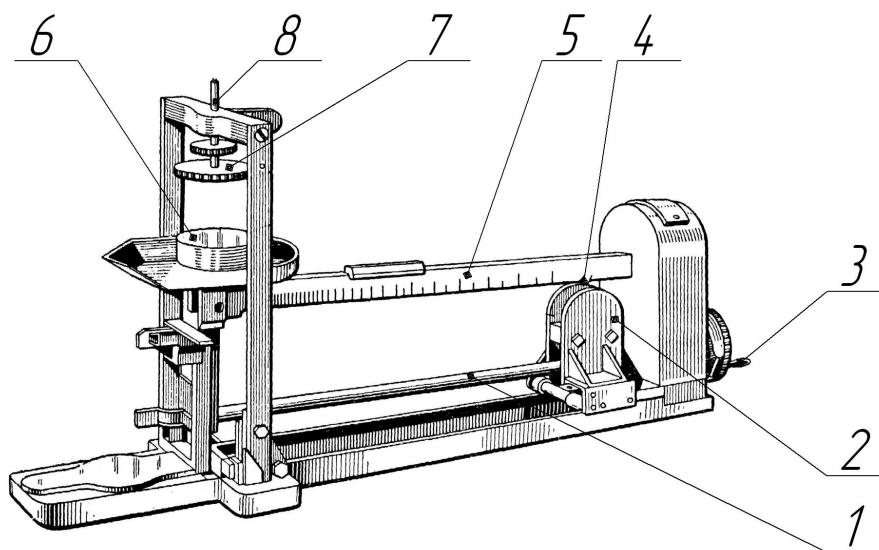


Рисунок 6.1 – Прилад для визначення міцності сумішей на стиснення

За показник межі міцності приймають середнє арифметичне значення результатів випробувань трьох зразків. Якщо дані якого-небудь

випробування відрізняються від середнього арифметичного більше ніж на 10 %, випробування повторюють на новій партії з трьох зразків.

Для випробування міцності сумішей в сухому стані використовують універсальний прилад Усманського заводу (рис. 6.2). Принцип дії даного приладу заснований на тому, що переміщуваний від вертикального положення вантаж чинить на зразок тиск, пропорційний синусу кута відхилення від вертикалі. Прилад дозволяє випробовувати суміші з межею міцності на стиснення висушених зразків до 70 МПа (7 кгс/см²). Для випробування сумішей з більш високою міцністю використовують спеціальні преси.

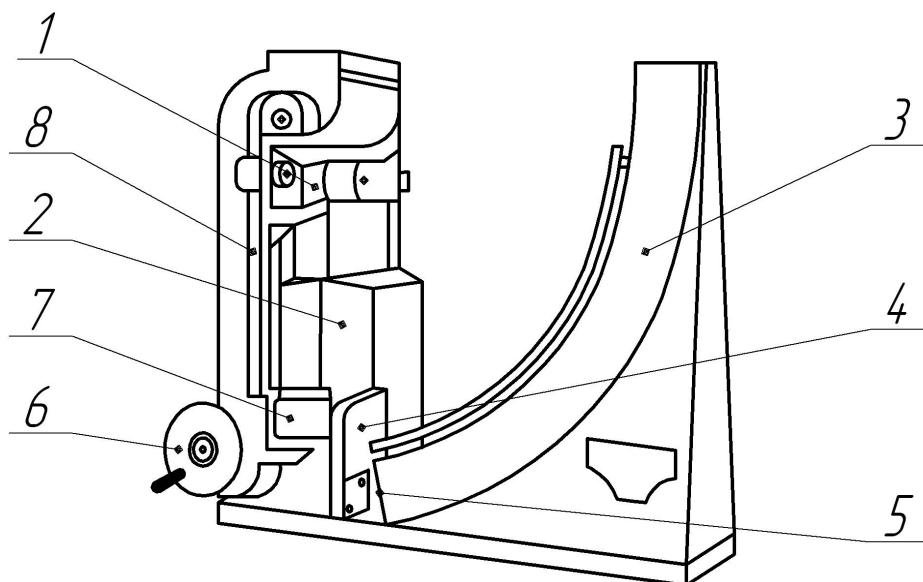


Рисунок 6.2 – Універсальний прилад для випробування сумішей

Міцність при стисненні суміші в сухому стані визначають наступним чином. Висушений стандартний зразок (рис. 6.3) поміщують в зажим 1 універсального приладу (див. рис. 6.2), потім рукояткою 6 переміщують важіль 8 і відхиляють маятник 2 від вертикального положення. В результаті відхилення на зразок починає діяти навантаження, поступово збільшуючись по мірі відхилення маятника. Маятник, переміщуючись уздовж шкали 3 приладу, повідком 4 переміщує магнітний показчик 5. У момент руйнування зразка маятник і важіль повертаються у вертикальне положення, а магнітний показчик, залишається на шкалі та фіксує значення межі міцності. На цьому

приладі можна також визначати межу міцності суміші при стисненні у вологому стані.

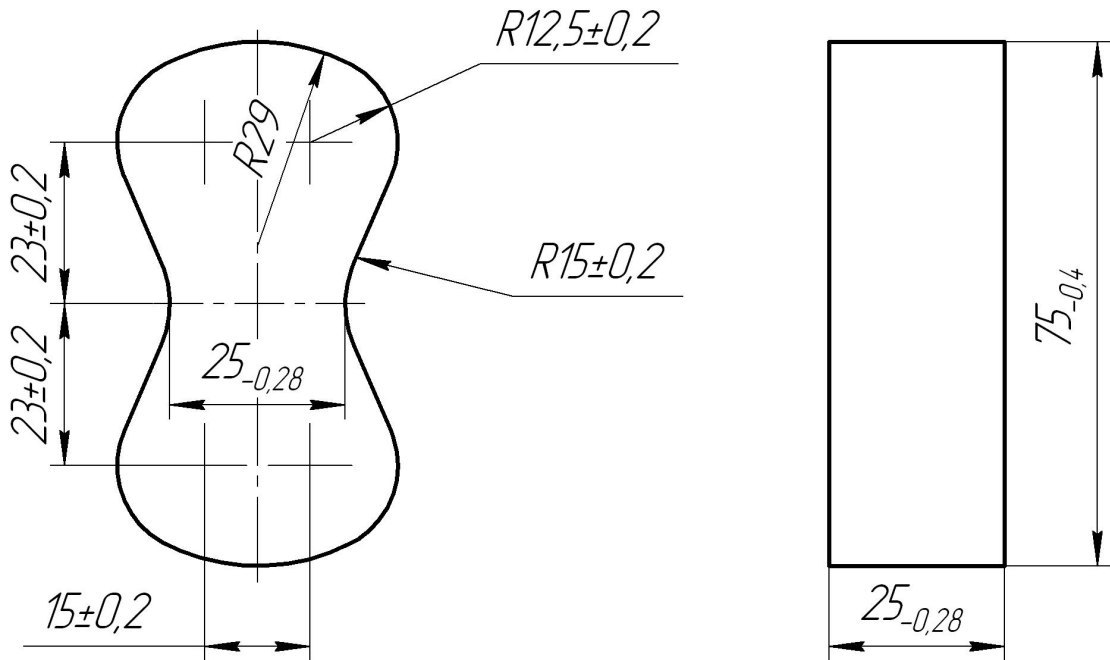


Рисунок 6.3 – Стандартний зразок для визначення міцності сумішей на розрив в сухому стані

При виконанні лабораторної роботи необхідно встановити вплив на міцність при стисненні в сирому стані наступних факторів:

- 1) ступеня ущільнення (числа ударів копра); для цього потрібно із суміші одного замісу виготовити зразки трьома, чотирма, п'ятьма і шістьма ударами копра і випробувати їх;
- 2) часу перемішування; для цього необхідно приготувати три порції суміші одного замісу, але з різним часом перемішування (5,10,15 хв), після чого кожен порцію випробувати на трьох зразках;
- 3) кількості глини; для цього слід приготувати три заміси суміші з різним вмістом глини (при постійній вологості) і кожен заміс випробувати на трьох зразках;
- 4) вологості; для цього готують три заміси суміші з різним вмістом води (при постійному вмісті глини) і кожен заміс випробовують на трьох зразках.

6.3. Необхідне обладнання, прилади та матеріали

Лабораторні бігуни; копер; гільза з чашкою; виштовхувач; прилади для визначення міцності на стиснення в сирому і сухому станах; технічні ваги; формувальний пісок, формувальна глина; вода; зв'язуючі матеріали.

6.4. Порядок виконання роботи

1. Випробувати зразок на газопроникність згідно з методикою, описаною в лабораторній роботі № 5.
2. Видалити зразок з гільзи за допомогою виштовхувача.
3. Встановити отриманий зразок на площадку 6 приладу (рис.6.1), попередньо перевіривши, щоб показчик 4 каретки 2 стояв на позначці "0" шкали важеля 5.
4. За допомогою гвинта 8 і верхньої площадки 7 затиснути зразок.
5. Обертанням рукоятки 3 переміщувати каретку 2 до тих пір, поки під дією стискаючого навантаження зразок не зруйнується.
6. Навпроти показчика 4 каретки 2 зафіксувати на важелі 5 руйнуюче навантаження і записати результат дослідів.
7. Повторити випробування на наступних двох зразках.
8. Виконати випробування для кожного фактора, що впливає на міцність формувальних і стержневих сумішей (ступінь ущільнення, час перемішування, кількість глини, кількість вологи) – на трьох зразках для кожного фактора.
9. Результати випробувань оформити у вигляді протоколу (табл. 6.1 – 6.3) та графіків залежності міцності суміші від ступеня ущільнення, часу перемішування, кількості глини та кількості вологи.

Таблиця 6.1 – Протокол дослідження залежності міцності на стиснення суміші в сирому стані від часу перемішування

Склад суміші	Міцність на стиснення, МПа, при часі перемішування											
	5 хв				10 хв				15 хв			
	Зразок			середнє значення	Зразок			середнє значення	Зразок			середнє значення
	1	2	3		1	2	3		1	2	3	

Таблиця 6.2 – Протокол дослідження залежності міцності на стиснення суміші в сирому стані від ступеня ущільнення

Склад суміші	Міцність на стиснення, МПа, при кількості ударів копра															
	3				4				5				6			
	1	2	3	середнє значення	1	2	3	середнє значення	1	2	3	середнє значення	1	2	3	середнє значення

Таблиця 6.3 – Протокол дослідження залежності міцності на стиснення суміші в сирому стані від вмісту глини та води

Склад суміші	Міцність на стискнення МПа, при вмісті глини і води в суміші																												
	1 замес				2 замес				3 замес				4 замес				5 замес				6 замес								
	зразок				зразок				зразок				зразок				зразок				зразок								
	Масова частка глини, %	1	2	3	Середнє	Масова частка води, %	1	2	3	Середнє	Масова частка глини, %	1	2	3	Середнє	Масова частка води, %	1	2	3	Середнє	Масова частка глини, %	1	2	3	Середнє	Масова частка води, %	1	2	3

6.5. Зміст звіту

Звіт повинен містити: короткі теоретичні відомості; схему і принцип роботи приладу для визначення міцності на стиснення в сирому стані; методику проведення досліду; результати дослідів у вигляді протоколу випробувань; графічні залежності міцності на стиснення в сирому стані від числа ударів копра, часу перемішування, вмісту глини і вологи в суміші; висновки.

6.6. Техніка безпеки

1. Вмикати і вимикати бігуни лише з дозволу викладача.
2. Суворо забороняється брати руками формувальну суміш з бігунів при їх роботі.
3. Чистити бігуни тільки при вимкненому головному вимикачі.
4. При роботі на копрі бути уважним і не підкладати пальці під вантаж копра.

Лабораторна робота № 7

ВИЗНАЧЕННЯ МІЦНОСТІ ФОРМУВАЛЬНИХ І СТЕРЖНЕВИХ СУМІШЕЙ НА РОЗТЯГ

Мета роботи – вивчити будову та принцип роботи приладу для визначення міцності сумішей при розтязі; ознайомитися з методикою випробування; визначити міцність формувальної і стержневої сумішей на розтяг.

7.1. Теоретичні відомості

Здатність сухих форм і стержнів не руйнуватися під впливом розтягуючих навантажень називається міцністю при розтягу в сухому стані. Межа міцності суміші на розтяг – це величина розтягуючого навантаження в мега Паскалях, при якому руйнується стандартний зразок у вигляді вісімки (див. рис. 6.3).

На міцність суміші в сухому стані впливають кількість і якість глини або іншого зв'язуючого, зерновий склад піску, режим сушіння та інші фактори.

Стандартний зразок для визначення міцності на розтяг у сухому стані (див. рис. 6.3) виготовляють в спеціальному стержневому ящику (рис. 7.1) за допомогою лабораторного копра (рис. 5.3).

Виготовлений зразок піддають сушінню в сушильній шафі або в спеціальній печі.

Режим сушіння і максимальна температура залежать від природи зв'язуючих матеріалів.

Зазвичай режим сушіння зразків встановлюють виходячи з повільного підйому температури в печі. Далі йде витримка при максимальній температурі, під час якої відбувається прогрів зразка. Потім здійснюють охолодження зразків, зазвичай разом з піччю.

