

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет України
„Київський політехнічний інститут”

РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ І СИРОВИННІ МАТЕРІАЛИ
СИЛІКАТНИХ ВИРОБНИЦТВ

Навчальний посібник

Київ - 2015

Свідерський В.А., Черняк Л.П., Сальник В.Г., Пахомова В.М., Сікорський О.О. Ресурсозбереження і сировинні матеріали силікатних виробництв [Текст] навчальний посібник / В.А. Свідерський, Л.П. Черняк, В.Г. Сальник, В.М. Пахомова, О.О. Сікорський: – К.: НТУУ «КПІ», 2014. – 92 с.

Рекомендовано Вченою радою Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» (Протокол № 12 від 29 грудня 2014 р.)

*Автори – Свідерський Валентин Анатолійович, д.т.н., професор
Черняк Лев Павлович, д.т.н., с.н.с.
Сальник Валерій Григорович, д.т.н.
Пахомова Вікторія Миколаївна, асистент
Сікорський Олексій Олексійович, асистент*

Рецензенти: Гоц Володимир Іванович, д.т.н., професор, декан будівельно-технологічного факультету Київського національного університету будівництва і архітектури;

Петухов Аркадій Дем'янович, д.т.н., професор, професор кафедри хімічної технології композиційних матеріалів НТУ України «КПІ»

У навчальному посібнику подано зміст дисципліни підготовки бакалаврів напрямку 6.051301 - Хімічна технологія. Показано зв'язок проблем хімічної технології силікатів, ресурсозбереження і охорони довкілля. Наведено основні терміни та визначення щодо сировинних і енергетичних ресурсів, їх класифікація, уявлення про природну і техногенну сировину, аналіз традиційних і альтернативних джерел енергії з застосуванням поняття про умовне паливо, методичні засади перерахунків витрат натурального і умовного палива із урахуванням відмінностей одиниць виміру енергії в Україні та ЄС. Викладено основні організаційно-технічні і технологічні заходи з ресурсозбереження силікатних виробництв, вказано значення енергетичного менеджменту і аудиту для розробки та впровадження вказаних заходів. Як важливу методичну частину вивчення дисципліни викладено зміст лабораторних і типових контрольних робіт, перелік основних літературних джерел і стандартів України.

Навчальний посібник призначено для студентів спеціальності «Хімічні технології тугоплавких неметалевих і силікатних матеріалів», слухачів системи підвищення кваліфікації і спеціалістів силікатних виробництв промисловості будівельних матеріалів.

© В.А. Свідерський, Л.П. Черняк,
В.Г. Сальник, В.М. Пахомова,
О.О. Сікорський. 2014

ЗМІСТ

1.	Мета і програма курсу	5
2.	Загальні відомості про ресурсозбереження	5
2.1.	Основні задачі ресурсозбереження	11
2.2.	Базові терміни	11
2.3.	Класифікація ресурсів	13
2.4.	Сировинні ресурси	15
2.5.	Енергетичні ресурси	18
2.6.	Ресурсний потенціал підприємства	20
2.7.	Теплова енергія	22
2.8.	Енергія та паливо	25
2.9.	Альтернативні види енергії та палива	28
2.10.	Умовне паливо	32
2.11.	Напрямки ресурсозбереження	34
2.12.	Заходи з ресурсозбереження	37
2.13.	Енергетичний менеджмент і аудит	41
2.14.	Матеріаломісткість і ефективність виробництва	42
3.	Типові контрольні роботи та задачі	44
4.	Лабораторні роботи	47
4.1.	Подрібнення портландцементного клінкеру в присутності поверхнево-активних речовин	47
4.2.	Оцінка можливості використання базальтів у технології виробництва портландцементу	51
4.3.	Зменшення вологості шламу під впливом поверхнево-активних речовин та електролітів	55

4.4.	Визначення типу цементу з техногенною сировиною за якісними характеристиками	61
4.5.	Визначення характеристик цементу за вмістом техногенної добавки	70
4.6.	Визначення властивостей гіпсоцементнопуцоланового в'язучого (ГЦПВ)	76
4.7.	Визначення корозійної стійкості цементів з техногенними добавками	82
	Бібліографічний список	89

1. МЕТА І ПРОГРАМА КУРСУ

При вивченні курсу «Ресурсозбереження і сировинні матеріали силікатних виробництв» студенти одержують уявлення про глобальне, державне та галузеве значення ресурсозбереження, вміння оцінювати ефективність використання різних видів енергетичних ресурсів, вміння аналізувати ефективність підприємства (проекту, бізнес-плану) через показники питомих витрат енергетичних і сировинних ресурсів, отримують базові знання про ефективність модернізації силікатних виробництв шляхом застосування перспективних і альтернативних енергетичних ресурсів, комплексного використання природної та техногенної сировини, впровадження сучасних методів фізико-хімічного регулювання технологічних параметрів.

Вивчення курсу складається з наступних видів занять:

- лекції та консультації з основних розділів дисципліни;
- самостійне вивчення навчального матеріалу;
- лабораторні заняття;
- контрольні роботи.

В процесі вивчення дисципліни студенти виконують дві контрольні роботи та самостійно розроблюють заходи з ресурсозбереження щодо визначеного технологічного процесу силікатного виробництва.

Нижче наведено перелік питань з програми вивчення дисципліни.

1. Загальні уявлення про ресурсозбереження. Види ресурсів. Основні терміни та визначення. Економія та раціональне використання ресурсів.

Природні ресурси та їх класифікація. Матеріальні та енергетичні

ресурси. Вичерпні та невичерпні ресурси. Відновлювальні та невідновлювальні ресурси. Замінні ресурси.

Зв'язок проблем ресурсозбереження та екології.

2. Ресурсоємність будівельних матеріалів і будівництва. Ефективність застосування силікатних матеріалів і виробів у будівництві.

Ресурсоємність будівельного комплексу України. Ресурсоємність силікатних виробництв.

Різновиди в'язучих матеріалів та стандарти. Стан виробництва цементу в світі та Україні. Основні національні виробники цементу.

3. Технічний розвиток і енергоресурси. Паливно-енергетичний комплекс України.

Основні види та запаси палива. Теплотворна здатність палива. Питомі та загальні витрати палива, електроенергії та матеріалів.

Умовне паливо та його обрахунок.

4. Основні та резервні види палива у виробництві силікатних матеріалів.

Використання природного газу та вугілля у виробництві цементу в Україні.

Альтернативні види технологічного палива та особливості його практичного застосування.

5. Мінеральні ресурси України для виробництва в'язучих матеріалів. Сировинні матеріали для виробництва цементу.

Природна та техногенна сировина. Карбонатні та глинисті компоненти сировинної суміші портландцементу. Вапняки та мергелі. Крейда та доломіт. Гіпс.

Хіміко-мінералогічний склад та технологічні властивості природної сировини.

6. Різновиди техногенної сировини для виробництва в'язучих матеріалів. Залізовмісні відходи хімічної промисловості та кольорової металургії. Металургійні шлаки. Золи теплоенергетики. Фосфогіпс.

Хіміко-мінералогічний склад та властивості техногенної сировини.

Екологічне та технологічне значення використання техногенної сировини.

Ресурсозбереження при застосуванні техногенної сировини в силікатних виробництвах.

7. Ресурсозберігаючі різновиди цементів. Композиційні та змішані цементи.

Шлакопортландцемент із застосуванням доменних гранульованих шлаків, шлаків кольорової металургії. Цементи із застосуванням паливних шлаків і золи-виносу та теплоенергетики.

Безклінкерний цемент на основі техногенної сировини.

Ресурсоємність та особливості технологічної схеми виробництва цементу.

8. Ресурсоємність повітряних в'язучих матеріалів.

Гіпс і гіпсові в'язучі. Підвищення дисперсності вихідної сировини як фактор ресурсозбереження в технології гіпсових в'язучих. Оптимізація параметрів автоклавної та термічної обробки гіпсового каменю. Застосування гідротермальної обробки гіпсового щебеню в «киплячому» шарі під тиском.

9. Організація робіт з ресурсозбереження. Технологічний регламент як базовий документ підприємства. Розробка та затвердження. Основний зміст. Обов'язковість, відповідальність та контроль виконання.

Нормування питомих витрат матеріальних і енергетичних ресурсів. Впровадження та контроль дотримання норм витрат. Лімітування та погодження норм витрат енергоресурсів.

Стимулювання працівників за економію ресурсів.

10. Технічні заходи з ресурсозбереження. Підвищення продуктивності роботи основного технологічного обладнання та збільшення обсягів виробництва.

Залежність продуктивності обертової печі від конструктивних параметрів. Особливості та обмежувальні умови застосування повітряно-кисневого дуття. Двостороннє завантаження сировинних матеріалів (2-х потокова схема). Модернізація футерування із застосуванням сучасних вогнетривких і теплоізоляційних матеріалів і виробів. Долітові вогнетриви та ефективність їх застосування.

11. Рациональне використання палива в печах випалу. Використання ефективних пальникових пристроїв, автоматичних систем управління та контролю теплотехнічних процесів. Оптимізація та контроль складу газо-повітряної суміші.

Особливості пристроїв для використання твердого та рідкого палива. Тонина помелу кам'яного вугілля та конструкція пиловугільних пальників. Диспергування та розпилення в пальниках рідкого палива. Сучасні пальники для використання альтернативних видів палива.

Логістика та ресурсозбереження. Спеціалізовані транспортні засоби як фактор ресурсозбереження.

12. Оптимізація технології виробництва. Мокрий, сухий та комбіновані способи виробництва цементу. Фактори зменшення питомих енерговитрат при сухому та комбінованих способах.

Технологія випалу портландцементного клінкеру в печах мокрого способу виробництва, що складається з двох потоків. Хіміко-технологічні основи розробки технології випалу портландцементного клінкеру з двох потоків.

13. Регулювання параметрів сировинної суміші та випалу. Коригування хімічного та шихтового складу сировинної суміші для виготовлення клінкеру. Зменшення вологості шламу із застосуванням електролітів і поверхнево-активних речовин.

Підвищення ефективності фільтрації шламу та грануляції суміші при використанні комбінованих способів.

Інтенсифікація спікання клінкеру із застосуванням добавок-мініералізаторів. Коригування хімічного та шихтового складу для виготовлення цементу необхідного типу.

14. Інтенсифікації процесу помелу цементу як фактор підвищення продуктивності виробництва і зменшення питомих енерговитрат.

Вплив добавок поверхнево-активних речовин (ПАР) на процеси помелу. Способи введення ПАР для інтенсифікації помелу. Властивості цементів з добавками ПАР.

Ефективні енергозберігаючі схеми помелу.

15. Уловлювання та використання цементного пилу. Актуальність і техніко-економічна доцільність використання пилу електрофільтрів у виробництві цементу.

Способи використання пилу електрофільтрів в печах мокрого способу виробництва: вдування пилу з холодного кінця за ланцюгову завісу, повернення пилу в піч з концентратом шламу.

Способи повернення пилу при сухому способі виробництва.

16. Ресурсозбереження при виготовленні будівельних виробів. Зменшення витрат цементу та енергозбереження в технології бетонних і залізобетонних виробів. Оптимізація складів бетонів, застосування пластифікаторів, підвищення жорсткості з ущільненням на віброустаткуванні.