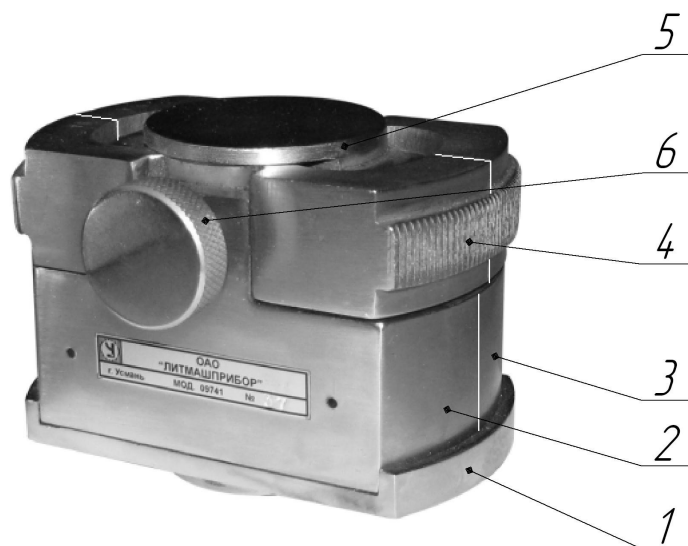


Рисунок 7.1 – Стержневий ящик для виготовлення стандартних зразків (вісімок) для випробування на розтяг

Рекомендуються наступні температури сушіння(рис.7.2):

- для сумішей з органічними зв'язуючими (П, ПТ, КО, ГТФ, ЗІЛ, СП, СДБ) – 200...240 °С;
- для сумішей на декстрині, пектовому клеї, патоці, сульфітно-спиртовій барді – 160...180 °С;
- для сумішей на рідкому склі – до 160 °С;
- для піщано-глинистих сумішей – до 350 °С.

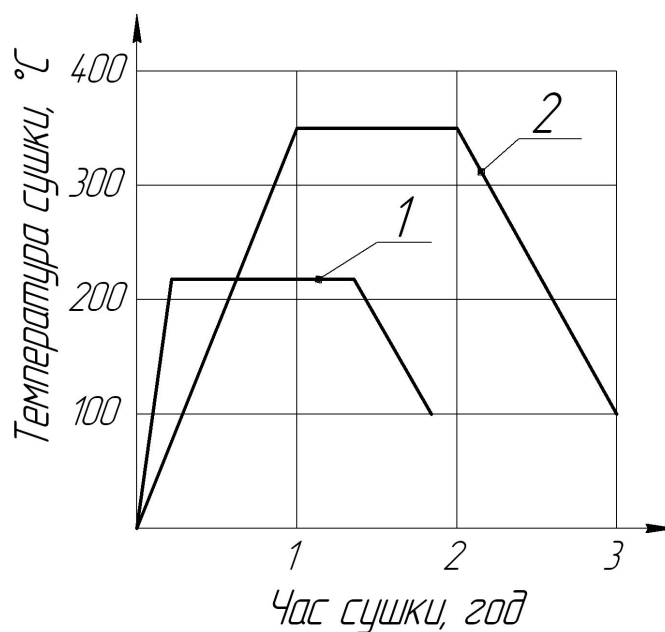


Рисунок 7.2 – Режими сушіння: 1 – суміші на органічних зв'язуючих;
2 – суміші на глинистих зв'язуючих

Після закінчення витримки відбувається поступове охолодження зразків до температури 100...150 °С разом з піччю. При цій температурі зразки виймають з печі.

7.2. Зміст роботи

У лабораторних бігунах готують формувальну та стержневу суміші, з якої виготовляють стандартні зразки – вісімки. На піддон 1 ставлять половини 2 і 3 стержневого ящика (рис. 7.1), після чого на ящик встановлюють обойму 4 так, щоб штирі обойми увійшли в гнізда стержневого ящика. Половини ящика скріплюють гвинтом 6. У зібраний ящик насипають 110...120 г суміші і встановлюють колодку 5. Суміш ущільнюють трьома ударами вантажу. При правильному ущільненні верхня площа обойми повинна знаходитися в межах трьох контрольних рисок на колодці. При недотриманні цієї умови, зразок бракують. Після ущільнення видаляють колодку, відгвинчують гвинт і знімають обойму. Стержневий ящик із зразками переносять на підставку, ящик розкривають. Зразок разом з підставкою поміщають в сушильну шафу і піддають сушінню.

Після сушіння зразок охолоджують до кімнатної температури і випробовують зразок на важільному приладі (рис. 7.3). Прилад складається з чавунної основи, на якій змонтовано дві колони 1. На одній з колон укріплений кронштейн з запресованими стальними подушками. На ці подушки з допомогою призм опирається важіль 4. Лівий кінець важеля забезпечений для регулювання рівноваги вантажами 3. З важелем з'єднана скоба, що має на нижньому кінці захват для випробуваного зразка. Нижній такий же захват 2 прикріплений до основи за допомогою нижньої скоби і гвинта. Цим гвинтом регулюється відстань між захватами.

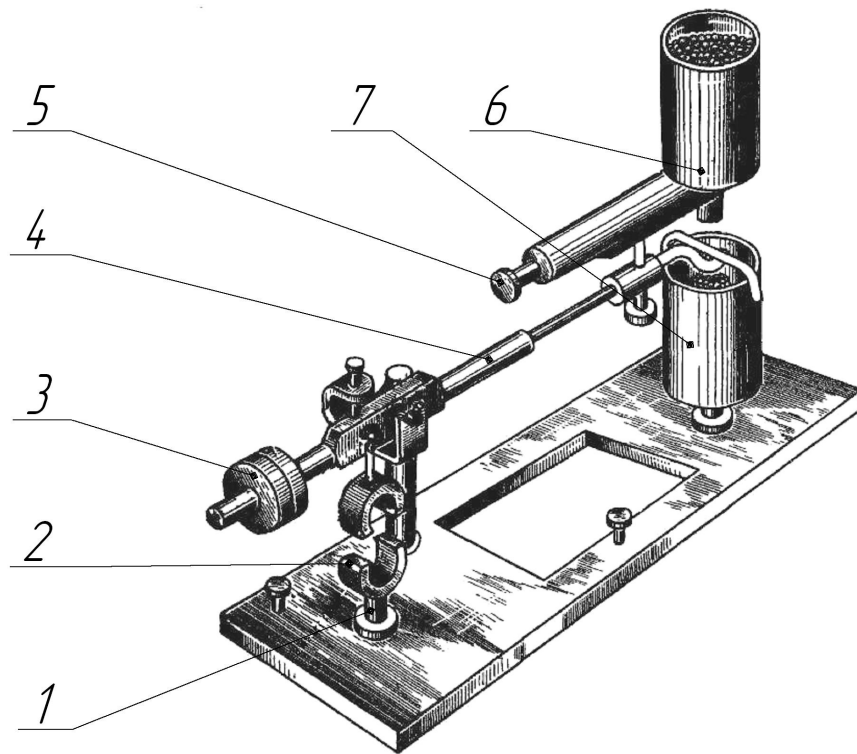


Рисунок 7.3 – Прилад для визначення міцності суміші на розрив

На правому кінці важеля закріплена вилка, до якої підвішується відро 7. На правій колонці на кронштейні закріплений бункер 6, що має в дні отвір та перекривається затвором 5. Зазвичай затвор закритий і притиснутий в цьому положенні пружиною. У відкритому стані затвор утримується чекою. Прилад встановлюють у горизонтальному положенні за допомогою трьох гвинтів по рівню. Бункер 6 заповнюють дробом. Важіль 4 встановлюють в горизонтальному положенні за вказівником, який повинен фіксуватися проти важеля.

Межу міцності зразка на розтяг визначають за формулою:

$$\sigma = \frac{G \cdot 9,81}{F}, \text{ МПа,} \quad (7.1.)$$

де G – маса дроби у відрі після руйнування зразка, кг; F – площа перерізу зразка в місці руйнування, см^2 .

Для випробування зразок встановлюють в захвати та за допомогою гвинта та щільно закріплюють в них. Необхідно стежити, щоб губки захватів щільно прилягали до бокових поверхнях зразка щоб уникнути неправильної передачі навантаження і спотворення результатів випробування. Коли зразок закріплений в захватах, відкривається затвор бункера і дріб поступово пересипається у відро, створюючи зростаюче навантаження на зразок.

При розриві зразка правий кінець важеля 4 різко опускається і вдаряється по гайці чеки. Остання опускається, затвор під дією пружини перекриває отвір в бункері і висипання дробу припиняється.

Відро з дробом знімається з приладу і дріб зважується з точністю до 0,01 кг.

Знаючи масу дробу у відрі, за формулою (7.1) визначають міцність суміші на розтяг в сухому стані.

За показник межі міцності приймають середнє арифметичне результатів випробування трьох зразків. Якщо дані якогось випробування відрізняються від середнього арифметичного більш, ніж на 10 %, випробування повторюється на новій партії з трьох зразків.

Випробуванню на розтяг у вологому стані піддають зразки діаметром і висотою 50 мм, які набивають трьома ударами стандартного копра (див. рис. 5.3) в спеціальній гільзі, розділеній на дві частини перпендикулярно до осі. Зразок суміші утримується в кожній частині гільзи виточеними на них кільцевими канавками (рис. 7.4).

При випробуванні міцності суміші на розрив в сирому стані половинки гільзи переміщаються одна відносно одної в осьовому напрямку в протилежні сторони до руйнування зразка. Межа міцності визначається аналогічно, відношенням навантаження (P , Н) при якому відбулося руйнування зразка до площі перерізу зразка (F , м²).

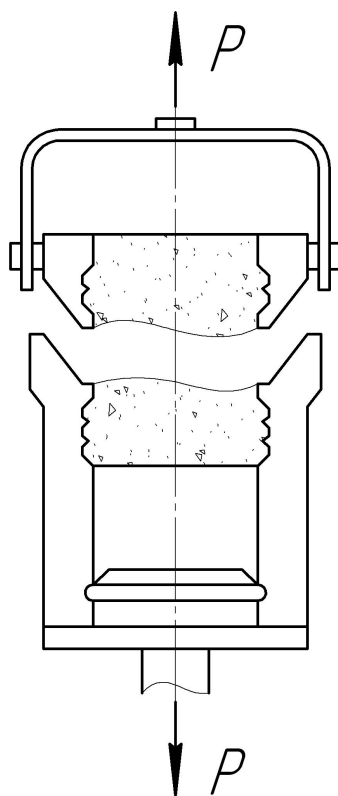


Рисунок 7.4 – Визначення міцності суміші на розрив в сирому стані

7.3. Необхідне обладнання, прилади та матеріали

Лабораторні бігуни; лабораторний копер; стержневий ящик для виготовлення стандартних зразків (вісімок); прилад для визначення міцності сумішей на розтяг у сухому стані; технічні ваги; сушильна шафа; підставка для зразків; формувальний пісок; формувальна глина; вода; зв'язуючі матеріали.

7.4. Порядок виконання роботи

1. Приготувати в лабораторних бігунах один заміс формувальної і один заміс стержневої суміші.
2. З кожного замісу виготовити стандартні зразки (вісімки) в кількості 6 штук (по три кожного замісу).
3. Висушити зразки в сушильній шафі відповідно до режимів сушки, що рекомендуються (див. рис. 7.2).
4. Охолодити зразки до кімнатної температури.

5. Випробувати зразки:

- 5.1. Вставити зразки у захвати;
- 5.2. Відкрити затвор бункера;
- 5.3. Після руйнування зразка відро про дробом зняти з приладу і зважити дріб;
- 5.4. Визначити межу міцності зразка за формулою (7.1);
- 5.5. Випробування провести на трьох зразках для кожного виду суміші; дані дослідів занести в протокол випробувань (табл. 7.1).

Таблиця 7.1 – Зразок протоколу випробувань

Склад суміші	Формувальна суміш					Стержнева суміш				
	% за масою	Межа міцності зразка, МПа			середнє значення	% за масою	Межа міцності зразка, МПа			середнє значення
		1	2	3			1	2	3	

7.5. Зміст звіту

1. Короткі теоретичні відомості.
2. Схема і принцип роботи приладу для визначення міцності на розтяг сумішей в сухому стані.
3. Опис методики випробування.
4. Результати випробувань у вигляді протоколу.

7.6. Техніка безпеки

1. Вмикати і вимикати бігуни лише з дозволу викладача.
2. Суворо забороняється брати руками формувальну суміш з бігунів при їх роботі.
3. Чистити бігуни тільки при вимкненому головному вимикачі.
4. При роботі на копрі бути уважним і не підкладати пальці під вантаж копра.
5. При установці зразка суміші в сушильну піч необхідно користуватися рукавицями.

Лабораторна робота № 8

ВИЗНАЧЕННЯ ОБСИПАЛЬНОСТІ СУМІШЕЙ

Мета роботи – вивчити будову і принцип роботи приладу для визначення обсіпальності сумішей; ознайомитись з методикою визначення обсіпальності сумішей; вивчити вплив обсіпальності на поверхневу міцність сумішей.

8.1. Теоретичні відомості

Звичайні випробування формувальних і стержневих сумішей дають можливість визначити загальну міцність зразка, тобто середнє значення по всьому його перерізу. Усередині зразка кожне зерно суміші рівномірно з усіх боків пов'язане з оточуючими його подібними частинками за допомогою зв'язуючого матеріалу. На поверхні форми або стержня зерна піску пов'язані між собою лише з внутрішнього боку, що обумовлює меншу поверхневу міцність суміші у порівнянні із загальною міцністю.

Динамічний вплив струменя розплавленого металу в першу чергу здійснюється саме на поверхневі шари форми і стержнів. Дана обставина обумовлює найбільший вплив саме поверхневої міцності сумішей на якість виливків. Оскільки методика безпосереднього визначення поверхневої міцності сумішей до теперішнього часу не розроблена, тому її характеризують обсіпальністю.