Створення замкнутого циклу виготовлення та утилізації бетонних і залізобетонних конструкцій.

Ресурсозбереження у виробництві ніздрюватого бетону. Застосування техногенної сировини, оптимізація параметрів автоклавної обробки, безавтоклавна технологія ніздрюватого бетону.

Ефективність застосування композиційних гіпсових в'язучих (КГВ) в технології бетонів.

.

2. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ

2.1. Основні задачі ресурсозбереження

Основними задачами ресурсозбереження є:

- збереження палива і енергії (в тому числі електричної енергії та теплової, включаючи енергію пари, води, стисненого повітря, кисню);
- раціональне використання і економія матеріальних ресурсів;
- максимальне збереження природних ресурсів;
- дотримання рівноваги між розвитком виробництв і споживанням вторинних матеріальних ресурсів із збереженням стійкості техногенного довкілля;
- вдосконалення систем управління якості виробництва продукції, її реалізації та споживання, надання послуг;
- забезпечення економічно ефективного і безпечного використання вторинних матеріальних ресурсів.

2.2. Базові терміни

Ресурси – джерела задоволення потреб людства (суспільства), що використовуються або є потенційними.

Узагальнено ресурси поділяють на матеріальні та енергетичні (первинні та вторинні), інтелектуальні, трудові, інформаційні, фінансові, тимчасові, традиційні та нетрадиційні.

Реальні - це ресурси, що практично використовуються людством, а **потенційні** - це такі, що з певних причин (перш за все технічних) на

цей час не використовуються (наприклад, морські припливи, ресурси Місяця).

Матеріальні ресурси — це ресурси в натурально-речовинній формі, які використовуються у виробничій (господарчій) діяльності підприємства. До їх складу входять основні фонди та частка обіжних фондів.

Нематеріальні ресурси — об'єкти промислової та інтелектуальної власності, здатні приносити користь тривалий час: **ноу-хау, база знань, база даних, патент, винахід та ін.**

Ресурсозбереження – діяльність, комплекс заходів, що спрямовані на раціональне використання і економні витрати ресурсів. При цьому виділяють енергозбереження і матеріалозбереження.

Раціональне використання ресурсів передбачає досягнення максимальної ефективності їх застосування на існуючому рівні розвитку техніки і технології з одночасним зменшенням техногенного впливу на довкілля.

Економне використання ресурсів передбачає відносне скорочення їх витрат, що відтворюється у зменшенні питомих витрат ресурсів на виробництво одиниці продукції.

Вимоги до ресурсозбереження поділяються на три групи. До першої відносять вимоги щодо вдосконалення процесів, до другої – щодо ресурсоемності продукції, до третьої – щодо оптимізації витрат при експлуатації продукції.

Утилізація передбачає різновиди роботи з забезпечення ресурсозбереження, завдяки чому здійснюється переробка відбракованих виробів, матеріалів і відходів промисловості (наприклад, застосування шлаків металургії в технології цементу).

Ресурсоємність силікатних виробництв визначається питомими витратами сировинних і енергетичних ресурсів, що до цього часу перевищують рівень аналогічних підприємств країн ЄС і США.

2.3. Класифікація ресурсів

Природні ресурси – це частина сукупності природних умов і компонентів природного середовища, що використовуються (або можуть бути використані) для забезпечення потреб людства. Розроблені певні класифікації ресурсів.

Природна (генетична) - класифікація природних ресурсів (рис 1) за групами: **мінеральні** (корисні копалини), **водні**, **земельні**, **рослинні**, **животного світу**, **кліматичні**, **ресурси енергії природних процесів** (сонячне випромінювання, внутрішнє тепло Землі, енергія вітру і т.п.).

Екологічна класифікація оснований на ознаках **вичерпності та відновлюваності** запасів ресурсів (рис. 2). За цими ознаками природні ресурси поділяють на **вичерпні та невідновлювальні** (багатства надр), **вичерпні та частково відновлювальні** (дерева), **невичерпні** (космічні, кліматичні, водні).

Господарча класифікація оснований на виділенні груп природних ресурсів за можливістю їх використання.

За **технічними можливостями експлуатації** виділяють природні ресурси: **реальні**, що використовуються на даному етапі науково-технічного розвитку, та **потенційні, що виявлені**, але не можуть бути на цей час освоєні за технічними можливостями.

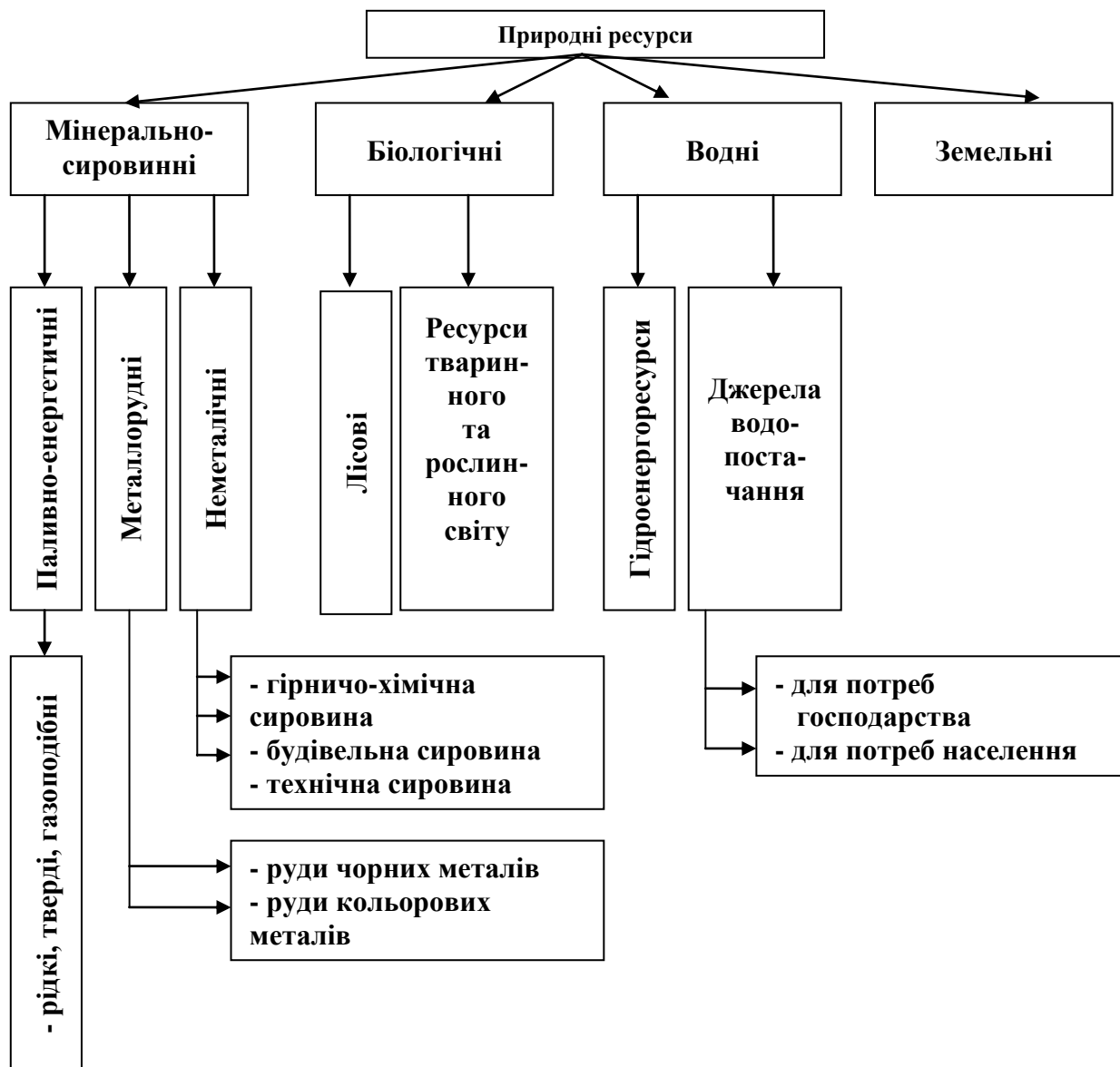


Рис. 1. Природна класифікація ресурсів

За економічною доцільністю заміни розрізняють ресурси **замінні** (всі копані енергоресурси) та **незамінні** (вода, атмосферне повітря).

До групи природних ресурсів (за природною класифікацією), до якої належать **паливно-енергетичні**, відносять рідкі, тверді, газоподібні різновиди палива, до **неметалічних** відносять гірничо-хімічні, будівельні, технічні різновиди сировини.

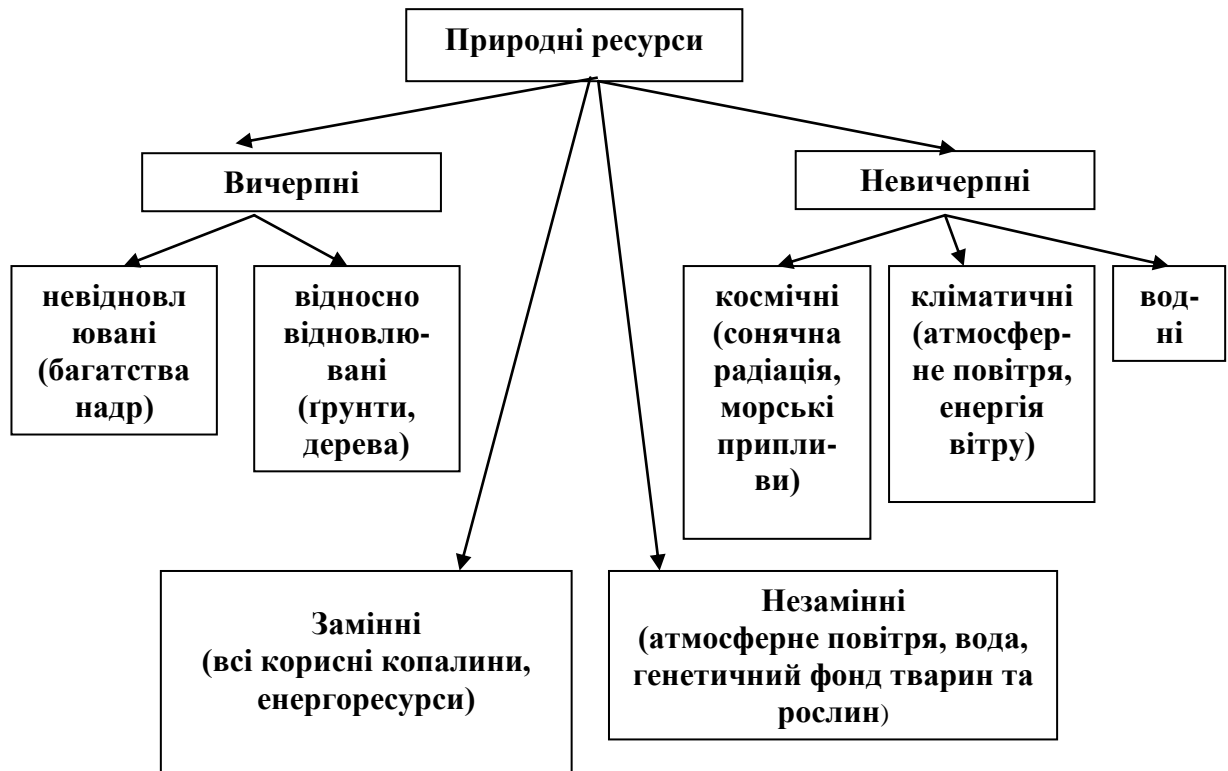


Рис. 2. Екологічна класифікація природних ресурсів

Паливно-енергетичні та **неметалічні** ресурси відносять до реальних, замінних, вичерпних і не відновлювальних (запаси надр, корисні копалини).

До групи природних ресурсів, що використовують в силікатних виробництвах, відносять паливно-енергетичні (різновиди палива і джерела енергопостачання), неметалічні (сировина), водні.

2.4. Сировинні ресурси

Сировинні ресурси необхідні для виготовлення маси (суміші) заданого хіміко-мінералогічного складу, а **енергетичні** – для забезпечення роботи технологічного обладнання, дотримання параметрів фізико-механічних і фізико-хімічних процесів виробництва.

Україна має значні запаси природної сировини для виробництва силікатних матеріалів різного призначення, в першу чергу – глин різного хіміко-мінералогічного складу (табл. 1, 2), карбонатвмісних порід (табл. 3), каолінів, кварцового піску, пегматитів та ін.

Таблиця 1

Хімічний склад тугоплавких глин

Назва проби	Вміст оксидів, мас.%									
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	в.п.п.
Веско-гранітик	57,12	28,29	0,98	1,39	0,80	0,48	0,05	0,42	2,04	8,12
Ново-райська ДН-0	51,87	30,84	0,90	1,17	1,38	0,55	0,72	0,85	1,46	10,34
Полозька ПЛГ-1	50,64	31,45	1,47	1,39	1,07	0,33	0,34	0,70	0,44	12,15
Часов-ярська ЧПК	69,08	20,30	0,83	0,94	0,55	0,33	0,08	0,31	1,66	6,35

Таблиця 2

Хімічний склад легкоплавких глин

Назва проби	Вміст оксидів, мас.%									
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	в.п.п.
Кривинська	60,96	15,66	5,57	0,79	3,33	2,04	0,16	0,30	2,70	8,48
Мало-будищанська	68,54	11,25	4,43	0,70	4,40	1,22	0,27	0,74	1,96	6,58
Мешківська	64,08	11,21	4,15	0,62	6,04	2,55	0,27	0,62	1,91	9,04

До основних видів природної сировини, що використовується у виробництві цементу, належать: природна сировина – карбонатна (вапняк, крейда, мергель), глиниста та техногенна – доменний

гранульований шлак, зола-виносу ТЕС, піритні недогарки, червоний шлам (табл. 3, 4).

Таблиця 3

Хімічний склад карбонатної сировини

Назва проби	Вміст оксидів, мас.%						
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	в.п.п.
Крейда здолбунівська	0,77	0,25	0,13	55,0	0,25	0,08	43,49
Вапняк дубовецький	3,13	0,06	1,05	52,82	0,52	0,10	42,32
Вапняк-ракушник кримський	3,32	1,26	0,49	49,62	2,92	0,05	42,34

Доцільність **введення залізовмісних компонентів** у сировинну суміш для виготовлення портландцементного клінкеру з позицій ресурсозбереження полягає у флюсуючій дії оксидів заліза, інтенсифікації процесів спікання, підвищенні продуктивності обертової печі випалу і зменшенні питомих витрат природного палива.

Доцільність **використання техногенної сировини** у виробництві силікатних матеріалів полягає у можливості розширення сировинної бази виробництва, застосуванні таких компонентів для регулювання і підвищення показників властивостей виробів, зменшенні собівартості продукції.

Основними **факторами доцільності використання відходів промисловості як техногенної сировини** є: екологічні, що визначаються зменшенням забруднення земельної території та охороною довкілля; економічні, що визначаються зменшенням витрат на будівництво і експлуатацію споруд для накопичення відходів; ресурсозберігаючі, що визначаються підвищенням рівня комплексного використання сировини, в тому числі як технологічної або як альтернативного палива.

Таблиця 4

Хімічний склад техногенної сировини

Назва проби	Вміст оксидів, мас.%									
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	в.п.п.
Шлак доменний	40,3	8,65	0,71	0,25	43,16	4,08	-	0,43	0,54	-
Піритні недогарки	16,70	4,76	70,39	0,25	1,26	1,35	0,52	0,14	0,25	2,52
Червоний шлам										
МГЗ	9,80	16,50	47,80	5,80	4,10	0,05	0,10	4,20	0,05	11,00
ЗАЛК	7,10	16,60	50,00	5,28	6,34	0,18	0,05	2,80	0,10	11,70
Зола-виносу	46,12	18,00	22,17	1,78	4,03	1,46	0,21	-	2,10	1,49

Так, до енергозберігаючого аспекту використання зношених автомобільних шин у виробництві цементу відноситься застосування як палива завдяки певній теплотворній здатності, до технологічного аспекту – застосування як залізовмісного компонента завдяки наявності металевого корду.

2.5. Енергетичні ресурси

Енергетичні ресурси — всі доступні для промислового та побутового використання джерела різновидів енергії: механічної, теплової, хімічної, електричної, ядерної.

Паливно-енергетичні ресурси – це сукупність природних і виробничих енергоносіїв, запасена енергія яких при існуючому рівні розвитку техніки і технології доступна для використання у господарчій

діяльності.

Значення енергетичних ресурсів полягає в забезпеченні потреб людства у побуті, транспорті, зв'язку, промисловому і агропромисловому господарстві. Метою енергозбереження є поступове скорочення витрат природного палива як вичерпних джерел постачання шляхом застосування новітніх і невичерпних джерел енергії – ядерної, сонячної, вітру та ін., а також різновидів відходів як альтернативного палива.

Серед первинних енергоресурсів розрізняють невідновлювальні та відновлювальні.

До невідновлювальних енергоресурсів відносять у першу чергу органічні види мінерального палива, що видобуваються із земних надр: нафта, природний газ, вугілля, горючі сланці, торф.

До відновлювальних (практично невичерпних) енергоресурсів належать гідроенергія (гідрравлічна енергія річок), а також так звані нетрадиційні (або альтернативні) джерела енергії: сонячна, вітрова, енергія внутрішнього тепла Землі (в тому числі геотермальна), тепла енергія океанів, енергія припливів і відливів.

Раціональне і економне використання природних і енергетичних ресурсів зменшує негативний техногенний вплив на довкілля.

Значення економного використання природних ресурсів для окремого підприємства полягає в зменшенні собівартості та підвищенні ефективності виробництва, для України – в підвищенні ефективності господарства, вирішенні питань екології та охорони довкілля, скороченні імпорту та зменшенні енергозалежності.

Частина первинної і перетвореної енергії в технологічному процесі, яка виділяється за межі агрегату, складає **вторинні енергетичні ресурси**.

Вторинний енергетичний ресурс (**ВЕР**) — енергетичний потенціал продукції, відходів, побічних і проміжних продуктів, який утворюється в

технологічних процесах (агрегатах) і не використовується в них, але може бути частково чи повністю використаний для енергопостачання інших процесів або агрегатів.

ВЕР — це тепло пари, гарячої води, газу і палив, яке отримується в основному технологічному процесі як вторинний (допоміжний) продукт, який можна використати для господарських потреб. При цьому регенерація тепла розглядається як першочерговий напрямок його утилізації.

2.6. Ресурсний потенціал підприємства

Ресурсний потенціал підприємства — це сукупність матеріальних, нематеріальних, трудових, фінансових ресурсів, включаючи здатність робітників підприємства ефективно використовувати названі ресурси для виконання місії, досягнення поточних та стратегічних цілей підприємства.

Ресурсоємність виробництва цементу перш за все визначається значними витратами сировини та енергоємністю, пов'язаною з підвищеними питомими витратами електроенергії при помелі клінкеру та високими питомими витратами палива при випалі клінкеру.

Робота технолога силікатних виробництв найбільш тісно пов'язана з використанням природних, енергетичних і інформаційних ресурсів.

У виробництві силікатної цегли електроенергія необхідна для підготовки сировинної суміші та формування виробів, природне паливо — для вироблення пари, що подається в автоклави і забезпечує проведення гідротермальної обробки.

Найбільш енерговитратними ділянками в процесі виробництва силікатної цегли є підготовка сировинної суміші та формування з

використанням електроенергії, автоклавна обробка з використанням теплової енергії .

Найбільш енерговитратними ділянками в процесі виробництва ніздрюватого бетону є підготовка сировинної суміші, різання та транспортування з використанням електроенергії та автоклавна обробка з використанням теплової енергії.

Найбільш енерговитратними ділянками в процесі виробництва цементу є випал клінкеру з використанням природного палива та помел клінкеру з добавками з використанням електроенергії.

Найбільш енерговитратними ділянками в процесі виробництва вапна є подрібнення та помел сировини та продукту з використанням електроенергії та випал вапняку у шахтній або обертовій печі з використанням природного палива.

У виробництві гіпсових в'язучих електроенергія необхідна для подрібнення гіпсового каменю та підготовки до термічної обробки, для тонкого помелу готового продукту після термічної обробки, а природне паливо – для варки гіпсу у котлах або випалу у печі.

У виробництві азбестоцементних виробів електроенергія необхідна для підготовки маси, в тому числі розпушування волокна, формування та транспортування виробів, природне паливо – для вироблення пари у випадку застосування автоклавної обробки.

Найбільш енергоємними ділянками в процесі виробництва керамічної цегли є подрібнення і помел сировини, приготування маси і формування виробів з використанням електроенергії, випал з використанням природного палива. Доцільним є утилізація тепла газів, вихідних із печі, для висушування напівфабрикату.

До найбільш енергоємних ділянок в процесі виробництва будівельного фарфору (санітарної кераміки) належать подрібнення і помел

сировини, приготування шлікерної маси (витрати електроенергії) і випал (витрати природного газу)..

Найбільш енерговитратними ділянками в процесі виробництва бетону і залізобетону як будівельних композитів є приготування сировинної суміші і формування з використанням електроенергії та пропарювання виробів з використанням теплової енергії.

Електроенергія надходить на підприємство через зовнішні силові мережі і через внутрішньозаводську підстанцію подається у технологічний цикл силікатних виробництв. **Природний газ** від радіального газопроводу надходить на внутрішньозаводський газорозподільний пункт і далі заводською мережею газопроводу подається до сушильних і пічних агрегатів.

2.7. Теплова енергія

Тепло розглядається як енергія руху елементарних частинок, що проявляється у нагріванні тіла. В момент тепловіддачі воно приймає характер теплоти або теплової енергії.

Теплотворна здатність різновидів викопного палива характеризується показниками (ГДж): 1 т нафти - 46,6, 1 тис. м³ природного газу - 38,5, 1т кам'яного вугілля - 30,5.

Основними **хімічними складовими палива**, що визначають його теплотворну здатність є вуглець, водень та летюча горюча сірка.

Основними **горючими складовими кожного палива** є вуглець, водень та летюча горюча сірка. До складу палива також входять кисень і азот, а також мінеральні речовини, з яких після згорання утворюються зола і шлак. Мінеральні речовини, вода і азот не приймають участі в горінні та складають баласт палива.