Обсіпальність визначається величиною втрати маси суміші поверхневого шару стандартного циліндричного зразка(див. рис. 5.2), ущільненого трьома ударами лабораторного копра (див. рис. 5.3), за одиницю часу при терті його об стінки сітчастого барабана, що обертається зі швидкістю 60 об / хв.

8.2. Зміст роботи

Обсипальність формувальної або стержневої суміші визначається на стандартному циліндричному зразку діаметром і висотою 50 мм. Випробування проводять на приладі Усманського заводу (рис.8.1) з барабаном діаметром 110 мм.



Рисунок 8.1 – Прилад для визначення обсипальності сумішей

Стінки барабана виготовлені з сітки, що має розмір вічок 2,5 x 2,5 мм і товщину дроту 0,9 мм. Зразок зважують з точністю до 0,01 г, після чого укладають циліндричною поверхнею всередину барабана так, щоб торці зразка не торкалися барабана, включають механізм обертання барабана і засікають час секундоміром. Тривалість випробування становить 1 хвилину для випробування сумішей у сухому стані і 30 секунд для випробування сумішей у сирому стані. Потім прилад вимикають, зразок виймають з барабана і ретельно зважують.

Обсипальність виражається втратою маси у відсотках і розраховується за формулою:

$$P = \frac{G - G_1}{G} 100, \%, \quad (8.1)$$

де P – втрата маси зразка, %; G , G_1 – маса зразка, відповідно, до і після випробування, г.

8.3. Необхідне обладнання, прилади та матеріали

Лабораторні бігуни; лабораторний копер; сушильна шафа; гільза з чашкою; виштовхувач; технічні ваги; прилад для визначення обсипальності суміші; секундомір; формувальний пісок; формувальна глина; вода; зв'язуючі матеріали.

8.4. Порядок виконання роботи

1. Приготувати в лабораторних бігунах формувальну та стержневу суміші. Склад суміші дає викладач.
2. Виготовити по три стандартних циліндричних зразка кожного виду суміші.
3. Помістити зразки в сушильну шафу для сушіння протягом 1 год при температурі 180...200 °С.
4. Охолодити зразки після сушіння до кімнатної температури.
5. Випробувати зразки на приладі для визначення обсипальності згідно з описаною вище методикою.
6. Підрахувати середнє значення втрати маси суміші по трьох зразках.
7. Оформити результати випробувань у вигляді протоколу (табл. 8.1).

8.5. Зміст звіту

Звіт повинен містити: короткі теоретичні відомості; схему і принцип роботи приладу для визначення обсипальності сумішей; опис методики проведення випробувань; результати випробувань у вигляді протоколу; висновки.

Таблиця 8.1 – Зразок протоколу випробувань

Назва суміші	Склад суміші	Номер зразка	Маса зразка, г		Обсипальність, %	Обсипальність, % (середнє значення)
			До випробування	Після випробування		

8.6. Техніка безпеки

1. Лабораторні бігуни вмикати лише з дозволу викладача.
2. Категорично забороняється намагатися брати зразки суміші з працюючих бігунів.
3. При виготовленні зразків не підставляти пальці під копер.
4. Очищення і обслуговування бігунів повинні здійснюватися лише при вимкненому головному вимикачі.
5. При установці зразка суміші в сушильну шафу необхідно користуватися рукавицями.
6. Прилад для визначення обсипальності суміші вмикати лише за вказівкою викладача.

Лабораторна робота № 9

ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ РАЗОВИХ ЛИВАРНИХ ФОРМ

Мета роботи: вивчити послідовність виготовлення разових піщано-глинистих форм методом ручної формовки, а також стержнів в ручних стержневих ящиках; набути практичних навичок виготовлення стержнів та ливарних форм з формувальної і стержневої сумішей та отримання у виготовлених формах виливків.

Завдання: виготовити стержень в ручному стержневому ящику; виготовити разову ливарну форму по дерев'яній моделі в парних опоках; виготовити виливок шляхом заливання гіпсу у виготовлену форму.

Інструмент: трамбовка вузька; трамбовка пласка; лінійка; голка вентиляційна; гладилка; ланцет; щітка.

Оснащення: опоки парні; модель виливка; стрижневий ящик; модель стояка; модель шлаковловлювача; модель живильника; підмодельна плита.

Обладнання: бігуни лабораторні; сушильна шафа.

Матеріали: формувальна суміш; стержнева суміш; розділювальний пісок; вода; гіпс.

9.1. Порядок виконання роботи

1. Оглянути робоче місце, ознайомитися з інструментом, оснащенням, обладнанням і матеріалами. Оглянути порожню опоку, визначити площину її роз'єму, перевірити стан штирів і вушок.

2. В лабораторних бігунах приготувати формувальну та стержневу суміші.

3. Встановити на столі підмодельну плиту.

4. Встановити нижню половину моделі на підмодельній плиті роз'ємом до плити.

Примітка. У роз'ємних моделей штирі закріплені у верхній половині моделі, а отвори виконані в нижній.

5. Встановити на підмодельній плиті нижню опоку площиною роз'єму вниз таким чином, щоб модель розташовувалась по центру опоки.

6. Для запобігання налипання формувальної суміші на модель та підмодельну плиту, нанести на поверхню роз'єму шар роздільного покриття.

7. Насипати в опоку шар формувальної суміші товщиною 40...50 мм і утрамбувати його ручною трамбовкою. У міру ущільнення суміші, насипати нові порції, продовжуючи трамбування. Трамбування суміші здійснювати весь час вузькою трамбовкою за винятком верхнього шару суміші, який потрібно трамбувати плоскою трамбовкою.

8. Зрізати лінійкою надлишок формувальної суміші в рівень з краями опоки.

8. Проколоти голкою вентиляційні канали в нижній напівформі.

9. Перевернути опоку, оглянути площину роз'єму і виправити її гладилкою. Встановити верхню половину моделі на нижній її половині та скріпити за допомогою штифтів. Встановити моделі живильників, шлаковловлювача, стояка. Покрити площину роз'єму тонким шаром роздільного покриття.

10. За допомогою центруючого і направляючого штирів встановити верхню опоку.

11. Насипати в опоку шар формувальної суміші товщиною 40...50 мм і утрамбувати його ручною трамбовкою. У міру ущільнення суміші, насипати нові порції, продовжуючи трамбування. Трамбування суміші здійснювати весь час вузькою трамбовкою за винятком верхнього шару суміші, який потрібно трамбувати плоскою трамбовкою.

12. Зрізати лінійкою надлишок формувальної суміші врівень з краями опоки.

13. Проколоти голкою вентиляційні канали у верхній напівформі.

14. Вирізати ланцетом або гладилкою ливникову чашу або воронку біля моделі стояка.

15. Вийняти модель стояка з форми, попередньо злегка його розгойдавши.

16. Обережно розкрити форму, перевернути верхню напівформу площиною роз'єму вгору і поставити поряд з нижньою напівформою.

17. Вийняти моделі виливка і шлаковловлювача з верхньої напівформи. Попередньо моделі слід злегка розгойдати.

18. Вийняти моделі виливка та живильників з нижньої напівформи. Попередньо моделі потрібно злегка розгойдати.

19. Виправити гладилкою або ланцетом у верхній напівформі порожнину виливка та шлаковловлювач, а в нижній напівформі порожнину виливка та живильники.

20. Зібрати і скріпити стержневий ящик.

21. Насипати у ящик стержневу суміш і ущільнити її трамбовкою.

22. Обстукати стержневий ящик і обережно розкрити його.

23. Вийняти стрижень з ящика і помістити в сушильну шафу.

24. Просушити стрижень в сушильній шафі відповідно до режимів сушки, що рекомендуються (див. рис. 7.2).

25. Зібрати форму (встановити стрижень стержневим знаком у нижню напівформу; встановити верхню напівформу за допомогою центруючого і направляючого штирів на нижню напівформу; скріпити форму скобами чи вантажем).

26. Розбавити гіпс водою та залити ним форму.

Примітка. Оскільки гіпс швидко починає затвердівати (30...60 с після розведення), розбавляти його водою необхідно безпосередньо перед заливкою, коли форма вже зібрана.

27. Видалити виливок з форми після повного затвердіння гіпсу.

Примітка. Час затвердіння гіпсу становить 30...60 хв, залежно від його об'єму.

9.2. Зміст звіту

Звіт повинен містити: опис процесу виготовлення разової ливарної форми; ескізи моделі, стержневого ящика і стержня, готової форми, на якій має бути показано формоутворюючу поверхню, розташування ливарної порожнини, стержня і ливникових каналів; висновок.

Примітка. При складанні ескізів моделі та форми в зборі керуватися рис. 9.1 і 9.2.

9.3. Техніка безпеки

1. Лабораторні бігуни вмикати лише з дозволу викладача.
2. Категорично забороняється намагатися брати зразки суміші з працюючих бігунів.
3. Очищення і обслуговування бігунів повинні здійснюватися лише при вимкненому головному вимикачі.
4. При установці стержня в сушильну шафу необхідно користуватися рукавицями.

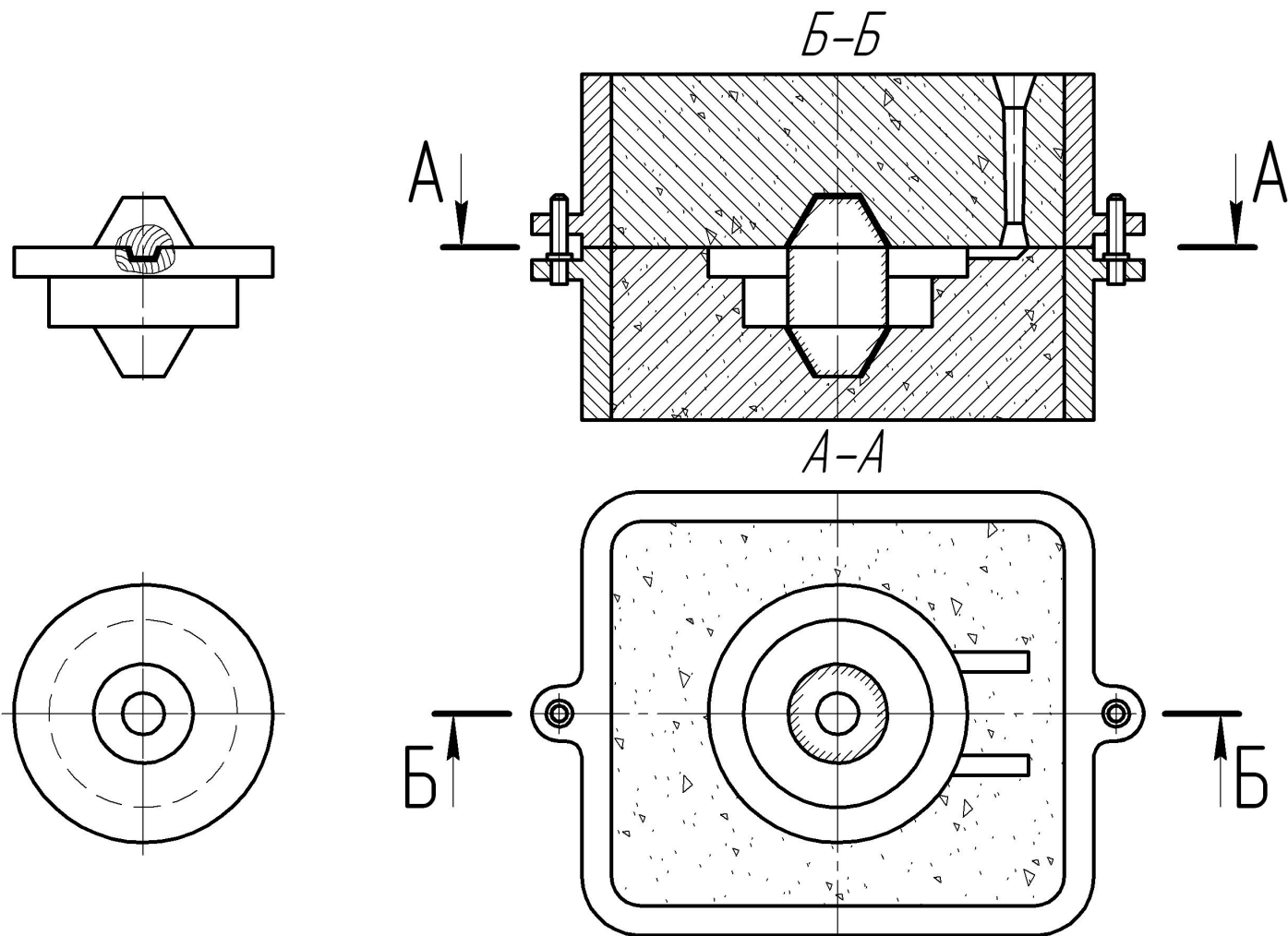


Рисунок 9.1 – Ескіз моделі

Рисунок 9.2 – Ескіз форми в зборі

Лабораторна робота № 10

РОЗРОБКА ОПТИМАЛЬНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПРИГОТУВАННЯ СУМІШЕЙ

Мета роботи – вивчити конструкцію і роботу приладів та обладнання для випробування формувальних матеріалів і сумішей; ознайомитися з вихідними матеріалами, необхідними для приготування формувальних і стержневих сумішей; вивчити методику визначення властивостей формувальних і стержневих сумішей і метод математичного планування експерименту, навчитися застосовувати його при вирішенні практичних задач оптимізації технологічних процесів ливарного виробництва, зокрема, при розробці формувальної і стержневої сумішей оптимального складу.