Горіння палива являє собою хімічний процес з'єднання горючої речовини та окиснювача. Практично горіння являє собою процес окиснення палива киснем повітря, внаслідок чого виділяється певна кількість теплової енергії та значно підвищується температура.

Якість палива оцінюють за теплотою згорання. Для характеристики твердого і рідкого палива слугує показник питомої теплоти згорання, що являє собою кількість теплоти, котра виділяється при повному згоранні одиниці маси (кДж/кг). Для газоподібного палива слугує показник об'ємної теплоти згорання, що являє собою кількість теплоти, котра виділяється при повному згоранні одиниці об'єму (кДж/м³).

Вища теплота згорання палива – це максимальна кількість теплоти, яку можна отримати внаслідок хімічної реакції горіння палива. **Нижча** теплота згорання палива відрізняється від вищої на ту кількість тепла, яке витрачається на випаровування води, що є у паливі, а також утворюється внаслідок хімічної реакції горіння палива.

Теплота згорання палива – це кількість теплоти, що виділяється при повному згоранні 1кг твердого чи рідкого або 1м³ газоподібного палива.

Питома теплота згорання — фізична величина, що показує кількість теплоти, яка виділяється при повному згоранні палива масою 1 кг або об'ємом 1 м³ (табл. 5).

Таблиця 5

Питома теплота згорання різновидів палива

Паливо	ккал/кг	кДж/кг
Деревина	2960	12400
Торф	2900	12100
Буре вугілля	3100	13000
Кам'яне вугілля	6450	27000
Антрацит	6700	28000
Кокс	7000	29300
Дизельне	10300	43000
Мазут	9700	40600
Зріджений газ	10800	45200
Природний газ	8000	33500
Сланцевий газ	3460	14500

Паливо повністю згорає при стехіометричному співвідношенні з окиснювачем, що відповідає рівнянню хімічних реакцій окиснення горючих елементів. Співвідношення кількості фактично витраченого повітря на згорання палива до теоретично визначеного називають коефіцієнтом надлишку повітря, що дорівнює 1,05-1,15.

Калорія — позасистемна одиниця виміру теплоти, що дорівнює її кількості, необхідної для нагрівання 1г води від 19,5 °С до 20,5 °С. 1 кал = 4,187 Дж. **Британська теплова одиниця (BTU)** виміру енергії визначається як кількість тепла, необхідного для нагрівання 1 фунта води на 1 градус Фаренгейта. 1 **BTU** = 251,996 кал (табл. 6)

При визначенні одиниць виміру теплоти – **калорія, термія та Btu** спільним є фізичний зміст – кількість теплоти, що необхідна для збільшення температури на 1 градус. Відмінності полягають у застосуванні різних одиниць маси, температурних інтервалів і температурних шкал.

Таблиця 6

Співвідношення одиниць виміру енергії

	Btu	Терм	Дж	КДж	Кал
Btu	1	0,00001	1055,06	1,055	251,996
Терм	100000	1	-	105500	25199600
Дж	0,00094	-	1	0,001	0,2388
КДж	0,9478	0,000009478	1000	1	238,85
Кал	0,0039683	$0,0039683 \cdot 10^{-5}$	4,1868	-	1

Температура характеризує термодинамічний стан і тепловий баланс. Для виміру температури використовують кілька градусних шкал. **Шкала Цельсія** – стоградусна, що має дві основні точки: точку плавлення чистого льоду при нормальному тиску і точку кипіння чистої води при нормальному тиску. **Шкала Кельвіна** – абсолютна шкала температури, де градуси відраховуються від температури абсолютного нуля, що є нижчою від температури танення льоду на 273.16°C .

2.8. Енергія та паливо

До викопних видів палива як джерела енергоресурсів відносять різновиди вугілля і торф, нафту та різновиди нафтопродуктів, природний газ.

Енергетичним паливом називають горючі речовини, які економічно доцільно використовувати для отримання у промисловості великої кількості тепла. Основними його різновидами є органічні палива: торф, горючі сланці, вугілля, природний газ, продукти нафтопереробки (табл. 7).

Таблиця 7

Джерела і різновиди первинної та вторинної енергії

Джерела і різновиди первинної енергії	Відповідні різновиди вторинної (перетвореної) енергії
Кам'яне і буре вугілля	Кокс, агломерати, електроенергія
Нафта	Бензин, керосин, дизельне паливо, мазут
Природний газ	Енергія теплоелектростанцій
Вода	Гідравлічна енергія
Уранова руда	Атомна енергія

За способом отримання енергетичне палива поділяють на **природне і штучне** (табл. 8). До природного відносять натуральні різновиди палива: вугілля, сланці, торф, нафту, природний газ. До штучного з твердих різновидів палива відносять кокс, брикети вугілля, деревинне вугілля. З рідких - мазут, бензин, керосин, солярове масло, дизельне паливо, а з газових — газ доменний, генераторний, коксовий, підземної газифікації.

Основні вимоги до палива: висока калорійність; доступність і дешевизна; мінімальна кількість відходів; екологічність.

Таблиця 8

Класифікація палива

Агрегатний стан	Істотне (природне)	Штучне
Тверді	Дрова; торф; буре, кам'яне вугілля; антрацит	Деревинне вугілля, кокс, напівкокс
Рідкі	Нафта	Бензин, керосин, спирти, мазут
Газоподібні	Природний газ, попутний газ	Газ від сухої перегонки

Значні запаси паливних ресурсів характеризуються переважним вмістом у їх структурі твердих видів палива (**кам'яного вугілля, горючих сланців і торфу**) та дефіцитом **рідких і газоподібних вуглеводнів**.

Відсутність достатньої кількості **нафти та природного газу** визначає певні труднощі у розвитку економіки.

Вугілля, нафта та природний газ є органічними речовинами, які зазнали повільного розкладу внаслідок біологічних і геологічних процесів.

Основа утворення вугілля — рослинні рештки. Залежно від міри перетворення й питомої кількості вуглецю у вугіллі розрізняють його типи: **буре вугілля** (65-70 % вуглецю), **кам'яне вугілля** (75-95 % вуглецю), **антрацит** (95 % вуглецю).

Розвідані запаси вугілля в Україні становлять 34,0 млрд т. у. п. або близько 50 млрд т, прогнозовані запаси — близько 120 млрд т.

Кам'яне вугілля розповсюджене в Донецькому і Львівсько-Волинському басейнах, буре вугілля – в Дніпровському, Донецькому басейнах, Дніпровсько-Донецькій западині й на Закарпатській вугленосній площі.

Перспективи **збільшення видобутку нафти і газу в Україні** пов'язані із підвищенням ефективності експлуатації відомих родовищ, впровадженням глибинного буріння свердловин, освоєнням родовищ сланцевого газу та родовищ на шельфі Чорного моря.

Сланцевий газ — природний газ, що видобувається з горючих сланців і переважно складається із метану. Для видобутку сланцевого газу застосовують горизонтальне буріння. Перспективи застосування такого газу визначаються значними запасами в Україні та пв'язані із співробітництвом з провідними компаніями, що володіють відповідною технікою і технологією видобутку.

Ядерна енергія стала надбанням людства завдяки науковому відкриттю ділення ядер урану. Цей винахід додав до запасів енергетичних копалин істотну кількість ядерного палива. Атомні електростанції України виробляють понад 46% загальної електроенергії країни.

Енергетична стратегія України на період до 2030 року передбачає зростання виробництва електроенергії в країні до 420,1 млрд. кВт/год. При цьому частка виробництва електроенергії на АЕС у 2030 році має становити 52% від загального.

2.9. Альтернативні види енергії та палива

Світовий паливно-енергетичний потенціал визначається запасами вичерпних природних джерел (нафти, газу, вугілля), альтернативними джерелами (ядерна енергетика, сонячна енергетика, вітроенергетика), а також сучасними технологіями використання відходів промисловості, сільського господарства та життєдіяльності як альтернативного палива.

Структура споживання енергоресурсів у світі характеризується високими витратами природного палива, перш за все нафти, джерела якого є вичерпними. При цьому переважну більшість енергоресурсів споживають США і країни ЄС. Останнє десятиріччя відзначається зростанням частки споживання альтернативних невичерпних джерел енергії та альтернативного палива.

Паливно-енергетичний потенціал України складається із власних діючих родовищ природного палива – кам'яного вугілля, газу і нафти, розвіданих запасів такого палива, потужної електроенергетики, в тому числі атомних станцій, родовищ сланцевого газу, можливості застосування альтернативного палива, в тому числі біопалива.

На цей час найбільш перспективним паливом для використання в цементній промисловості України замість природного газу є **кам'яне вугілля**, що визначається його значними запасами і фактичними обсягами видобутку (табл. 9). Надалі можливе використання сланцевого газу і альтернативних різновидів палива.

Таблиця 9**Видобуток вугілля підприємствами України**

Видобуток, тис. т			
Рік	Всього	Енергетичне	Коксівне
2010	75231	51048,9	24182,1
2011	81991,4	56969,3	25022,1
2012	85946,0	61122,5	24823,5

Перспективи **використання кам'яного вугілля** в промисловості України пов'язані з наявністю значних запасів цього природного палива, потужною видобувною промисловістю, розвиненою системою транспортування. При цьому на підприємствах необхідне налаштування обладнання для підготовки твердого палива і впровадження відповідних пальникових пристроїв.

До альтернативних видів енергії, що мають перспективи використання, відносять сонячну, геотермальну, гідроенергію, припливну енергетику, вітроенергетику.

Перша в Україні відносно велика сонячна електростанція (СЕС) потужністю 2,5 МВт (перша черга) була введена до експлуатації в 2010 р. біля селища Родникове (АР Крим). За наступні два роки було підключено до мережі потужності 326,1 МВт сонячних електростанцій. За станом на серпень 2013 р. загальна потужність СЕС в Україні досягла 601,5 МВт.

Процес будівництва української вітроенергетики почався у 1996 році, коли була запроєктована Новоазовська ВЕС проектною потужністю 50 МВт. Визначено, що Україна має значні ресурси вітрової енергії, при цьому за допомогою сучасного устаткування можливе використання 15-19% річного обсягу енергії вітру, що проходить через перетин поверхні

вітроколеса. Використання вітроустановки для промислового виробництва електроенергії найбільш ефективно в регіонах України із середньорічною швидкістю вітру понад 5 м / с.

Перспективи **використання енергії Сонця і вітру в Україні** пов'язані як із технічними проблемами впровадження відповідного сучасного обладнання, так і з вирішенням економічних питань підтримки таких програм на державному і регіональному рівнях за досвідом країн ЄС і США.

Структура споживання енергоресурсів в Україні характеризується превалюючим використанням природних викопних вичерпних різновидів палива – природного газу, кам'яного вугілля, нафти і нафтопродуктів. Серед них останнім часом зростає частка споживання вугілля, значні промислові запаси якого є в державі. Значний обсяг електричної енергії виробляється як вторинна від ядерної енергії на атомних станціях. Поступово збільшується використання альтернативних видів енергії (сонячної) і альтернативного палива.

Паливо альтернативне — є заміною відповідним традиційним видам палива і **виробляється (видобувається) з нетрадиційних джерел та видів енергетичної сировини.**

До різновидів альтернативного палива відносять відходи життєдіяльності людини, відходи сільського господарства, відходи промисловості, відходи експлуатації промислової продукції (табл. 10).

Відомі **прикладі використання альтернативного палива у виробництві цементу.** В останні роки почала застосовуватися технологія спалювання автомобільних шин. Вони подаються до печі цілком або у подрібненому вигляді. Таке паливо за теплотворною здатністю близьке до мазуту, кожна його тонна здатна замінити 1,25т вугілля.

Таблиця 10

Теплотвірна здатність різновидів альтернативного палива

Матеріал	Теплотворна здатність	
	кДж/кг	ккал/кг
Гума	28890	6890
Автомобільні шини	41870	9990
Шматки шкіри	23260	5530
Відходи нафтопродуктів	41870	9990
Поліетілен	46150	11000
Вощений папір молочних пакетів	35418	8450
Сміття з пилососу	27289	6510

Як альтернативне паливо в обертових печах випалу цементного клінкеру використовуються **відходи виробництва та життєдіяльності людини:**

- відходи переробки сільськогосподарської продукції (солома, пусті початки кукурудзи, жмих і т.п.);
- відходи переробки нафти і газу (тверді та пастоподібні фракції, супутній газ);
- побутове сміття і осад з очисних споруд (як тверде паливо, або як біогаз);
- тирса;
- відходи целюлозно-паперової промисловості і т.п.

При утилізації відходів інших галузей промисловості комплексно вирішуються питання технології силікатних виробництв – шляхом використання відходів як техногенної сировини або альтернативного палива та питання екології – через звільнення землі від захаращення

відходами і при спалюванні відходів у печах при високій температурі із мінімізацією токсичних викидів у атмосферу.

2.10. Умовне паливо

При спалюванні однакової маси різних видів палива виділяється різна кількість теплоти згорання. Тому для зручності порівняння введено **поняття умовного палива**. Умовне паливо - одиниця обліку органічного палива, яка використовується для співпоставлення ефективності різних видів палива та їх загального обліку.

В Україні як базове паливо при визначенні кількості умовного палива використовують кам'яне вугілля з теплотворною здатністю 7000 ккал або 29,3 МДж, в країнах **ЄС і США** застосовують нафтовий еквівалент **ТОЕ** (англ. Tonne of oil equivalent).

Одна тонна нафтового еквіваленту дорівнює 41,868 ГДж або 11,63 МВт·г.

Виробництво та розподіл паливно-енергетичних ресурсів розраховуються у одиницях умовного палива із **застосуванням коефіцієнту перерахунку** за вугільним еквівалентом.

Співвідношення між умовним і натуральним паливом визначається за формулою:

$$B_y = \frac{Q_n^p}{7000} B_n = E \cdot B_n,$$

де B_y - маса еквівалентної кількості умовного палива, кг;

B_n - маса натурального палива, кг (тверде та рідке) або m^3 (газоподібне);

Q_n^p - нижча теплота згорання даного натурального палива, ккал/кг або ккал/м³;

$$E = \frac{Q_n^p}{7000} - \text{калорійний еквівалент.}$$

При перерахунку палива та енергії у тонни умовного палива слід використовувати наступні **коефіцієнти перерахунку**, які відповідають калорійним еквівалентам (табл.11).

Таблиця 11

Коефіцієнти перерахунку палива

Паливо та енергії	Одиниця виміру	Коефіцієнти перерахунку в умовне паливо
Вугілля кам'яне	тонна	0.768
Вугілля буре	тонна	0.467
Торф паливний	тонна	0.340
Газ природний	тис. м ³	1.154
Газ зріджений	тис. м ³	1.570
Нафта, в т.ч. газовий конденсат	тонна	1.430
Мазут топковий	тонна	1.370
Сланці горючі	тонна	0.300
Електроенергія	тис. кВт.г	0.3445
Теплоенергія	Гкал	0.1486

Для перерахунку палива та енергії застосовується наступний порядок: **1 тонна (тис. м³, тис. кВт. г, Гкал)**, помножена на коефіцієнт перерахунку, дорівнює **1 тонні умовного палива**.

Нижче наведено деякі співвідношення електричної, теплової енергії та палива при перерахунку на умовне паливо :

1 кг у.п. = 29,30 МДж = 7000 ккал;

1 кВт•г = 3,6 МДж = 0,12 кг у.п.

1 кг дизельного палива дорівнює 1,45 кг у.п.

1 кг автомобільного бензину дорівнює 1,52 кг у.п.

1 ккал = 427 кг•м = 4,19 кДж = 1,163 Вт•г

2.11. Напрямки ресурсозбереження

Основними напрямками енергозбереження в промисловості є:

- структурна перебудова підприємств, спрямована на випуск менш енергоємної, конкурентоспроможної продукції;
- модернізація та технічне переоснащення виробництв на базі наукоємних ресурсо- та енергозберігаючих і екологічно чистих технологій;
- використання вторинних ресурсів і альтернативних видів палива, в т.ч. горючих відходів виробництва.

Позитивний досвід енергозбереження в країнах ЄС і США базується на впровадженні в промисловість інноваційних енергоощадних технологій та обладнання, застосуванні ефективних теплоізоляційних матеріалів, зменшенні ресурсоємності продукції за рахунок використання відходів, як техногенної сировини та альтернативного палива, реалізації державних і регіональних програм з ресурсозбереження.

Метою енергозбереження в Україні є зменшення залежності від імпорту природного палива (природного газу, нафти) і підвищення ефективності виробництва. До напрямків досягнення цієї мети відносять розвиток видобутку на власних родовищах, освоєння видобутку сланцевого газу, модернізація обладнання і технологічних процесів для зменшення питомих витрат палива і електроенергії.

Напрямки енергозбереження у будівельному комплексі України складаються із заходів з ресурсозбереження у виробництві будівельних

матеріалів, виробів і конструкцій. При цьому зниження питомих витрат енергоресурсів на їх виготовлення обумовлює зменшення собівартості та зростання ефективності будівництва, а застосування теплоефективних виробів зменшує енерговитрати при експлуатації об'єктів будівництва.

Зменшення ресурсоемності силікатних матеріалів і виробів призводить до зменшення собівартості, підвищення ефективності виробництва, обумовлює можливість зменшення ціни, що загалом забезпечує зростання конкурентоспроможності продукції.

Скорочення питомих витрат ресурсів на виготовлення одиниці продукції забезпечує зменшення собівартості та підвищення ефективності роботи підприємства.

Основними напрямками ресурсозбереження в промисловості будівельних матеріалів є впровадження нової техніки підвищеної продуктивності, застосування відходів промисловості як техногенної сировини, застосування альтернативних видів палива, утилізація вторинного тепла, інтенсифікація технологічних процесів виробництва, модернізація теплових агрегатів і впровадження нових пальникових пристроїв, зменшення технологічних втрат і браку виробів,

Ефективність використання металургійних шлаків у виробництві цементу з технологічної точки зору пов'язана з їх фазовим складом (наявністю кристалічних фаз силікатів кальцію і алюмосилікатів) і гідравлічною активністю, з позицій ресурсозбереження – з комплексним використанням природної і техногенної сировини та зменшенням питомих витрат палива на 1т продукції.

Зменшення частки клінкеру при його помелі із доменним гранульованим шлаком зменшує питомі витрати технологічного палива на тонну цементу, що виробляється.

Перспективи використання відходів ТЕС на силікатних підприємствах пов'язані із застосуванням золошлакових сумішей як опіснюючого компоненту мас для виготовлення цегли, золи як компоненту маси ніздрюватого бетону та як активної мінеральної добавки в технології цементу.

На цементних заводах України головним чином використовується природне паливо – природний газ і кам'яне вугілля, компаніями-виробниками Західної Європи, США. Японії головним чином застосовується альтернативне паливо – зношені автомобільні шини, різного роду відходи побуту, промисловості, сільського господарства.

Ефективність використання зношених автомобільних покришок у виробництві цементу базується на їх теплотворній здатності, за якої спалювання 1 т покришок замінює 250 кг кам'яного вугілля, а наявність металевого кордуну дозволяє використовувати його в технології як залізозмісний флюсуючий компонент

Енергозберігаючим аспектом використання побутових відходів у виробництві цементу є їх теплотворна здатність і можливість застосування як альтернативного технологічного палива, а екологічним аспектом є вивільнення землі від складування відходів і можливість зменшення токсичних викидів у атмосфері завдяки спалюванню в цементній печі при високій температурі.

Техніко-економічна перевага використання відходів виробництва та життєдіяльності людини як альтернативного палива в обертових печах випалу цементного клінкеру полягає у зменшенні витрат природного палива і собівартості продукції, а екологічні переваги складають звільнення землі від накопичувачів відходів промисловості та сміття сховищ, зменшення токсичних викидів в атмосферу завдяки спалюванню у цементній печі при високій температурі.

Перспективи застосування альтернативних видів палива у виробництві цементу пов'язані з прийняттям і реалізацією відповідних державних і регіональних програм стимулювання заходів ресурсозбереження, з організацією стабільного постачання підприємств, з впровадженням необхідних палинкових пристроїв на пічних агрегатах.

Для використання альтернативних видів палива в силікатних виробництвах є необхідним комплекс організаційних (забезпечення стабільного постачання підприємств таким паливом) і технічних (впровадження обладнання для подачі такого палива до печей випалу та відповідних ефективних палинкових пристроїв) заходів.

Доцільність використання альтернативних видів палива в силікатних виробництвах з позицій ресурсозбереження полягає в зменшенні частки витрат природного палива в процесах сушки, випалу, вироблення теплової енергії, а з позицій екології - у зменшенні витрат на складування та накопичення промислових та побутових відходів, у можливості переробки відходів у печах випалу при високих температурах із мінімізацією токсичних викидів у атмосферу.

2.12. Заходи з ресурсозбереження

Заходи з ресурсозбереження на підприємстві поділяються на організаційні, технічні та технологічні.

Організаційні заходи включають:

- розробку та контроль виконання технологічного регламенту,
- нормування питомих витрат матеріальних і енергетичних ресурсів, їх облік і контроль,
- економічне стимулювання працівників за економію ресурсів.

Стимулювання працівників підприємства за впровадження заходів ресурсозбереження відноситься до організаційних заходів. Ефективність такого заходу визначається гнучкою системою матеріального заохочення, в тому числі штрафних санкцій при допущенні перевитрат встановлених лімітів, наприклад – енергоресурсів при випалі виробів.

Технічні заходи включають:

- підвищення продуктивності робота основного технологічного обладнання та збільшення обсягів виробництва, що забезпечує зменшення питомих витрат палива та електроенергії;
- використання ефективних пальникових пристроїв, автоматичних систем управління та контролю теплотехнічних процесів
- оптимізація технології виробництва – мокрий, сухий та комбіновані
- способи виробництва цементу.

Технологічні заходи з ресурсозбереження на силікатних виробництвах мають забезпечити застосування відходів промисловості як техногенної сировини, інтенсифікацію процесів помелу сировинних матеріалів та кінцевих продуктів із застосуванням добавок електролітів і ПАР, інтенсифікацію процесів термічної обробки – перш за все, випалу шляхом введення мінералізаторів та ін.