10.1. Теоретичні відомості

В даний час майже 80% всього обсягу литва виготовляють в разових піщано-глинистих формах. Властивості форм визначають якість литва. У свою чергу, властивості форм і стержнів, технологія, механізація і автоматизації їх виготовлення залежать від властивостей формувальних матеріалів, що використовуються для виготовлення форм і стержнів. Велика різноманітність матеріалів, їх вартість, доступність, екологічність, фізико-хімічні властивості та комплексний вплив на кінцеві властивості формувальних і стержневих сумішей ускладнюють вибір оптимального складу суміші. Для вирішення цієї задачі застосовують метод математичного планування багатофакторного експерименту. Розвиток комп'ютерних технологій дозволяє швидко виконувати складні розрахунки та на новому, більш високому рівні оцінити не лише характер впливу окремих факторів на властивості суміші, але й кількісний вплив, а також ефект взаємодії факторів між собою.

10.1.1. Вибір складу формувальних і стержневих сумішей

Щоб отримати форми високої якості, формувальні суміші повинні мати певні властивості. Невідповідність даній обставині призводить до ливарного браку виливків. Брак виливків з причини незадовільної якості формувальних сумішей може доходити до 55% загального браку в ливарному виробництві. Таким чином можна зробити висновок, що найбільші збитки несе виробництво від незадовільної якості формувальних матеріалів, а також неправильного складу формувальних сумішей (навіть у випадку використання якісних вихідних матеріалів).

В даний час відсутні всебічні дослідження і універсальні методики розрахунку складів формувальних сумішей. Це призводить до великих труднощів на виробництві при вирішенні задач приготування сумішей оптимального складу. Зазвичай склади формувальних і стержневих сумішей визначають емпірично. При цьому рецептура сумішей, що забезпечує якість виливків в цеху одного заводу, не виправдовує себе у цеху іншого заводу, де інша зернова структура і фізико-механічні властивості відпрацьованої суміші. Свіжі формувальні матеріали (пісок, глина) часто мають різний склад і властивості.

Склад суміші повинен бути таким, щоб брак виливків був мінімальним. Це означає, що рецепт суміші повинен відповідати оптимальному складу. Перш ніж визначити оптимальний склад суміші, необхідно провести велику кількість досліджень.

Раніше дослідження проводилися таким чином, що для отримання надійних результатів число дослідів повторювали до багатьох десятків або сотень разів, на що витрачалось багато часу, трудових, матеріальних та енергетичних ресурсів. При цьому експеримент був однофакторним.

Для формувальних сумішей дослідження вели наступним чином: задавалися певним складом суміші, а потім по черзі змінювали вміст кожного компонента, залишаючи вміст інших незмінним. При такому методі

дослідження не можна було одержати повного уявлення про комплексний вплив зміни вмісту компонентів на властивості суміші. Крім того, при такому методі дослідження необхідно було виконати дуже велику кількість дослідів.

В наш час у зв'язку з розробкою математичних методів планування експерименту з'явилася можливість визначати оптимальний склад формувальних сумішей при значно менших витратах часу, трудових, матеріальних та енергетичних ресурсів шляхом. При цьому метод математичного планування багатофакторного експерименту дозволяє не лише встановлювати характер впливу окремих факторів на властивості суміші, але й оцінювати кількісний вплив, а також ефект взаємодії факторів між собою.

10.1.2. Прогнозування властивостей формувальних сумішей

Робочі та технологічні властивості сумішей залежать від їх початкового складу і структури. Вирішальний вплив на структуру і властивості суміші здійснюють характер і склад зв'язуючих, що обволікають піщинки, утворюючи з них плівку.

Утворення формувальної або стержневої суміші можна розглядати як процес склеювання розрізнених піщинок в єдину масу. При цьому між плівкою зв'язуючого і поверхнею піщинок виникають сили зчеплення, які називають *адгезією*. Міцність самої плівки визначається силами взаємодії між частинками зв'язуючого. Ці сили називаються *когезією*.

При руйнуванні зв'язку між склеєними зернами піску можливі наступні випадки:

- 1) сили когезії перевищують сили адгезії – відрив плівки зв'язуючого відбувається по поверхні зерен піску;
- 2) сили адгезії перевищують сили когезії – відбувається розрив плівки зв'язуючого;

3) частково долаються сили адгезії і сили когезії – відбувається частковий відрив плівки від зерен піску, а також частково розрив самої плівки зв'язуючого;

4) міцність, що досягається в результаті адгезії і когезії, перевищує міцність самого зерна піску – тоді відбувається руйнування зерна.

Таким чином, міцність склеювання залежить від сил адгезії і когезії. На ці сили впливають такі фактори:

1) сили поверхневого натягу між плівкою зв'язуючого і поверхнею піщинок; при цьому процес склеювання розглядається як прояв поверхневої енергії на межі трьох фаз: повітря – плівка зв'язуючого – поверхня піщинок;

2) адсорбція третьої речовини на межі розділу плівка зв'язуючого – поверхня піщинок;

3) хімічні реакції, що протікають між плівкою зв'язуючого і поверхнею піщинок;

4) електричні явища, що виникають в період плівкоутворення між плівкою зв'язуючого і поверхнею піщинок.

Отже, структурою плівки і властивостями суміші можна керувати. Досягається це введенням в суміш поверхнево-активних речовин (ПАР), крохмалю та інших добавок, які, в залежності від природи і характеру взаємодії з плівкою зв'язуючого, зменшують або збільшують сили адгезії та когезії, міцність плівки зв'язуючого, її жорсткість і таким чином впливають на властивості суміші.

10.1.3. Застосування методу математичного планування експерименту при дослідженні властивостей формувальних і стержневих сумішей

Будь-яка формувальна або стержнева суміш повинна мати такий склад, щоб її властивості забезпечували отримання виливків високої якості. Отже, дана задача є завданням на оптимізацію, або екстремальна задача.

Об'єкт дослідження в даному випадку – це формувальна або стержнева суміш. Для опису об'єкта дослідження користуються уявленням про кібернетичну систему, яку називають "чорним ящиком".

У процесі дослідження необхідно мати можливість впливу на поведінку "чорного ящика", тобто суміші. Способи такого впливу називаються факторами. У розглянутому випадку, незалежними факторами є вміст компонентів суміші, час перемішування в змішуючих бігунах, температура і тривалість сушіння, стан суміші (сира або суха), тощо. Кожен фактор може приймати в досліді одне з декількох значень. Такі значення називаються рівнями. Фіксований набір рівнів факторів визначає один з можливих станів "чорного ящика" або умов досліду.

Кожен стан "чорного ящика", в даному випадку суміші, кількісно описується, з одного боку, конкретними значеннями рівнів факторів, а з іншого – значеннями властивостей суміші (міцності, газопроникності, податливості, тощо). При цьому значення властивостей суміші знаходяться в прямій залежності від значень рівнів факторів, тобто від вмісту компонентів суміші, часу перемішування, тощо. Це дозволяє зробити висновок, що властивості суміші (факторіали) функціонально залежать від значень факторів:

$$y=f(x_1; x_2;...x_n), \quad (10.1)$$

де y – властивості суміші, наприклад, міцність, газопроникність, тощо; x_1, x_2, x_n – фактори.

Функція $y=f(x_1; x_2;...x_n)$ називається функцією відгуку, а конкретна властивість суміші, що описується функцією відгуку, – параметром оптимізації.

Об'єкт дослідження повинен бути керованим. Стосовно до формувальних сумішей можливо активне втручання в процес і можливість вибору в кожному досліді необхідних рівнів факторів. З цієї точки зору

формувальні суміші являють собою керовані об'єкти і при їх дослідженні можна планувати експеримент.

10.2. Необхідні прилади, обладнання, пристосування, матеріали, обчислювальна техніка

10.2.1. Прилади й устаткування

Лабораторні бігуни; лабораторний копер; сушильна шафа; прилад для визначення газопроникності; прилад для визначення міцності сумішей на стиснення; прилад для визначення міцності сумішей на розтяг, технічні ваги, прилад для визначення вологості сумішей.

10.2.2. Оснащення

Гільза з чашечкою; секундомір; виштовхувач; стержневий ящик; підставка для зразка.

10.2.3. Матеріали

Формувальний пісок; формувальна глина; бентоніт; відпрацьована суміш; рідке скло; закріплювач КО; сульфітно-спиртова барда; сульфітно-дріжджова брага; гідролізований етилсилікат; вода.

10.2.4. Обчислювальна техніка

Комп'ютер з пакетом програм Excel Microsoft Office

10.3. Зміст роботи

Перед виконанням отриманого завдання студент повинен вивчити методику випробування сумішей.

10.3.1. Вивчення методики випробування сумішей

1. Ознайомитися з лабораторією випробувань формувальних сумішей та матеріалів і вихідними формувальними матеріалами, необхідними для приготування сумішей.

2. Вивчити конструкцію й роботу приладів, обладнання і оснащення, що використовуються при випробуванні сумішей. У процесі цієї роботи студент повинен користуватися даними методичними вказівками до лабораторних робіт №№ 1 – 8.

3. Вивчити процес виготовлення дослідних зразків для випробування сумішей.

4. Вивчити методику визначення властивостей сумішей в сухому і сиром станах.

Після виконання вказаних робіт і освоєння методики випробування сумішей студент отримує завдання на розробку технологічного процесу приготування формувальної суміші оптимального складу.

10.3.2. Планування експерименту

1. Вирішення задачі починається з її формулювання. Формулювання задачі визначається завданням. Студент повинен мати ясне, чітке уявлення про мету роботи.

2. Об'єктом дослідження є формувальна або стержнева суміш.

3. Параметром оптимізації може служити одна з властивостей суміші (газопроникність, міцність тощо). Необхідно, щоб він був однозначним,

статистично ефективним, мав чіткий фізичний зміст, дійсно визначав оптимум.

4. При пошуку оптимальних умов необхідно враховувати всі фактори, які мають найбільший вплив. В умовах даної роботи головні фактори обумовлені завданням. Ними є вміст компонентів суміші (піску, глини, води, зв'язуючих, відпрацьованої суміші), стан суміші (сира чи суха), час перемішування, температура і час сушки (для сухого стану). У деяких випадках необхідно враховувати й інші фактори.

5. Після вибору факторів для кожного з них встановлюють основний рівень і інтервал варіювання і здійснюють кодування факторів так, щоб їх кодовані значення x_i – були пов'язані з натуральними значеннями X_i співвідношенням:

$$x_i = \frac{X_i - X_{io}}{\Delta X_i}, \quad (10.2)$$

де X_{io} , ΔX_i – натуральні значення, відповідно, факторів на основному рівні та інтервалу варіювання.

При цьому, інтервал варіювання не повинен перевищувати подвоєної середньої квадратичної помилки у визначенні даного фактора.

6. Після вибору параметра оптимізації та вибору факторів студент приступає до складання матриці планування. Залежно від числа незалежних факторів, варійованих в завданні на двох рівнях, реалізувати необхідно або повний, або дробовий факторний експеримент. Матриця планування записується у вигляді таблиці і скорочено, символьним позначенням.

7. При плануванні експерименту необхідно вибрати тип математичної моделі, що описує функцію відгуку. Рекомендується на першому етапі планування використовувати поліном першого степеня. Однак слід врахувати, що при повному факторному експерименті може бути отримана нелінійна модель другого а бо третього степеня.

8. Дробний факторний експеримент задається у вигляді дробової репліки, яка в свою чергу задається за допомогою визначального контрасту або генеруючого співвідношення. Визначальний контраст і генеруюче співвідношення дозволяють визначити систему змішування ефектів.

9. Після складання матриці планування необхідно перевірити її правильність шляхом верифікації властивостей матриці, а саме симетричності щодо центру експерименту та виконання умов нормування та ортогональності.

10.3.3. Реалізація плану експерименту

1. Щоб виключити вплив систематичних помилок, викликаних зовнішніми умовами, необхідно задані матрицею планування досліді проводити у випадковій послідовності, тобто досліді мають бути рандомізовані в часі. Порядок проведення дослідів слід встановити за таблицею випадкових чисел.

2. До проведення дослідів слід ретельно підготуватись: виставити і прокалібрувати прилади, підготувати вихідні матеріали, завести спеціальний журнал. Уважно виконувати досліді у встановленій за таблицею випадкових чисел послідовності. Бажано, щоб при кожному досліді проводили по кілька спостережень (не менше трьох), однакових для кожного досліді.

У деяких випадках виконують кілька паралельних спостережень на основному рівні, а в кожному досліді проводять лише одне спостереження.

3. У процесі реалізації дослідів необхідно стежити за тим, щоб умови їх проведення були однаковими.

4. Отримані результати записують в журнал.

10.3.4. Обробка дослідних даних

1. Оцінюють помилку відтворюваності кожного досліді за паралельними спостереженнями. Для цього необхідно:

а) з усіх паралельних спостережень кожного дослідів виділити оптимальний результат;

б) цей результат попередньо виключити з подальших розрахунків;

в) за результатами інших паралельних спостережень визначити середнє арифметичне значення параметра оптимізації дослідів за формулою:

$$\bar{y}_n = \frac{y_1 + y_2 + \dots + y_n}{n - 1} = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} y_i}{n - 1}, \quad (10.3)$$

де $y_1, y_2, \dots, y_n$ – значення параметра оптимізації паралельних спостережень в досліді; n – число спостережень в досліді;

г) визначити дисперсію і стандарт дослідів за формулою:

$$S_n^2 = \frac{\sum (\bar{y} - y_n)^2}{(n - 1) - 1}; S_n = \sqrt{S_n^2}, \quad (10.4)$$

де S_n^2 – дисперсія дослідів; S_n – стандарт дослідів; $(n - 1) - 1$ – число ступенів свободи, яке дорівнює числу паралельних спостережень за винятком спостереження з сумнівним результатом, мінус одиниця;

д) знайти розрахункове значення критерію Стюдента за формулою:

$$\tau_{роз} = \frac{y_n - \bar{y}_n}{S_n}, \quad (10.5)$$

де $\tau_{роз}$ – розрахункове значення критерію Стюдента; y_n – результат сумнівного спостереження; $\bar{y}_n$ – середнє арифметичне значення параметру оптимізації в даному досліді, визначене за результатами решти паралельних спостережень (за винятком сумнівного);

е) порівняти розрахункове значення критерію Стюдента $\tau_{роз}$ з табличним $\tau_{(n-2); \alpha}$ при числі ступенів свободи $(n - 2)$ і рівню значущості α . Якщо $\tau_{роз} > \tau_{(n-2); \alpha}$, сумнівний результат вважають неприйнятним і повністю відкидають. При $\tau_{роз} \leq \tau_{(n-2); \alpha}$, сумнівний результат не відкидають і використовують в наступних розрахунках.