Ефективність модернізації технологічного обладнання з позицій ресурсозбереження полягає у збільшенні продуктивності виробництва та зменшенні питомих витрат енергоресурсів.

Енергетичні витрати пов'язані із технологічними способами виробництва цементу (табл. 12). Найбільші питомі витрати природного палива при випалі клінкеру мають місце при мокрому способі виробництва, що обумовлено необхідністю випаровування значної кількості води з шламу.

Переваги сухого способу виробництва цементу з позицій ресурсозбереження у порівнянні з мокрим способом полягають в економії водних ресурсів, зменшенні питомих витрат технологічного палива при випалі клінкеру на 20-25%.

Таблиця 12

**Залежність питомих витрат палива від способу
виробництва цементу**

Країна	Питомі витрати тепла на випал клинкера					
	сухий спосіб			мокрый спосіб		
	кДж/кг	ккал/кг	кг ум. палива	кДж/кг	ккал/кг	кг ум. палива
Болгарія	4554	1083	170,0	6519	1557	222,0
Угорщина	3840	917,5	131,0	8479	2025	299,3
Польща	3730	987	141,1	7810	1785	255,0
Колишній СРСР	4663	1114,4	159,2	6682	1596,7	228,1
Франція	3980	951	135,0	-	-	-
Велика Британія	3350	801,4	114,3	6070	1452,2	207,5
Німеччина	2978	711,1	101,5	-	-	-
Швейцарія	3760	898,4	128,3	-	-	-
Іспанія	3838	917,0	131,0	-	-	-
Японія	3140	828	118,3	5520	1318,2	188,3
США	4983	1190	154,0	6574	1570	224,3
Білорусь	4983	1190	170,0	7415	1773	253,0

У виробництві вапна перевод обертових печей на суху технологію дозволяє зменшити питомі витрати палива з 270-310 до 210-220 кг/ т або у середньому на 25%.

До заходів з ресурсозбереження і охорони довкілля на кар'єрі видобутку сировини для силікатних виробництв відносять комплексне застосування сировини в технологічних процесах та рекультивацію земельної ділянки.

Доцільність використання електролітів і ПАР з позицій енергозбереження ґрунтується на можливості зменшення робочої вологості цементного шламу та відповідно питомих витрат палива при випалі клінкеру, інтенсифікації процесів помелу сировини і клінкеру та відповідно питомих витрат електроенергії. Кожен процент зниження вологості шламу підвищує продуктивність печі приблизно на 1,5%, при цьому одночасно на 1% зменшуються витрати тепла на випал клінкеру.

Доцільність введення мінералізаторів у цементну сировинну суміш з позицій енергозбереження полягає в досягненні інтенсифікації процесів спікання при випалі клінкеру, що дозволяє підвищити продуктивність печі із зменшенням питомих витрат палива.

Зменшення частки клінкеру при його помелі із доменним гранульованим шлаком зменшує питомі витрати технологічного палива на тонну цементу, що виробляється.

Доцільність повернення пиловиносу від млина помелу клінкеру з позицій енергозбереження полягає у підвищенні при цьому виходу продукції та зменшенні питомих витрат палива і електроенергії у виробництві цементу.

До заходів з економії водних ресурсів на силікатних виробництвах відносять впровадження систем водоочищення та оборотного водопостачання в технологічних циклах.

Можливість раціонального використання земельних ресурсів при виборі обладнання для силікатних виробництв полягає у застосуванні сучасних високопродуктивних агрегатів зменшеної довжини та вертикального розташування..

Автоматизація систем контролю і управління параметрами випалу є важливим напрямком ресурсозбереження, що забезпечує зменшення питомих витрат палива шляхом мінімізації перевитрат пального при стабілізації заданої температури і забезпеченні повноти згорання палива та завдяки зменшенню браку продукції при випалі.

Зв'язок зменшення браку і підвищення якості продукції із ресурсозбереженням полягає у досягненні зменшення питомих витрат сировини та питомих витрат енергоресурсів, що визначаються на одиницю виробленої продукції.

Зв'язок між зменшенням ресурсоемності та асортиментом будівельних матеріалів і виробів можна підтвердити прикладами: випуск шлакопортландцементу забезпечує зменшення питомих витрат палива на 1т продукції, підвищення порожнистості керамічної цегли зменшує питомі витрати сировини на 1 тис. шт. ум. цегли та ін.

2.13. Енергетичний менеджмент і аудит

Енергетичний менеджмент являє собою сукупність технічних і організаційних заходів, спрямованих на підвищення ефективності використання енергоресурсів, і є складовою загальної структури управління підприємством. Здійснюється на підприємстві службами головного інженера (технічного директора) і головного енергетика.

Основними задачами енергетичного менеджменту підприємства є:

- взаємодія із організаціями-постачальниками енергії;

- обробка і подання інформації енергоспоживання окремим цехам і ділянкам;
- підготовка та організація впровадження заходів з енергозбереження.

Енергетичний аудит — це комплексне енергетичне обстеження підприємства, що включає збирання вихідних даних, складання балансів споживання і розподілу енергії, виявлення нераціональних витрат, розробку енергоощадних заходів та визначення ефекту від їх впровадження.

Енергетичний баланс є основним інструментом енергетичного менеджменту і найбільш повною характеристикою енергетичного господарства підприємства. Він відображає достовірну кількісну відповідність потреби та споживання паливно-енергетичних ресурсів на даний момент або період часу, на основі чого розробляються і впроваджуються відповідні заходи з енергозаощадження.

При складанні балансу розглядаються види енергії, що споживається (електроенергія, газ, мазут, вугілля, пара і т. п.), виконується кількісне вимірювання споживання енергії на всі цілі, в тому числі і втрати енергії.

2.14. Матеріаломісткість і ефективність виробництва

Метою **складання матеріального балансу підприємства** є визначення співвідношення наданої і витраченої сировини, матеріалів з урахуванням їх накопичення за обраний інтервал часу, втілення заходів з оптимізації витрат матеріальних ресурсів. Матеріальний баланс може розраховуватися для окремої технологічної операції, технологічного процесу, окремого виробництва, підприємства в цілому.

Для оцінювання ефективності використання матеріальних ресурсів і оборотних фондів застосовується система показників, основним з яких є **матеріаломісткість** (абсолютна, питома та загальна матеріаломісткість). Абсолютна матеріаломісткість показує витрати основних видів сировини і матеріалів за абсолютними значеннями на фізичну одиницю виготовленої продукції. Загальна матеріаломісткість відображає вартість всіх матеріальних витрат на одиницю виробу або на одну гривню виготовленої продукції.

Зменшення питомих витрат матеріальних ресурсів на виготовлення продукції забезпечує зменшення собівартості і підвищення економічної ефективності виробництва.

3. ТИПОВІ КОНТРОЛЬНІ РОБОТИ

Контрольна робота № 1

Варіант 1

1. Як ви розумієте термін **ресурси** ?
2. Яке значення для роботи силікатних виробництв мають сировинні та енергетичні ресурси ?
3. Що мають на увазі під вимогами до **ресурсомісткості** та **ресурсоємності** ?
4. Який зв'язок ви бачите між змістом терміну **утилізація** та ресурсозбереженням в силікатному виробництві (цементу або ін.) ?
5. Як ви розумієте термін природні ресурси та як вони класифікуються?
6. В чому різниця між **реальними** та **потенційними** природними ресурсами ?
7. Які природні ресурси відносять до вичерпних і невідновлювальних, до замінних і незамінних, до невичерпних ?
8. Як підрозділяються **паливно-енергетичні** та **неметалічні** природні ресурси (за природною класифікацією) ?
9. Який зв'язок ви бачите між проблемами ресурсозбереження та екології ?

Варіант 2

1. Які ви знаєте **основні види ресурсів**
2. Який зв'язок ви бачите між рівнем споживання ресурсів і ефективністю підприємства
3. Як ви розумієте термін **ресурсозбереження**

4. Що мають на увазі під **раціональним і економним** використанням ресурсів
5. З яким видом ресурсів найбільш пов'язана робота технолога силікатних виробництв
6. Які групи природних ресурсів (за природною класифікацією) використовуються в силікатних виробництвах
7. Як розділяють природні ресурси за ознаками **вичерпності та відновлюваності**
8. До якої групи природних ресурсів (за природною класифікацією) належать **паливно-енергетичні та неметалічні**
9. Як ви розумієте значення економного використання природних ресурсів для окремого підприємства та України

Контрольна робота № 2

Питання:

1. Які різновиди енергетичних ресурсів і з якою метою (з позицій хімічної технології силікатів) витрачаються в виробництві:
 - портландцементу;
 - силікатної цегли;
 - ніздрюватого бетону;
 - гіпсу;
 - вапна.
2. В чому принципова різниця в видах палива, що використовуються на цементних заводах України та компаніями-виробниками Європейського Союзу, США. Японії.

3. Запаси якого палива в Україні є найбільш перспективними для використання в цементній промисловості замість природного газу. Що, на ваш погляд, стримує впровадження.
4. Які види альтернативного технологічного палива (за досвідом підприємств Західної Європи, США, Японії) є перспективними для цементних заводів України.
5. Чому використання зношених автомобільних покришок в виробництві цементу ефективно з трьох позицій – екології, технології та як паливо.

Задачі:

1. Комбінат стінових матеріалів «БудмаПоділля» використовує мазут як технологічне паливо.
За звітний рік було вироблено 150 тис. т вапна.
Питомі витрати палива склали 250 кг ум.п./ т.
Який обсяг мазута (т) було витрачено ?
2. Підприємство «Тобис» за звітний рік виробило 54 900 т будівельного гіпсу, використовуючи природний газ як технологічне паливо.
Питомі витрати газу склали 34 м³ на 1 т гіпсу.
Визначити:
 - 1) Питомі витрати в перерахунку на умовне паливо.
 - 2) Яка кількість кам'яного вугілля (т) замість природного газу могла би забезпечити вказаний обсяг виробництва гіпсу.
3. На виробництво 1 т портландцементного клінкера витрачається 5 ГДж теплоти. Яка кількість горючого сланцю (т) могла би забезпечити виробництво 1,2 млн. т клінкера.

4. ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ

Лабораторна робота № 4.1

ПОДРІБНЕННЯ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТНОГО КЛІНКЕРУ В ПРИСУТНОСТІ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН

Мета роботи: Вивчити можливість зменшення питомих енерговитрат при помелі портландцементного клінкеру. Навчитися розраховувати технологічні параметри клінкеру, вивчити кінетику помелу клінкеру, дослідити вплив ПАР на кінетику помелу клінкеру.

Матеріали та обладнання:

1. Матеріали – цементний клінкер, триетаноламін, сульфітно-спиртова барда (ССБ).
2. Лабораторний кульовий млин місткістю 0,13 м².
3. Прилад для вимірювання питомої поверхні.
4. Технічні ваги
5. Мірні піпетки.

1. Теоретичні відомості

Помел портландцементного клінкеру є однією із найважливіших стадій у виробництві портландцементу. Технологічні параметри процесу помелу суттєво впливають на властивості готового продукту. Основні клінкерні мінерали значно відрізняються за своєю мікротвердістю, тому природно, що більш дрібні фракції будуть більш насичені мінералами із меншою твердістю. Дрібні фракції цементу містять більшу кількість аліту та трьохкальцієвого алюмінату. Більш крупні фракції збагачені відповідно,

белітом та чотирьохкальцієвим алюмоферитом. Як відомо, аліт та алюмоферит є клінкерними мінералами, що найбільш швидко взаємодіють із водою.

Крім того, зменшення розміру частинок призводить до збільшення реакційної поверхні при гідратації.

Таким чином, при збільшенні ступеню помелу зростає швидкість тверднення цементу та ступінь проходження реакцій гідратації.

Найбільш бажаними у цементі є фракції із розміром частинок від 5 до 30 мкм. У звичайному цементі вміст цієї фракції складає 40-50%, у швидкотверднучому цементі - до 70%. Фракції із розміром частинок вище за 60 мкм є баластом. При збільшенні тонини помелу зростає міцність цементу та швидкість набору міцності.

Тонина помелу оцінюється за такими показниками як розмір частинок та питома поверхня частинок. Найбільш швидким методом для визначення розміру частинок є ситовий аналіз. Більш точним є метод визначення питомої поверхні за повітропропусканням. В його основі лежить визначення швидкості просочення повітря крізь шар матеріалу. Чим більшою є питома поверхня, тим меншою є швидкість проходження повітря, оскільки частинки розташовуються більш щільно, залишаючи менше порожнин.

При необхідності для контролю питомої поверхні можна застосовувати і інші методи, наприклад метод седиментаційного аналізу (визначення розміру частинок за швидкістю їх осідання у рідині), метод БЕТ (визначення питомої поверхні за кількістю адсорбованого інертного газу), однак ці методи рідко застосовуються на виробництві.

Рядові цементи мають тонину помелу від 2800 до 3000 см²/г, а швидкотверднучі - від 3500 до 4500 см²/г.

Також процес помелу характеризується коефіцієнтом розмелювання, що представляє собою відношення часу, який потрібен для помелу кварцу та часу, який потрібен для помелу матеріалу до однакової питомої поверхні.

Процес подрібнення портландцементного клінкеру можна розділити на 3 стадії: 1) гранули клінкеру руйнуються по лініям внутрішніх дефектів та пор, енерговитрати порівняно невеликі; 2) опір руйнуванню зростає, оскільки при збільшенні питомої поверхні зменшується дефектність частинок, енергозатрати зростають; 3) процес помелу ускладнюється внаслідок агрегування частинок. Таким чином при зростанні питомої поверхні частинок цементу енергозатрати значно зростають.

Одним із способів зменшення енергоємності процесу помелу є введення під час помелу до млина ПАР. Поверхнево - активні речовини сорбуються на поверхні частинок клінкеру та значно полегшують процес помелу. Введення ПАР дозволяє підвищити ККД обладнання для помелу на 20-30%.

Такий ефект досягається завдяки сумісній дії декількох факторів. По-перше, ПАР, адсорбуючись на дефектах поверхні гранул матеріалу, ускладнюють закриття тріщин у гранулах завдяки розклинюючому ефекту. По-друге, ПАР зменшують агрегацію частинок при помелі. По-третє, ПАР запобігають налипанню частинок клінкеру на мелючі тіла.

Оптимальна кількість ПАР складає 0,05-0,15 мас.%.

2. Хід роботи

Провести завантаження лабораторного кульового млина, додавши визначену викладачем кількість ПАР (0,0; 0,1 та 0,15 %), ретельно закрити кришку, включити млин. Загальна тривалість помелу – 1,5 години. Через

30, 60 та 90 хв. відбирають пробу матеріалу та визначають її питому поверхню за допомогою приладу Т-3.

За одержаними результатами будують графіки приросту питомої поверхні зі збільшенням тривалості помелу та зробити висновки щодо ефективності використаних ПАР.

Результати заносять до таблиці 1.

Таблиця 1

Вплив домішок ПАР на кінетику помелу цементу.

Кількість добавки, мас.%	Тривалість помелу, хв.		
	Питома поверхня, см ² /г		
	30	60	90
-			
0,1			
0,15			

Контрольні питання:

1. Чому при додаванні ПАР при помелі клінкеру відбувається економія енергоносіїв?
2. Як і чому покращується якість цементу при збільшенні його питомої поверхні?
3. Який ефект виникає при додаванні ПАР при помелі клінкеру?
4. Які види тіл для помелу існують і чим відрізняється їх дія на матеріал?
5. Яким чином розраховується критична кількість ПАР у млині?
6. Який процент витрат енергії припадає на відділення помелу при виробництві цементу?
7. Чи можна збільшити марку цементу його шляхом зміни параметрів помелом?

8. Які фракції цементу є найбажанішими?
9. Яку тонину помелу мають швидкотверднучі та рядові цементи?
10. Чи залежить від розміру фракції вміст в ній основних клінкерних мінералів?
11. Назвіть 3 основні стадії подрібнення клінкеру.

Лабораторна робота № 4.2

ОЦІНКА МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ БАЗАЛЬТІВ У ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ПОРТЛАНДЦЕМЕНТУ

Мета роботи: Проаналізувати хімічний склад глинистих матеріалів, які використовуються при виробництві портландцементу, обґрунтувати доцільність використання базальтів як алюмосилікатного компонента сировинних сумішей. Дослідити кінетику помелу базальту, вапняку і сировинних сумішей на їх основі, набути навичок роботи на лабораторному обладнанні.

Матеріали та обладнання:

1. Матеріали: базальт, вапняк.
2. Обладнання:
 - лабораторна валкова дробарка;
 - лабораторний кульовий млин;
 - технічні ваги;
 - сушильна шафа;
 - сито № 008;
 - прилад для вимірювання питомої поверхні.

1. Теоретичні відомості

Скорочення енергозатрат при помелі сировини та витрат палива при випалі клінкеру являються основними шляхами підвищення ефективності цементного виробництва. Останнім часом спостерігається зменшення якості основних сировинних матеріалів, в особливості алюмосилікатних компонентів. Так, використання запісочених глин призводить до зниження якості клінкеру і до збільшення витрат енергії на помел.

Як реакційноздатна цементна сировина і коригуюча добавка можуть бути використані базальти різних родовищ, які містять значну кількість оксидів заліза, що мають постійний хімічний склад та низьку температуру плавлення.

Базальти належать до гірських порід, які утворилися із магми, що вилилася на поверхню земної кори. За мінералогічним складом базальти є полімінеральною гірською породою, що утворюється із розплаву в системі $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-CaO-(Mg,Fe)}$ за участю лугів.

Породоутворюючі мінерали базальтів – алюмосилікати (плагіоклази та ін.) а також ортосилікати, переважно магнію і заліза (піроксени і олівіни).

За вмістом кремнезему і інших оксидів базальти можна віднести до основних порід, вміст SiO_2 в яких складає 45-55%. Наявність достатньої кількості оксидів-плавнів робить їх порівняно легкоплавкими, що повинно сприяти успішному спіканню в процесі мінералоутворення. Характерною особливістю базальтових порід як алюмосилікатного компоненту сировинної суміші для портландцементного клінкеру є наявність легуючих оксидів (титану, фосфору, ванадію, барію) і підвищена кількість лугів. Необхідно відмітити також значну роль оксиду магнію, введення якого в луговмісну суміш сприяє зниженню в'язкості розплаву, що в свою чергу

позитивно впливає на кінетику реакцій утворення C_3S і формування гранул клінкеру.

Базальти є твердою, але водночас крихкою гірською породою. Межа міцності на стиск щільних видів базальтів коливається від 250 до 300 МПа. За значенням межі міцності на стиск матеріали поділяють на декілька груп (табл. 1):

Таблиця 1
Поділ матеріалів на групи за твердістю

Група матеріалів	Міцності на стиск $R_{ст.}$, МПа
Особливо тверді	> 100
Тверді	50-100
Середньої твердості	10-50
М'які	< 10

Таким чином за значенням межі міцності на стиск базальти можна віднести до найбільш міцних порід (тверді і особливо тверді) подібно до щільних різновидів вапняків.

2. Хід роботи

Основною метою роботи є дослідження кінетики помелу базальту, вапняку та сировинної суміші на їх основі. Помел матеріалів – одна із основних і найбільш енергоємних операцій у цементному виробництві, причому базальти як сировинний компонент відрізняються від традиційної сировини.

Кінетику помелу досліджують на щільному доломітизованому вапняку, базальті родовища Янова Долина і сировинній суміші на їх основі у співвідношенні компонентів 1:3, що відповідає $КН=0,82$.

Матеріали подрібнюють на валковій дробарці із зазором 3 мм, потім здійснюють завантаження лабораторних кульових млинів. Оптимальне завантаження млина – 0,5 кг. Масове співвідношення завантаженого матеріалу та мелючих тіл становить 1:1. Загальна тривалість помелу складає 4 години, при цьому через кожен годину необхідно відібрати проби матеріалів (зупиняючи млин) – 30 г. В відібраній пробі визначити питому поверхню і провести ситовий аналіз.

Дані занести в табл. 2 і 3 та зробити висновки.

Таблиця 2

Питома поверхня матеріалів залежно від часу помелу

Матеріал	Тривалість помелу, год.			
	1	2	3	4
Вапняк				
Базальт				
Сировинна суміш (1:3)				

Таблиця 3

Залишок на ситі № 008 матеріалів залежно від часу помелу

Матеріал	Тривалість помелу, год.			
	1	2	3	4
Вапняк				
Базальт				
Сировинна суміш (1:3)				

Контрольні питання:

1. Перерахуйте методи, за рахунок яких можна зменшити витрати палива при випалі клінкеру.
2. Перерахуйте методи, за рахунок яких можна зменшити витрати енергії при помелі сировини/клінкеру.

3. До якого типу порід належить базальт?
4. Які мінерали є породоутворюючими у базальтів?
5. Який сировинний компонент у виробництві цементу може замінювати базальт?
6. Межа міцності базальтів на стиск.
7. Обґрунтуйте мету проведеної лабораторної роботи.

Лабораторна робота № 4.3

ЗМЕНШЕННЯ ВОЛОГОСТІ ШЛАМУ ПІД ВПЛИВОМ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН ТА ЕЛЕКТРОЛІТІВ

Мета роботи: Вивчити можливість зниження вологості шламу, як фактору сприяння зменшенню питомих витрат палива при випалі клінкеру. Зробити висновки про залежність текучості цементного сировинного шламу від типу і кількості розріджувачів.

Матеріали і обладнання: прилад для вимірювання текучості МХТІ ТН – 2, цементний сировинний шлам, розріджувачі, мірний посуд, ваги, фарфорові чашки.

1 Теоретичні відомості

Сировинний цементний шлам являє собою водну суспензію суміші карбонатних і алюмосилікатних твердих часточок з концентрацією твердої фази 50-70%.

Оскільки для наступних технологічних стадій вода є не просто зайвою, але компонентом, який потребує для свого видалення витрат

палива, завжди прагнуть отримати сировинний шлам з якомога меншою вологістю. Мінімум вологості відповідає текучості шламу, при якій можна застосувати гідротранспорт.