2. Перевіряють однорідність дисперсії дослідів за допомогою критерію Фішера. Для цього необхідно:

а) встановити найбільшу $S_n \max$ та найменшу $S_n \min$ дисперсію з усіх дослідів;

б) визначити розрахункове значення критерію Фішера за формулою:

$$F_{роз} = \frac{S_n^2 \max}{S_n^2 \min}; \quad (10.6)$$

в) порівняти розрахункове значення критерію Фішера з табличним:

$$F_{табл} = F_{\alpha}^{f_1; f_2}, \quad (10.7)$$

де α – рівень значущості; f_1, f_2 – число ступенів свободи для дослідів, відповідно, з найбільшою і найменшою дисперсією.

Якщо $F_{роз} > F_{табл}$, ці дві дисперсії значно відрізняються одна від одної і гіпотеза про однорідність дисперсій є невірною.

Якщо $F_{роз} \leq F_{табл}$, дисперсії однорідні, і можна виконувати подальші розрахунки.

3. Визначають дисперсію експерименту за формулою:

$$S_{(y)}^2 = \frac{\sum_{n=1}^N S_n^2}{N}, \quad (10.8)$$

де N – число дослідів матриці планування.

Слід врахувати, що при відсутності паралельних спостережень в кожному досліді дисперсія експерименту визначається іншим способом. У цьому випадку проводять кілька паралельних дослідів на основному рівні і за даними цих дослідів знаходять середнє арифметичне значення $\bar{y}_0$. Тоді дисперсія експерименту:

$$S_n^2 = \frac{\sum_{n=1}^N (y_n - \bar{y}_0)^2}{n - 1}, \quad (10.9)$$

де n – число дослідів на основному рівні.

4. Визначають коефіцієнти математичної моделі за формулою:

$$b_k = \frac{\sum_{n=1}^N y_n x_{kn}}{N}. \quad (10.10)$$

5. Перевіряють адекватність математичної моделі. Для цього необхідно:

а) обчислити розрахункове значення $y_{n \text{ роз}}$ параметра оптимізації для кожного досліді за отриманим рівнянням математичної моделі;

б) розрахувати різницю Δy_n між розрахунковим $y_{n \text{ роз}}$ і дослідним y_n значеннями параметра оптимізації в кожному досліді;

в) визначити дисперсію адекватності при однаковому числі спостережень в кожному досліді за формулою:

$$S_{ad}^2 = \frac{n \sum_{n=1}^N \Delta y_n^2}{N - b}, \quad (10.11)$$

де n – число паралельних спостережень в досліді; b – число коефіцієнтів математичної моделі.

г) визначити дисперсію адекватності при неоднаковому числі спостережень в кожному досліді за формулою:

$$S_{ad}^2 = \frac{\sum_{n=1}^N (y_n - y_{n\text{ роз}})^2 n_i}{N - b}, \quad (10.12)$$

де n_i – число паралельних спостережень в i -му досліді.

д) визначити дисперсію адекватності при проведенні декількох спостережень на основному рівні за формулою:

$$S_{ad}^2 = \frac{\sum_{n=1}^N (y_n - y_{n\text{ роз}})^2}{N - b}, \quad (10.13)$$

де y_n – експериментальне значення параметра оптимізації в даному досліді;

е) визначити розрахункове значення критерію Фішера за формулою:

$$F_{роз} = \frac{S_{ad}^2}{S_{(y)}^2}; \quad (10.14)$$

є) порівняти розрахункове значення критерію Фішера $F_{роз}$ з табличним $F_{табл} = F_{\alpha}^{f_1; f_2}$. При цьому необхідно звернути увагу на правильне визначення числа ступенів свободи f_1 і f_2 : число ступенів свободи при визначенні дисперсії адекватності – $f_1 = N - b$; число ступенів свободи при визначенні дисперсії експерименту (або параметра оптимізації) – $f_2 = N - b$.

Якщо $F_{роз} \leq F_{табл}$, то з відповідною довірчою ймовірністю модель можна вважати адекватною. При $F_{роз} > F_{табл}$ ця гіпотеза відкидається.

6. Перевіряють значущість коефіцієнтів математичної моделі. Для цього необхідно:

а) визначають дисперсію коефіцієнта регресії за формулою:

$$S_{(b_k)}^2 = \frac{S_{(y)}^2}{N}; \quad (10.15)$$

б) розраховують довірчий інтервал за формулою:

$$\Delta b_k = \pm \tau_{\alpha; f} S_{(b_k)}, \quad (10.16)$$

де $\tau_{\alpha, f}$ – табличне значення критерія Стюдента при числі ступенів свободи, з яким визначалася дисперсія експерименту $S_{(y)}^2$, і вибраному рівню значущості α ;

в) коефіцієнт математичної моделі значущий, якщо його абсолютна величина більше довірчого інтервалу, тобто якщо $|b_k| \geq \Delta b_k$.

10.3.5 Інтерпретація результатів

В результаті проведення експерименту і обробки дослідних даних отримуємо адекватну чи неадекватну математичну модель зі значущими чи незначущими коефіцієнтами:

1. Математична модель адекватна і всі коефіцієнти значущі. В цьому випадку можливий рух по градієнту або кінець досліджень.

2. Математична модель адекватна, але частина коефіцієнтів незначущі. У цьому випадку можливий вибір з рішень, що дозволяють отримати коефіцієнти регресії значущими: зміна інтервалів варіювання, перенесення центру плану, збільшення кількості паралельних дослідів.

3. Математична модель адекватна, а всі коефіцієнти незначущі. У цьому випадку приймають рішення про закінчення дослідження (якщо

область оптимуму близька), або про виконання заходів, що дозволяють одержати значимі коефіцієнти регресії (якщо оптимальна область далеко, і ситуація не визначена).

4. Математична модель неадекватна. У цьому випадку приймають рішення або про закінчення дослідження, або про зміну інтервалів варіювання, або про рух по градієнту.

10.4. Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з лабораторією випробування формувальних сумішей.
2. Вивчити конструкцію і роботу приладів і обладнання для випробування сумішей.

3. Вивчити методику випробування сумішей на газопроникність, міцність в сирому і сухому станах, вологість, визначення глинистої складової та зернового складу формувальних пісків.

4. Розробити план експерименту.

5. Реалізувати досліди відповідно до матриці планування експерименту:

5.1. Виготовити зразки для випробувань формувальної суміші відповідно до рецептури та описаних в попередніх лабораторних роботах методик випробувань.

5.2. Випробувати зразки на газопроникність, міцність в сирому і сухому станах, вологість, а також визначити глинисту складову та зерновий склад формувальних пісків.

5.3. Ретельно записати результати кожного дослід. У випадку невідповідності результатів дослід описаним методикам, необхідно повторити випробування на нових зразках.

6. Виконати математичну обробку дослідних даних.

7. Зробити висновки і скласти звіт про виконану роботу.

10.5. Зміст звіту

Звіт повинен містити: вступ; короткі теоретичні відомості про властивості сумішей; план експерименту з обґрунтуванням вибору основного рівня та інтервалів варіювання факторів; дослідні дані та результати їх математичної обробки з докладними розрахунками всіх величин; висновки та рекомендації.

10.6. Техніка безпеки

При виконанні даної лабораторної роботи необхідно дотримуватись правил і заходів техніки безпеки попередніх лабораторних робіт.

10.7. Приклад розробки оптимального складу суміші методом планування експерименту

10.7.1. Завдання

Тема завдання: *"Визначення оптимальних параметрів процесу приготування стержневої суміші"*.

Компоненти суміші: пісок кварцевий; сульфітно-дріжджова бражка (СДБ); закріплювач кубових залишків (КЗ); вода; стан суміші – суха.

10.7.2. Аналіз завдання

Отримавши завдання, студент повинен визначити вміст компонентів в суміші, при якому міцність суміші в сухому стані була максимальною. Таким чином, найбільш впливовими факторами на параметр оптимізації (міцність в сухому стані) будуть наступні параметри: а) вміст компонентів в суміші; б) температура сушіння зразків; в) час перемішування компонентів суміші в лабораторних бігунах.

З завдання випливає, що суміш складається з чотирьох компонентів. Отже, в сумі їх вміст дорівнює 100 % за масою. Незалежними компонентами з чотирьох будуть три, оскільки один з них визначається за різницею $100\% - (X_1 + X_2 + X_3)\% = \alpha\%$, де X_1, X_2, X_3 і α – процентний вміст відповідних компонентів в суміші, у даному випадку – це вміст в суміші піску, СДБ, КЗ, води.

У зв'язку з цим, необхідно встановити, який з компонентів суміші буде визначатися за різницею. Доцільно в якості такого компонента прийняти кварцевий пісок. Позначимо вміст СДБ в суміші через X_1 , КЗ – через X_2 , води – через X_3 . Тоді вміст у суміші кварцевого піску – $\alpha = 100\% - (X_1 + X_2 + X_3)\%$.

10.7.3. Область визначення факторів

Для встановлення області визначення факторів залучається апріорна (перед дослідна) інформація. Якщо така інформація відсутня, область визначення факторів встановлюється довільно.

У даному випадку маємо великий об'єм інформації про властивості стержневих сумішей на основі кварцевого піску, КЗ, води [1, 2]. Використовуючи дану інформацію, встановлюємо область визначення кожного фактора (табл. 10.1):

Таблиця 10.1 – Область визначення факторів

Фактор, умовне позначення	Масова доля СБД, %	Масова доля КО, %	Волога	Час перемішування, хв	Температура сушіння
Код	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
Область визначення	2 ± 1	2 ± 1	4 ± 1	10 ± 3	200 ± 30

На підставі табл.10.1 складаємо умови експерименту (табл.10.2):

Таблиця 10.2 – Умови експерименту

Фактори	СДБ, %	КЗ, %	Волога, %	Час перемішування, хв	Температура сушіння
Код	X1	X2	X3	X4	X5
Основний рівень X_{i0}	2	2	4	10	200
Інтервал варіювання ΔX_i	1	1	1	3	30
Верхній рівень (+1)	3	3	5	13	230
Нижній рівень (-1)	1	1	3	7	170

10.7.4. Матриця планування

З табл. 10.2 видно, що число незалежних факторів дорівнює п'яти. Число дослідів N при реалізації повного факторного експерименту обчислюють за формулою:

$$N=2^k, \quad (10.17)$$

Де 2 – число рівнів; k – число незалежних факторів; в даному випадку $k = 5$; $N = 2^5 = 32$.

Для виконання 32 дослідів необхідно витратити багато часу, матеріальних, трудових та енергетичних ресурсів. Тому реалізуємо дробний факторний експеримент. При цьому враховуємо, що мінімальне число дослідів повинно бути не менше, ніж число коефіцієнтів полінома плюс одиниця.

В даному випадку мінімальне число дослідів дорівнює 7 (6 факторів плюс одиниця). З урахуванням цього приймаємо 1/4 – репліку з числом дослідів: $N = 2^{5-2} = 8$.

Для складання матриці планування необхідно знати систему змішування ефектів, що задається визначальним контрастом. Значення останнього приймається після погодження з керівником роботи.

Припустимо, що визначальний контраст задали співвідношенням $I = X_1 X_2 X_3 X_4 = X_2 X_3 X_5$. З нього випливають наступні рішення:

$$X_4 = X_1 X_2 X_3; X_5 = X_2 X_3$$

Встановивши співвідношення, складемо матрицю планування в кодованому масштабі, яка представлена в табл.10.3:

Таблиця 10.3 – План експерименту в кодовому масштабі

№ дослідів	X_0	X_1^a	X_2^b	X_3^c	$X_4 = X_1 X_2 X_3^d$	$X_5 = X_2 X_3^e$	Умовний запис
1	+	+	+	+	+	+	abcde
2	+	–	+	+	–	+	bce
3	+	+	–	+	–	–	ac
4	+	–	–	+	+	–	cd
5	+	+	+	–	–	–	ab
6	+	–	+	–	+	–	bd
7	+	+	–	–	+	+	ade
8	+	–	–	–	–	+	e

Зв'язок між кодovими і натуральними значеннями факторів описується наступними виразами:

$$X_1 = \frac{[CДБ, \%] - 2\%}{1\%}; X_2 = \frac{[KЗ, \%] - 2\%}{1\%}; X_3 = \frac{[W, \%] - 4\%}{1\%};$$

$$X_4 = \frac{[\tau, x\theta] - 10 x\theta}{3 x\theta}; X_5 = \frac{[t, ^\circ C] - 200 ^\circ C}{30 ^\circ C}$$

Зробимо перевірку правильності кодування рівнів факторів:

а) для вмісту СДБ:

$$\text{верхній рівень} - X_1 = \frac{3-2}{1} = +1;$$

$$\text{нижній рівень} - X_1 = \frac{1-2}{1} = -1;$$

б) для вмісту КЗ:

$$\text{верхній рівень} - X_2 = \frac{3-2}{1} = +1;$$

$$\text{нижній рівень} - X_2 = \frac{1-2}{1} = -1$$

в) для вмісту вологи:

$$\text{верхній рівень} - X_3 = \frac{5-4}{1} = +1;$$

$$\text{нижній рівень} - X_3 = \frac{3-4}{1} = -1;$$

г) для тимчасового перемішування:

$$\text{верхній рівень} - X_4 = \frac{13-10}{3} = +1;$$

$$\text{нижній рівень} - X_4 = \frac{7-10}{3} = -1;$$

д) для температури сушіння:

$$\text{верхній рівень} - X_5 = \frac{230-200}{30} = +1;$$

$$\text{нижній рівень} - X_5 = \frac{170-200}{300} = -1.$$

Розрахунки показують, що кодування значень рівнів факторів виконано правильно.

Представлений в табл. 10.3 план експерименту, подано в кодованому позначенні. Для проведення дослідів необхідно знати натуральні значення

факторів. У зв'язку з цим складаємо план експерименту в натуральному масштабі, який представлений в табл. 10.4.

Розрахунок кількості кожного компоненту ведемо на 1000 г суміші.

Таблиця 10.4 – План експерименту в натуральному масштабі

№ досліджу	порядок реалізації дослідів	Пісок кварцевий	X ₁ , г	X ₂ , г	X ₃ , г	X ₄ , хв	X ₅ , °C
1	4	890	30	30	50	13	230
2	3	910	10	30	50	7	230
3	8	910	30	10	50	7	170
4	2	930	10	50	50	13	170
5	7	910	30	30	30	7	170
6	1	930	10	30	30	13	170
7	5	930	30	10	30	13	230
8	6	950	10	10	30	7	230

Розглянемо порядок складання табл. 10.4. Для прикладу визначимо умови проведення п'ятого досліджу.

Із табл. 10.3 видно, що вміст в суміші СБД і КЗ знаходиться на верхньому рівні, вміст води, час перемішування та температура сушіння – на нижньому рівні. Значення факторів на верхньому рівні отримаємо шляхом додавання до значень основного рівня величину інтервалу варіювання, а значення факторів на нижньому рівні – віднявши, відповідно, від значень основного рівня величину інтервалу варіювання.

Таким чином, для п'ятого досліджу маємо:

- СДБ, % $X_1 = 2 + 1 = 3 \%$;
- КЗ, % $X_2 = 2 + 1 = 3 \%$;
- W, % $X_3 = 4 - 1 = 3 \%$;
- Вміст кварцевого піску $\alpha = 100 - (3 + 3 + 3) = 91 \%$.

У перерахунку на 1000 г суміші будемо мати: СДБ = 30 г; КЗ = 30 г;
W = 30 г; $\alpha = 910$ г.

Час перемішування і температура сушіння зразків визначаються аналогічно:

- $\tau = 10 - 3 = 7$ хв;
- $t = 200 - 30 = 170$ °С.

Отримані значення факторів записуємо в п'ятий рядок табл. 10.4.
Аналогічно розраховують значення факторів решти дослідів табл. 10.4.

Для випадкового вибору номерів дослідів можна використовувати таблицю випадкових чисел, частина якої представлена в табл. 10.5.

Таблиця 10.5 – Таблиця випадкових чисел

56	66	25	32	38	64	70	26	27	67	77	40	4	34	63	96	99	89	31	16	12	90	50	28	96
88	40	52	2	29	62	69	34	50	21	74	7	91	27	52	96	72	3	45	65	30	89	71	45	91
67	63	88	23	62	51	7	69	59	2	69	49	14	98	53	41	92	36	7	76	65	37	84	37	47
32	25	21	15	8	62	34	57	57	35	22	3	33	46	64	37	37	29	36	37	69	76	25	9	69
44	61	88	23	13	1	59	47	64	4	99	59	96	20	30	87	31	33	69	45	56	46	20	83	48
94	44	8	67	79	41	61	41	15	60	11	66	63	24	62	24	7	76	61	89	42	56	88	22	16
13	24	40	9	0	65	46	за	61	12	90	62	41	11	59	65	18	42	61	29	об	76	4	21	60
78	27	64	5	99	65	75	67	60	5	57	5	71	70	21	31	99	99	6	96	53	99	25	13	63
42	39	30	2	34	99	46	68	45	15	19	74	15	50	17	44	80	13	86	38	40	45	62	13	44
4	52	43	96	36	13	63	80	72	34	20	64	56	19	49	59	14	85	42	99	71	16	34	33	79
82	85	77	30	16	69	32	33	46	30	64	20	66	72	88	94	62	63	59	44	0	69	6	15	67
38	48	84	88	24	55	46	48	60	6	90	6	63	63	96	40	90	66	25	26	65	74	55	60	65
91	19	5	68	22	56	4	63	21	16	23	38	25	43	32	93	94	65	35	35	16	91	7	12	43
54	81	87	21	31	40	46	17	62	63	99	71	14	12	64	51	66	50	60	78	22	69	51	96	37
65	43	75	12	91	20	36	25	57	92	33	65	95	46	75	0	6	60	25	90	16	29	34	14	43
49	98	71	31	60	59	57	32	43	7	65	6	64	75	27	29	17	6	11	30	68	70	97	67	21
3	98	66	69	39	71	67	32	14	99	42	10	25	37	30	6	27	75	43	97	54	20	69	93	50
56	4	21	34	92	69	81	52	15	92	84	11	12	66	67	7	21	6	86	8	35	39	52	26	9
48	9	36	95	36	20	82	93	32	69	92	66	50	66	17	37	92	2	23	43	63	24	69	60	91
23	97	10	96	57	74	7	95	26	44	93	8	43	30	41	86	45	74	33	78	64	33	52	76	73
43	97	55	45	96	35	69	45	96	60	46	26	39	96	33	60	20	73	30	79	17	19	3	47	26
40	5	8	50	79	69	56	19	66	46	27	96	99	24	6	94	19	15	81	29	62	14	35	88	3
66	97	10	69	2	25	36	43	71	76	0	67	56	12	69	7	69	55	63	31	50	72	20	33	36
15	62	38	72	92	3	76	9	30	75	77	60	4	24	54	67	60	0	79	26	21	60	3	48	14
77	81	15	14	67	55	24	22	20	55	36	93	67	59	37	72	22	43	46	32	56	15	75	25	12
18	67	5	9	96	45	14	72	41	46	12	67	46	72	2	59	6	17	49	12	73	28	23	52	46
8	56	53	63	66	13	7	4	46	71	39	7	46	96	40	20	об	79	11	61	74	11	23	23	17
16	7	79	57	61	42	19	66	15	12	60	21	59	12	7	4	99	66	22	39	75	16	69	13	84

Розглянемо, як користуватися таблицею випадкових чисел.

1. Вибирають будь-яке число на полі таблиці.
2. Рухаючись від даного числа в будь-якому напрямку, виписують числа від 1 до N в тому порядку, як вони зустрічаються в таблиці.
3. Встановлюють порядок реалізації дослідів.

В даному випадку необхідно провести вісім дослідів. Припустимо, що вибрала число 56, яке є початком крайнього лівого стовпця і верхнього рядка. Рухаючись вниз стовпця, виписуємо числа від 1 до 8. Ними будуть числа 4, 3, 8. Інших однозначних чисел в цьому стовпці немає. Рухаючись вправо по рядку, бачимо, що потрібних чисел немає. Тому вибираємо нове число. Нехай ним буде число 88 початку другого рядка. Рухаючись вправо від числа 88, бачимо, що потрібні числа будуть 2, 7.

Аналогічно виписуємо числа 1, 5, 6. Таким чином, маємо ряд: 4; 3; 8; 2; 7; 1; 5; 6. Це означає, що перший дослід будемо реалізувати четвертим по порядку, другий – третім, третій – восьмим, четвертий – другим, п'ятий – сьомим, шостий – першим, сьомий – п'ятим, восьмий – шостим. Цей порядок проведення дослідів записуємо в табл. 10.4.

10.7.5. Реалізація дослідів

Згідно табл. 10.4 приступають до виконання дослідів. Першим по порядку реалізують шостий дослід. Цю роботу виконують в такій послідовності.

1. Зважують у необхідній кількості компоненти суміші.
2. У лабораторних бігунах із зважених компонентів виготовляють стержневу суміш. Час перемішування відповідно до умов дослідів становить 13 хв.
3. Виготовляють з отриманої суміші кілька 8-10 шт. стандартних зразків-вісімок.

4. Виготовлені зразки поміщають в сушильну піч. Температура сушіння згідно з умовами дослідів становить 170 °С. Час сушіння при заданій температурі в усіх дослідах приймаємо 2 год.

5. Після закінчення сушіння піч відключають і зразки охолоджують до нормальної температури.

6. Охолоджені зразки піддають випробуванням на розрив. Зразки випробовують партіями по три зразка.

Аналогічну роботу виконують при реалізації решти семи дослідів відповідно до значень факторів.

Результати випробувань зводять в табл.10.6.

10.7.6. Обробка результатів дослідів

Оцінюємо помилку відтворюваності дослідів. Аналіз табл.10.6 дозволяє встановити сумнівні результати. Вони зустрічаються у 7 та 8 дослідах.

Таблиця 10.6 – Результати випробувань зразків

№ досліду	Міцність зразків на розрив, МПа		
	1 зразок	2 зразок	3 зразок
1	0,67	0,69	0,71
2	0,57	0,54	0,60
3	0,35	0,33	0,31
4	0,29	0,32	0,29
5	0,76	0,72	0,77
6	0,61	0,65	0,63
7	0,31	0,36	0,29
8	0,31	0,34	0,28

Перевіримо на помилку результати сьомого досліду.

Результати сьомого досліду: 0,31; 0,36; 0,29. Сумнівний результат – 0,29. Попередньо виключаємо його. Тоді середнє арифметичне значення міцності за двома залишеними спостереженнями:

$$\bar{y}_7 = \frac{y_7' + y_7''}{n-1} = \frac{0,31 + 0,36}{2} = 0,335.$$

Дисперсія досліду:

$$S_7^2 = \frac{(\bar{y}_7 - y_7')^2 + (\bar{y}_7 - y_7'')^2}{(n-1)-1} = \frac{(0,335 - 0,31)^2 + (0,335 - 0,36)^2}{2-1} = 0,00125.$$

Стандарт досліду:

$$S_7 = \sqrt{S_7^2} = \sqrt{0,00125} = 0,0354.$$

Розрахункове значення критерію Стьюдента:

$$\tau_{роз} = \frac{0,29 - 0,335}{0,0354} = -1,27.$$

Число ступенів свободи:

$$f = (n-1) - 1 = 2 - 1 = 1.$$

Приймаємо рівень значущості, рівний 0,05.

За табл.10.7 визначаємо табличне значення критерію Стьюдента:

Таблиця 10.7 – Критичні значення критерію Стюдента τ при $\alpha = 0,05$

Число ступенів свободи	Значення τ критерія Стюдента	Число ступенів свободи	Значення τ критерія Стюдента	Число ступенів свободи	Значення τ критерія Стюдента
1	12,71	11	2,201	21	2,08
2	4,303	12	2,179	22	2,074
3	3,182	13	2,160	23	2,069
4	2,776	14	2,154	24	2,064
5	2,571	15	2,131	25	2,060
6	2,447	16	2,120	26	2,056
7	2,365	17	2,110	27	2,052
8	2,306	18	2,101	28	2,048
9	2,262	19	2,093	29	2,042
10	2,228	20	2,086	30	2,042

При $f = 1$ і $\alpha = 0,05$ $\tau_{\text{табл.}} = \tau_f = 12,71$. Оскільки виконується умова $\tau_{\text{роз}} = 1,27 \leq \tau_{\text{табл.}} = 12,71$, сумнівний результат сьомого дослідів 0,29 не є помилковим. Аналогічно перевіряють сумнівні результати в інших дослідів.

Проведені розрахунки показують, що помилкових результатів в дослідів немає.

Визначаємо середнє арифметичне значення параметра оптимізації в кожному досліді:

$$y_1 = \frac{y_1' + y_1'' + y_1'''}{3} = \frac{0,67 + 0,69 + 0,71}{3} = \frac{2,07}{3} = 0,69;$$

$$y_2 = \frac{y_2' + y_2'' + y_2'''}{3} = \frac{0,57 + 0,54 + 0,60}{3} = \frac{1,71}{3} = 0,57;$$

$$y_3 = \frac{y_3' + y_3'' + y_3'''}{3} = \frac{0,35 + 0,33 + 0,31}{3} = \frac{0,99}{3} = 0,33;$$

$$y_4 = \frac{y_4' + y_4'' + y_4'''}{3} = \frac{0,29 + 0,32 + 0,29}{3} = \frac{0,90}{3} = 0,30;$$

$$y_5 = \frac{y_5' + y_5'' + y_5'''}{3} = \frac{0,76 + 0,72 + 0,77}{3} = \frac{2,25}{3} = 0,75;$$

$$y_6 = \frac{y_6' + y_6'' + y_6'''}{3} = \frac{0,61 + 0,65 + 0,63}{3} = \frac{1,89}{3} = 0,63;$$

$$y_7 = \frac{y_7' + y_7'' + y_7'''}{3} = \frac{0,31 + 0,36 + 0,29}{3} = \frac{0,96}{3} = 0,32;$$

$$y_8 = \frac{y_8' + y_8'' + y_8'''}{3} = \frac{0,31 + 0,34 + 0,28}{3} = \frac{0,93}{3} = 0,31.$$

Обчислюємо дисперсію і стандарт кожного досліду:

$$S_1^2 = \frac{(y_1 - y_1')^2 + (y_1 - y_1'')^2 + (y_1 - y_1''')^2}{n-1} = 0,0004; \quad S_1 = \sqrt{S_1^2} = \sqrt{0,0004} = 0,2;$$

$$S_2^2 = \frac{(y_2 - y_2')^2 + (y_2 - y_2'')^2 + (y_2 - y_2''')^2}{n-1} = 0,0009; \quad S_2 = \sqrt{S_2^2} = \sqrt{0,0009} = 0,3;$$

$$S_3^2 = \frac{(y_3 - y_3')^2 + (y_3 - y_3'')^2 + (y_3 - y_3''')^2}{n-1} = 0,0004; \quad S_3 = \sqrt{S_3^2} = \sqrt{0,0004} = 0,2;$$

$$S_4^2 = \frac{(y_4 - y_4')^2 + (y_4 - y_4'')^2 + (y_4 - y_4''')^2}{n-1} = 0,0003; \quad S_4 = \sqrt{S_4^2} = \sqrt{0,0003} = 0,017;$$

$$S_5^2 = \frac{(y_5 - y_5')^2 + (y_5 - y_5'')^2 + (y_5 - y_5''')^2}{n-1} = 0,0007; \quad S_5 = \sqrt{S_5^2} = \sqrt{0,0007} = 0,026;$$

$$S_6^2 = \frac{(y_6 - y_6')^2 + (y_6 - y_6'')^2 + (y_6 - y_6''')^2}{n-1} = 0,0004; \quad S_6 = \sqrt{S_6^2} = \sqrt{0,0004} = 0,2;$$

$$S_7^2 = \frac{(y_7 - y_7')^2 + (y_7 - y_7'')^2 + (y_7 - y_7''')^2}{n-1} = 0,0013; \quad S_7 = \sqrt{S_7^2} = \sqrt{0,0013} = 0,036;$$

$$S_8^2 = \frac{(y_8 - y_8')^2 + (y_8 - y_8'')^2 + (y_8 - y_8''')^2}{n-1} = 0,0009; \quad S_8 = \sqrt{S_8^2} = \sqrt{0,0009} = 0,3;$$

Визначаємо дисперсію експерименту:

$$S_{(y)}^2 = \frac{S_1^2 + S_2^2 + S_3^2 + S_4^2 + S_5^2 + S_6^2 + S_7^2 + S_8^2}{N} =$$

$$= \frac{0,0004 + 0,0009 + 0,0004 + 0,0003 + 0,0007 + 0,0004 + 0,0013 + 0,0009}{8} = 0,00066.$$

Найбільша дисперсія в цьому досліді, найменша – в четвертому.

Визначаємо розрахункове значення критерію Фішера:

$$F_{\text{роз}} = \frac{S_{\text{max}}^2}{S_{\text{min}}^2} = \frac{S_7^2}{S_4^2} = \frac{0,0013}{0,0003} = 4,33.$$

За табл. 10.8 знаходимо табличне значення критерію Фішера.

В даному випадку $f_1 = 2$, $f_2 = 2$. При $\alpha = 0,05$ $F_{\text{табл.}} = F_{0,05}^{2;2} = 19,0$.

Оскільки виконується умова $F_{\text{роз}} = 4,33 < F_{0,05}^{2;2} = 19,0$, гіпотеза про однорідність дисперсії не відкидається.

Визначаємо коефіцієнти математичної моделі:

$$b_0 = \frac{\bar{y}_1 + \bar{y}_2 + \bar{y}_3 + \bar{y}_4 + \bar{y}_5 + \bar{y}_6 + \bar{y}_7 + \bar{y}_8}{8} = 0,4875;$$

$$b_1 = \frac{\bar{y}_1 - \bar{y}_2 + \bar{y}_3 - \bar{y}_4 + \bar{y}_5 - \bar{y}_6 + \bar{y}_7 - \bar{y}_8}{8} = 0,0350;$$

$$b_2 = \frac{\bar{y}_1 + \bar{y}_2 - \bar{y}_3 - \bar{y}_4 + \bar{y}_5 + \bar{y}_6 - \bar{y}_7 - \bar{y}_8}{8} = 0,1725;$$

$$b_3 = \frac{\bar{y}_1 + \bar{y}_2 + \bar{y}_3 + \bar{y}_4 - \bar{y}_5 - \bar{y}_6 - \bar{y}_7 - \bar{y}_8}{8} = -0,015;$$

$$b_4 = \frac{\bar{y}_1 - \bar{y}_2 - \bar{y}_3 + \bar{y}_4 - \bar{y}_5 + \bar{y}_6 + \bar{y}_7 - \bar{y}_8}{8} = -0,0025;$$

$$b_5 = \frac{\bar{y}_1 + \bar{y}_2 - \bar{y}_3 - \bar{y}_4 - \bar{y}_5 - \bar{y}_6 + \bar{y}_7 + \bar{y}_8}{8} = -0,015;$$

Таблиця 10.8 – Критичні значення критерію Фішера для
рівня значущості $\alpha = 0,05$.

f_2	f_1								
	1	2	3	4	5	6	12	24	
1	164,4	199,5	215,7	224,6	230,2	234,0	244,0	249,0	254,3
2	18,5	19,2	19,2	19,3	19,3	19,3	19,4	19,4	19,5
3	10,1	8,6	9,3	9,1	9,0	8,9	8,7	8,6	8,5
4	7,7	6,9	6,6	6,4	6,3	6,2	5,9	5,8	5,6
5	6,6	5,8	5,4	5,2	5,1	5,0	4,7	4,5	4,4
6	6,0	5,1	4,6	4,5	4,4	4,3	4,0	3,8	3,7
7	5,5	4,7	4,4	4,1	4,0	3,9	3,9	3,4	3,2
6	5,3	4,5	4,1	3,8	3,7	3,6	3,3	3,1	2,9
9	5,1	4,3	3,9	3,6	3,5	3,4	3,1	2,9	2,7
10	5,0	4,1	3,7	3,5	3,3	3,2	2,9	2,7	2,5
11	4,8	4,0	3,6	3,4	3,2	3,1	2,8	2,6	2,4
12	4,8	3,9	3,5	3,3	3,1	3,0	2,7	2,5	2,3
13	4,7	3,8	3,4	3,2	3,0	2,9	2,6	2,4	2,2
14	4,6	3,7	3,3	3,1	3,0	2,9	2,5	2,3	2,1
15	4,5	3,7	3,3	3,1	2,9	2,8	2,5	2,3	2,1
16	4,5	3,6	3,2	3,00	2,9	2,7	2,4	2,2	2,0
17	4,5	3,6	3,2	3,00	2,8	2,7	2,4	2,2	2,0
16	4,4	3,6	3,2	2,9	2,8	2,7	2,3	2,1	1,9
19	4,4	3,5	3,1	2,9	2,7	2,6	2,3	2,1	1,9
20	4,4	3,5	3,1	2,9	2,7	2,6	2,3	2,1	1,8
22	4,3	3,4	3,1	2,8	2,7	2,6	2,3	2,2	1,8
24	4,3	3,4	3,0	2,8	2,6	2,5	2,2	2,0	1,7
26	4,2	3,4	3,0	2,7	2,6	2,5	2,2	2,0	1,7
28	4,2	3,3	3,0	2,7	2,6	2,4	2,1	1,9	1,7
30	4,2	3,3	2,9	2,7	2,5	2,4	2,1	1,9	1,6
40	4,0	3,2	2,9	2,6	2,5	2,3	2,0	1,8	1,5
60	4,0	3,2	2,8	2,5	2,4	2,3	1,9	1,7	1,4
120	3,8	3,1	2,7	2,6	2,4	2,2	2,2	2,1	1,3
	3,8	3,0	2,6	2,4	2,2	2,1	1,8	1,5	1,0

Математична модель має вигляд:

$$y = 0,4875 + 0,035X_1 + 0,1725X_2 - 0,015X_3 - 0,0025X_4 - 0,015X_5. \quad (10.18)$$

Визначаємо дисперсію і стандарт коефіцієнтів регресії математичної моделі:

$$S_{(bk)}^2 = \frac{S_{(y)}^2}{N} = \frac{0,00066}{8} = 0,0000825;$$

$$S_{(bk)} = \sqrt{S_{(bk)}^2} = \sqrt{0,0000825} = 0,0091.$$

Обчислюємо довірчий інтервал:

$$\Delta b_k = \tau_{\alpha;N} S_{(bk)} = \tau_{0,05;16} S_{(bk)}. \quad (10.19)$$

В попередньому виразі $\tau_{0,05;16}$ – табличне значення критерію Стьюдента при рівні значущості $\alpha = 0,05$ і числі ступенів свободи $f = N(n - 1) = 8 \cdot (3 - 1) = 16$. За табл. 10.7 знаходимо $\tau_{0,05;16} = 2,12$. Тоді довірчий інтервал $\Delta b_k = 2,12 \cdot 0,0091 = 0,019$.

Відповідно, значущими коефіцієнтами математичної моделі є коефіцієнти b_0, b_1, b_2 . Решта коефіцієнтів регресії незначущі та можуть бути відкинуті. Математична модель в цьому випадку буде мати вигляд:

$$y = 0,4875 + 0,035 X_1 + 0,1725 X_2. \quad (10.20)$$

Визначаємо розрахункові значення параметра оптимізації для кожного досліджу:

$$\begin{aligned} y_{1\text{роз}} &= 0,4875 + 0,035 + 0,1725 - 0,015 - 0,0025 - 0,015 = 0,6625; \\ y_{2\text{роз}} &= 0,4875 - 0,035 + 0,1725 - 0,015 + 0,0025 - 0,015 = 0,5975; \\ y_{3\text{роз}} &= 0,4875 + 0,035 - 0,1725 - 0,015 + 0,0025 + 0,015 = 0,3525; \\ y_{4\text{роз}} &= 0,4875 - 0,035 - 0,1725 - 0,015 - 0,0025 + 0,015 = 0,2775; \\ y_{5\text{роз}} &= 0,4875 + 0,035 + 0,1725 + 0,015 + 0,0025 + 0,015 = 0,7275; \\ y_{6\text{роз}} &= 0,4875 - 0,035 + 0,1725 + 0,015 - 0,0025 + 0,015 = 0,6525; \\ y_{7\text{роз}} &= 0,4875 + 0,035 - 0,1725 + 0,015 - 0,0025 - 0,015 = 0,3475; \\ y_{8\text{роз}} &= 0,4875 - 0,035 - 0,1725 + 0,015 + 0,0025 - 0,015 = 0,2825. \end{aligned}$$

Розраховуємо різницю між розрахунковими і середніми арифметичними експериментальними значеннями параметра оптимізації для кожного досліді:

$$\begin{aligned}\Delta y_1 &= 0,69 - 0,6625 = 0,0275; & \Delta y_1^2 &= 0,00075625; \\ \Delta y_2 &= 0,57 - 0,5975 = -0,0275; & \Delta y_2^2 &= 0,00075625; \\ \Delta y_3 &= 0,33 - 0,3525 = -0,0225; & \Delta y_3^2 &= 0,00050625; \\ \Delta y_4 &= 0,30 - 0,2775 = 0,0225; & \Delta y_4^2 &= 0,00050625; \\ \Delta y_5 &= 0,75 - 0,7275 = 0,0225; & \Delta y_5^2 &= 0,00050625; \\ \Delta y_6 &= 0,63 - 0,6525 = -0,0225; & \Delta y_6^2 &= 0,00050625; \\ \Delta y_7 &= 0,32 - 0,3475 = 0,0275; & \Delta y_7^2 &= 0,00075625; \\ \Delta y_8 &= 0,31 - 0,2825 = 0,0275; & \Delta y_8^2 &= 0,00075625.\end{aligned}$$

Визначаємо дисперсію адекватності. В даному випадку в кожному досліді проводилося по три паралельних спостереження. Тому дисперсію адекватності обчислюємо за формулою (10.11):

$$\begin{aligned}S_{(ad)}^2 &= \frac{n(\Delta y_1^2 + \Delta y_2^2 + \Delta y_3^2 + \Delta y_4^2 + \Delta y_5^2 + \Delta y_6^2 + \Delta y_7^2 + \Delta y_8^2)}{N - b} = \\ &= \frac{3 \cdot (0,00075625 \cdot 4 + 0,00050625 \cdot 4)}{8 - 6} = 0,007575.\end{aligned}$$

Розраховуємо значення критерія Фішера:

$$F_{роз} = \frac{S_{(ad)}^2}{S_{(y)}^2} = \frac{0,007575}{0,00066} = 11,4773.$$

За табл 10.8 визначаємо табличне значення критерію Фішера.

В даному випадку $f_1 = 8 - 6 = 2$, $f_2 = 8 \cdot (3 - 1) = 16$. При $\alpha = 0,05$
 $F_{табл.} = F_{0,05}^{2;16} = 3,6$. Оскільки **не виконується** умова $F_{роз} = 11,4772 < F_{0,05}^{2;16} =$
 $3,6$, математична модель **неадекватна**.

10.7.7. Інтерпретація отриманих результатів і ухвалення рішення

В результаті обробки дослідних даних отримали неадекватну математичну модель. Це означає, що поверхню відгуку не вдається апроксимувати площиною.

Для неадекватної моделі не будемо робити різниці між випадками значущих і незначущих лінійних коефіцієнтів регресії, оскільки рішення для них зазвичай збігаються.

У даному випадку можуть бути прийняті наступні рішення:

1. Зміна інтервалів варіювання з перенесенням центру плану. Це цілком прийнятне рішення. Інтервали варіювання потрібно змінити по X_1 і X_2 . Зміну інтервалів варіювання можна доповнити перенесенням центру експерименту в умових дослідів 1 або 5, які дають найкращі результати.

При прийнятті рішення необхідно враховувати, що досліді вимагають багато часу, трудових, матеріальних та енергетичних ресурсів.

2. Рух по градієнту. Це рішення в даній ситуації цілком прийнятне, оскільки кілька дослідів крутого сходження відповідають меті досягнення максимальної міцності суміші з мінімальними витратами. Однак при цьому існує ризик не отримати покращення результатів.

10.7.8 Круте сходження

Для руху по градієнту робимо розрахунок кроку. Рух починається обов'язково від основного рівня. Після розрахунку складають умови 5...10 уявних дослідів. Реалізація двох або трьох уявних дослідів і аналіз отриманих даних дозволяє визначити оптимум параметра оптимізації.

Етап крутого сходження для даного випадку представлений в табл.10.9.

Таблиця 10.9 – Круте сходження при оптимізації складу стержневої суміші

№	Вивчаємі фактори	СДБ, %	КО, %	Вода, %	Час, хв	t, °C	Міцність суміші, МПа	
							Уексп	Уроз
1	Основний рівень	2	2	4	10	200		
2	Інт. варіювання	1	1	1	3	30		
3	Верхній рівень(+1)	3	3	5	13	230		
4	Нижній рівень(-1)	1	1	3	7	170		
5	Код	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅		
6	Дослід 1	+	+	+	+	+	0,69	0,6625
7	Дослід 2	–	+	+	–	+	0,57	0,5975
8	Дослід 3	+	–	+	–	–	0,33	0,3525
9	Дослід 4	–	–	+	+	–	0,30	0,2775
10	Дослід 5	+	+	–	–	–	0,75	0,7275
11	Дослід 6	–	+	–	+	–	0,63	0,6525
12	Дослід 7	+	–	–	+	+	0,32	0,3475
13	Дослід 8	–	–	–	–	+	0,31	0,2825
14	Коеф. регресії	0,35	1,725	–0,15	–0,025	–0,15		
15	Коеф. варіювання	0,35	1,725	–0,15	–0,075	–4,5		
16	Крок до округл.	0,101	0,50	–0,043	–0,021	1,30		
17	Крок після округл.	0,10	0,50	–0,04	0,02	1,30		
18	Реальний дослід 1	2,1	2,5	4,0	10	200	0,65	0,5772
19	Реальний дослід 2	2,2	3,0	4,0	10	200	0,79	0,6670
20	Реальний дослід 3	2,3	3,5	4,0	10	200	0,52	0,7567
21	Уявний дослід 4	2,4	4,0	4,0	10	200		0,8465
22	Реальний дослід 5	2,5	4,5	4,0	10	200	0,48	0,9362
23	Уявний дослід 6	2,6	5,0	4,0	10	200		1,0260
24	Уявний дослід 7	2,7	5,5	4,0	10	200		1,1157
25	Уявний дослід 8	2,8	6,0	4,0	10	200		1,2055
26	Уявний дослід 9	2,9	6,5	4,0	10	200		1,2952
27	Реальний дослід 10	3,0	7,0	4,0	10	200	0,32	1,385

Розглянемо докладніше етап крутого сходження в даному прикладі. Рядки 1 – 5 в табл. 10.9 являють собою умови експерименту, раніше записані в табл. 10.2.

Рядки 6 – 13 являють собою матрицю планування 1/4-репліки, записану раніше в табл. 10.2. Тут же в стовпцях 8 – 9 записані відповідні арифметичні експериментальні та розрахункові значення параметра оптимізації кожного досліджу.

У рядках 14 – 17 представлені розрахунок кроку для кожного фактору при русі по градієнту. Визначається крок у такий спосіб:

1. У рядок 14 проти кожного фактору записуємо відповідно коефіцієнт регресії (для $X_1 - 0,035$; для $X_2 - 0,1725$ і т.д.).

2. Множимо відповідний коефіцієнт регресії на відповідний інтервал варіювання. Будемо мати:

$$\begin{aligned}b_1 \Delta X_1 &= 0,035 \cdot 1 = 0,035; \\b_2 \Delta X_2 &= 0,1725 \cdot 1 = 0,1725; \\b_3 \Delta X_2 &= -0,015 \cdot 1 = -0,015; \\b_4 \Delta X_4 &= -0,0025 \cdot 3 = -0,0075; \\b_5 \Delta X_5 &= -0,015 \cdot 50 = -0,45.\end{aligned}$$

3. Приймаємо крок для вмісту КО (X_2) при русі по градієнту $\Delta z = 0,5 \%$. Тоді кроки для решти факторів при русі по градієнту повинні бути пропорційні кроку при X_2 . Підраховують їх наступним чином:

$$\text{- для } X_1: \frac{b_2 \Delta X_2}{b_1 \Delta X_1} = \frac{\Delta Z}{\Delta 1}, \text{ звідки } \Delta 1 = \frac{\Delta Z \cdot b_1 \cdot \Delta X_1}{b_2 \cdot \Delta X_2} = \frac{0,5 \cdot 0,035}{0,1725} = 0,101,$$

округляємо його до $\Delta 1 = 0,10$;

$$\text{- для } X_3: \Delta 3 = \frac{\Delta Z \cdot b_3 \cdot \Delta x_3}{b_2 \cdot \Delta x_2} = \frac{0,05 \cdot 0,015}{0,1725} = 0,043, \text{ округляємо його до}$$

$$\Delta 3 = 0,04;$$

- для X_4 : $\Delta 4 = \frac{\Delta Z \cdot b_4 \cdot \Delta x_4}{b_2 \cdot \Delta x_2} = \frac{0,5 \cdot 0,0075}{0,1725} = 0,021$, округляємо його до $\Delta 3 = 0,02$;
- для X_5 : $\Delta 5 = \frac{\Delta Z \cdot b_5 \cdot \Delta x_5}{b_2 \cdot \Delta x_2} = \frac{0,5 \cdot 0,45}{0,1725} = 1,30$.

4. Рух по градієнту починаємо від основного рівня. У зв'язку з малим впливом на міцність суміші факторів X_3 , X_4 , X_5 стабілізуємо їх на основному рівні. Отже, варіюватися будуть лише фактори X_1 і X_2 . Значення фактору в кожному досліді одержують шляхом алгебраїчного додавання до основного рівня величини кроку (з урахуванням знаку коефіцієнта регресії). Отримані таким чином умови уявних дослідів записуються в рядки 16...27. Наприклад, умови третього уявного дослідів будуть записані наступним чином:

$$X_{1,3} = 2 + 3 \cdot 0,1 = 2,3, \quad (10.21)$$

де $X_{1,3}$ – значення першого фактору (вміст СДБ, % за масою) в третьому уявному досліді; 3 – послідовність уявного дослідів; 0,1 – крок для першого фактору при руху по градієнту.

Відповідно, для решти факторів умови третього уявного дослідів визначаються аналогічно:

$$X_{2,3} = 2 + 3 \cdot 0,5 = 3,5; \quad X_{3,3} = 4,0; \quad X_{4,3} = 10; \quad X_{5,3} = 200.$$

Далі аналогічно розраховують значення факторів у всіх уявних дослідів. Слід звернути увагу на те, що значення факторів в уявних дослідів записані в натуральному масштабі.

5. В останньому стовпчику табл. 10.9 записані розрахункові (очікувані) значення параметра оптимізації уявних дослідів. Ці величини одержують у такий спосіб (наприклад, для восьмого уявного дослідів, рядок 25):

а) Визначаємо кодоване значення факторів:

$$X_1 = \frac{X_1 - X_{1,0}}{X_1} = \frac{2,8 - 2}{1} = 0,8; \quad (10.22)$$

$$X_2 = \frac{X_2 - X_{2,0}}{X_2} = \frac{6,0 - 2,0}{1} = 4,0. \quad (10.23)$$

б) Для факторів X_3, X_4, X_5 кодові значення не розраховуємо, тому що вони стабілізовані на основному рівні.

в) Визначаємо $y_{\text{роз}}$ для восьмого уявного дослідів. Для цього використовуємо рівняння (10.20):

$$y_{8, \text{роз}} = 0,4875 + 0,035 X_1 + 0,1725 X_2 = 0,4875 + 0,035 \cdot 0,8 + 0,1725 \cdot 4 = 1,2055$$

г) Аналогічно визначають $y_{i, \text{роз}}$ для всіх інших уявних дослідів.

Слід звернути увагу, що для отриманої математичної моделі (10.20) зі збільшенням вмісту компонентів X_1 і X_2 розрахункове значення міцності суміші буде весь час збільшуватися, що є нереальним.

6. Для визначення оптимального складу суміші реалізуємо декілька уявних дослідів. Для цього скористаємося методом "ножиць". Реалізуємо два крайніх уявних дослідів – перший і десятий (рядки 18 і 27), а потім намітимо інтервал між ними. Для цього реалізуємо шостий уявний дослід (рядок 23). Отримані експериментальні дані (0,65; 0,48; 0,32) настановляють на думку, що оптимум параметрів оптимізації знаходиться між значеннями 0,65 і 0,48. Для точного визначення оптимуму реалізуємо ще два уявних дослідів – другий і третій. Припущення вірні. Можна вважати, що значення міцності, рівне 0,79 МПа (другий реалізований уявний дослід) є оптимальним.

В результаті виконаного дослідження встановлено, що найбільшу міцність в сухому стані має формувальна суміш наступного складу, % за масою: СДБ – 2,2%; КЗ – 3,0 %; волога – 4,0 %; пісок кварцевий – 90,8 %.

Слід зробити зауваження, що склад суміші було оптимізовано лише за міцністю в сухому стані. Однак стержнева суміш повинна володіти іншими властивостями – газопроникністю, міцністю в сирому стані, податливістю, тощо, які виступають в дослідженні як обмеження.

Описана методика дозволяє проводити аналогічні дослідження для інших видів суміші а також інших параметрів оптимізації.

ЛИТЕРАТУРА

1. Титов Н. Д., Степанов Ю. А. Технология литейного производства: Учебник для машиностроительных техникумов. 2-е изд. перераб. – М.: Машиностроение, 1987. 342 с.
2. Берг П.П. Формовочные материалы. – М.: Машгиз, 1963. – 408 с.
3. Туманский А.П. Формовочные пески. – М.: Машгиз, 1965. – 236 с.
4. Туманский А.П. Формовочные глины. – М.: ЦБТИ, 1957. – 150 с.
5. Медведев Я.И., Валисовский И.В. Технологические испытания формовочных материалов. – М.: Машиностроение, 1973. – 310 с.
6. Адлер Ю.П., Марков Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М.: Наука, 1971.–284 с.
7. Степанов Ю.А., Семенов В.И. Формовочные материалы. – М.: Машиностроение, 1967. – 158 с.
8. Рыжков А.А. Технологические основы литейного производства. – М.: Машгиз, 1962. – 526 с.
9. Гуляев Б.Б., Корнюшкин О.А., Кузин А.В. Формовочные процессы. – Л.: Машиностроение, 1987. – 262 с.
10. Орлов Г.М. Автоматизация и механизация процесса изготовления литейных форм. – М.: Машиностроение, 1988. – 258 с.
11. Рыбкин В.А. Ручное изготовление литейных форм. – М.: Высшая школа, 1986. – 197 с.
12. Озеров В.А., Муркина А.С., Сосненко М.Н. Основы литейного производства. – М.: Высшая школа, 1987. – 302 с.
13. Аксенов П.Н. Технология литейного производства. – М.: Машгиз, 1957. – 664 с.
14. Носова Е.М. Справочник литейщика. Изд. 2-е. – К.: Гостехиздат, 1961. – 610 с.
15. Яценко А.А. Модельное дело. – Л.: Машиностроение, 1982. – 69 с.

16. Дорошенко С.П. Формовочные материалы и смеси. – Киев: Выща школа, 1990. – 415 с.
17. Десницкий В.В. Автоматизированное проектирование технологии изготовления отливок. – Л.: ЛГУ, 1987. – 162 с.
18. Жевтунов П.П. Технология литейного производства. – М.: Машгиз, 1957. – 430 с.
19. Жуковский С.С., Лясс А.М. Формы и стержни из холоднотвердеющих смесей. – М.: Машиностроение, 1978. – 221 с.
20. Дмитривич А.М. Справочник литейщика. – Минск: Вышэйшая школа, 1989. – 390 с.
21. ГОСТ 2138–91. Пески формовочные.
22. ГОСТ 3226–93. Глины формовочные. Общие требования.
23. ГОСТ 23409.0–78. Пески формовочные, смеси формовочные и стержневые. Общие требования к методам испытаний.
24. ГОСТ 23409.6–78. Пески формовочные, смеси формовочные и стержневые. Метод определения газопроницаемости.
25. ГОСТ 23409.7–78. Пески формовочные, смеси формовочные и стержневые. Методы определения прочности на сжатие, растяжение, изгиб и срез.
26. ГОСТ 23409.0–78. Пески формовочные, смеси формовочные и стержневые. Метод определения осыпаемости.
27. ГОСТ 23409.0–78. Пески формовочные, смеси формовочные и стержневые. Метод определения газотворности.
28. ГОСТ 23409.0–78. Пески формовочные, смеси формовочные и стержневые. Метод определения формы зерен.
29. ГОСТ 23409.0–78. Пески формовочные, смеси формовочные и стержневые. Методы определения гранулометрического состава, модуля мелкости и среднего размера песчаной основы.