Для зниження вологості шламу необхідної текучості при зберіганні використовують ПАР (СДБ, технічні лігносульфонати, соапстік, милонафт та ін.) а також електроліти (рідке скло, соду, триполіфосфат натрію та ін.). Вид і дозування розріджувача у кожному конкретному випадку встановлюється на основі спеціальних досліджень.

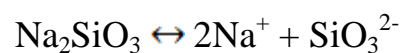
Здатність хімічних реагентів ефективно діяти на структурно-механічні властивості шламів базується на явищі іонного обміну. Часточки мінералів завдяки наявності на їх поверхні електричних зарядів сорбують з навколишнього середовища катіони і аніони, які недостатньо міцно утримуються на поверхні часточок і при певних умовах відбувається обмін з іншими іонами. Найбільша схильність до іонного обміну характерна для глинистих мінералів.

При необхідності регулювання технологічних характеристик високорухливих керамічних мас (шламів, шлікерів) широко застосовують прийом, який полягає в зміні складу сорбованого комплексу глинистих часточок.

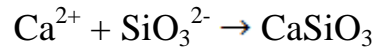
Глинисті часточки у воді набувають від'ємного заряду, який в природі компенсується адсорбованими катіонами, які завжди містяться в природних водах. Найбільш типові – Ca^{2+} , H^+ .

Шляхом заміни іонів кальцію в сорбованому комплексі однозарядними іонами можна отримати шлам з мінімальною вологістю.

При введенні в глинисту суспензію електроліту, який містить однозарядні іони (зазвичай Na_2SiO_3), відбувається його дисоціація:



Енергія адсорбції Na^+ більше, ніж Ca^{2+} , тому він буде витіснити іони Ca^{2+} із дифузного шару. В місці заміщення виникає незкомпенсований від'ємний заряд – часточки будуть відштовхуватись.



При подальшому збільшенні кількості катіонів Na^+ відбувається нейтралізація надлишкових зарядів на поверхні глинистих часточок і завдяки дії сил міжмолекулярної взаємодії часточки глини починають злипатися. Причому другий іон Ca^{2+} починає гідратувати, зменшуючи вміст «вільної» води. Суспензія загустіває.

Оскільки кожна глина містить різну кількість сорбованих катіонів, то для них існує оптимальна концентрація електроліту, який забезпечує найкращі умови пептизації – розрідження.

Адсорбція розчинених у воді ПАР на гідрофобних адсорбентах – часточках глини або цементу, які гідратуються – супроводжується закріпленням функціональних сульфогруп (полярної групи) на поверхні часточок, а неполярний радикал (вуглеводневий ланцюг) розміщується у напрямку від часток, формуючи адсорбційний шар в одну або декілька груп. Адсорбційний шар, який сформувався, змінює ξ – потенціал подвійного електричного шару часточок, розвиваючи сили їх взаємного відштовхування. Вивільнення молекул води, адсорбованих на часточках, збільшує загальний об'єм дисперсного середовища, знижує в'язкість викликає розрідженню дисперсної системи.

Введенням у цементні сировинні шлами ПАР (0,1 – 1,0%) можна знизити вологість шламу на 3-13%, зберігаючи при цьому необхідну текучість. Зниження вологості шламу на 3-8% спостерігається при введенні електролітів у кількості 0,1 – 0,5 %.

Текучість шламу – здатність розтікатися під дією своєї ваги – визначають на приладі МХТІ ТН – 2, призначеного для вимірювання

текучості по розтіканню шламу зі стандартного конусу. При нормальній текучості розтікання матеріалу за радіусом складає 45 ± 2 мм.

2. Хід роботи.

Спочатку готують прилад для вимірювання текучості. На горизонтальну поверхню кладуть білий папір, на який нанесено кругову шкалу. Зверху папір накривають склом. Конічне кільце встановлюють на скло ширшою частиною донизу точно по центру кругової шкали, при цьому зовнішній контур кільця повинен співпадати з колом, у якого діаметр 50 мм.

Потім визначається вологість шламу, яка забезпечує нормальну текучість. Для цього в склянку наливають деяку кількість води (30-50 % від маси готового шламу) і висипають 50 г сухого шламу. Розрахунок виконують, приймаючи за x масу води або готового шламу. Шлам ретельно перемішують з водою протягом 3 хв. і потім роблять дослідження. Для визначення текучості готовий шлам наливають в конічне кільце до країв, ножем вирівнюють поверхню шламу, потім швидко, але рівномірно, піднімають кільце у вертикальному напрямі. За радіусом розпливу конусу шламу визначають його текучість з точністю до 1 мм. Для цього проводять відлік показань чотири рази по круговій шкалі, який відповідає точкам найбільшого і найменшого діаметру розпливу конусу. Середнє арифметичне із чотирьох показників характеризує текучість проби шламу, який досліджують. Перед заповненням конічного кільця шламом внутрішня поверхня його і скла приладу для вимірювання текучості повинні бути сухі і чисті.

Підбір кількості води проводять до тих пір, поки розплив не буде 45 ± 2 мм. Після двох результатів експерименту доцільно застосувати метод екстраполяції. Результати заносять в таблицю 1.

Таблиця 1

Визначення вологості шламу нормальної текучості

Склад шламу	Кількість води, мл	Вологість шламу, %	Текучість, мм	
			розплив	середній

Після цього приступають до вивчення впливу розріджувача на текучість шламу. В склянку наливають об'єм води, який відповідає вологості шламу нормальної текучості, додають задану кількість добавки, ретельно перемішують і висипають 50 г сухого шламу, знову перемішують 3 хв і визначають текучість. Всі результати заносять в таблицю 2.

Таблиця 2

Вплив розріджувачів на текучість шламу

Добавка розріджувача			Текучість, мм	
Назва	Кількість від маси сухого шламу		Розплив	Середній
	%	г		

За отриманими даними будують графіки впливу добавок на текучість шламу, відкладаючи по осі ординат текучість шламу, а по осі абсцис – кількість добавки.

Вивчення впливу розріджувача на властивості сировинного цементного шламу можна проводити і за іншим планом експерименту: вводячи добавку і одночасно зменшуючи витрату води для отримання нормальної текучості шламу (табл. 3).

Таблиця 3

Вплив розріджувачів на вологість шламу нормальної текучості

Добавка розріджувача		Кількість води	Розплив	Вологість шламу	
Назва	Кількість від маси сухого шламу				
	%	Г	МЛ	ММ	%

У висновку детально порівняти ефективність розріджувачів і механізми їхньої дії.

Контрольні питання:

1. Суть мокрого способу виробництва цементу.
2. Чим відрізняється мокрий і сухий способи виробництва цементу?
3. Від чого залежить вибір способу виготовлення цементу?
4. У чому необхідність зниження вологості сировинного шламу?
5. Наведіть приклади розріджувачів шламу.
6. Механізм дії електролітів і ПАР в цементних сировинних шламах.

Лабораторна робота № 4.4

ВИЗНАЧЕННЯ ТИПУ ЦЕМЕНТУ З ТЕХНОГЕННОЮ СИРОВИНОЮ ЗА ЯКІСНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

Мета роботи: Визначення виду портландцементу з техногенною сировиною за основними ознаками шляхом проведення якісних реакцій в умовах лабораторних випробувань.

Прилади та обладнання:

1. Ваги лабораторні.
2. Мірний посуд, совок.
3. Лінійки.
4. Скляні пластинки 9x12 см.
5. Прилад Віка з пестиком і голкою.
6. Сферична металева чашка, лопатка.
7. Годинникове скло.
8. Постійний магніт.
9. Прилад для механічного просіювання (ситя № 008)
10. Прилад для тестування міцності МІИ-100.
11. Рознімна форма-конус для визначення НГЦР.
12. Металева штиковка.
13. Вібростіл.
14. Гідравлічний прес.
15. Секундомір.
16. Форма металева стандартна.

1. Теоретичні відомості

В будівництві найчастіше застосовуються загальнобудівельні цементи та цементи з різними техногенними добавками на основі портландцементного клінкеру для виготовлення широкого спектру матеріалів.

Щоб правильно оцінити раціональну область застосування цементу, необхідно встановити його вид, визначити основні показники якості: тонкість помелу, насипну густину, нормальну густоту цементного тіста, терміни тужавлення, рівномірність зміни об'єму в процесі гідратації, міцність цементу на стиск і згин.

Вид цементу залежить від його складу - вмісту основних компонентів: клінкеру, гіпсу, мінеральних добавок.

Залежно від мінералогічного складу та вмісту активних мінеральних добавок (опока, золи, трепел, шлак та ін.) згідно стандарту цементи підрозділяють на портландцемент, портландцемент з мінеральними добавками (10 - 21%), шлакопортландцемент (21 - 80% шлаку) і пуцолановий портландцемент (20 - 40% добавок вулканічного і осадового походження) та композиційний цемент.

2. Хід роботи

Вид цементу встановлюють шляхом проведення хімічного аналізу. В умовах будівельного майданчика можливо визначати тип цементу за характерними ознаками, використовуючи прості прийоми. Основні ознаки, які будуть відрізнятися залежно від техногенної добавки (колір, насипна густина, нормальна густина цементного тіста, адсорбція метиленової сині,

виділення сірководню, дія магніту для різних видів цементу наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Основні ознаки цементу

Якісні реакції для визначення характеристик	Вид цементу		
	Портландцемент	Шлакопортландцемент	Пуцолановий цемент
Дія соляної к-ти	Без запаху	Запах сірководню	Без запаху
Дія магніту	Часточки не притягуються	Часточки частково притягуються	Часточки не притягуються
Адсорбція метиленової сині	Слабке знебарвлення розчину		Інтенсивне знебарвлення розчину
Насипна густина г/см ³	1,2-1,4		1,1-1,3
Нормальна густина цементного тіста, %	21-27	23-32	30-40

Всі дані, отримані протягом проведення тестування, занести в таблицю 2.

Таблиця 2

Експериментальні дані для визначення виду і якості цементу

Тонина помелу, %	Нормальна густина, %	Насипна густина, %	Особливі ознаки	Вид цементу	Марка цементу

2.1. Визначення типу цементу за характерними ознаками

а) Насипна густина

Цемент засипати в циліндр відомого об'єму і маси з висоти близько 5 см від краю циліндра таким чином, щоб він був наповнений вище країв. Зрізати надлишки цементу лінійкою і зважити циліндр з цементом. Насипну густина ρ_n в г/см³ розрахувати за формулою:

$$\rho_n = \frac{m_1 - m_2}{V}, \quad (1)$$

де m_1 - маса циліндру з цементом, г; m_2 - маса циліндру, г; V - об'єм циліндру, см³.

б) Нормальна густина цементного тіста

Це водо - цементне відношення у відсотках, при якому досягається нормована консистенція цементного тіста. Перед проведенням випробування перевірити готовність приладу Віка (положення стрілки - 0, вільний рух стрижня, чистоту поверхні). Скляну пластинку і металеве кільце змастити тонким шаром машинного масла. Для приготування цементного тіста відважити 400 г цементу, висипати у вологу сферичну металеву чашку, потім в цементі зробити заглиблення, вилити в один прийом орієнтовну кількість води 110 - 112 см³ і після 30 с. ретельно перемішати лопаткою у взаємно перпендикулярних напрямках протягом 5 хв. Заповнити кільце приладу цементним тістом, постукуючи об стіл 5 - 6 разів. Надлишок тіста зрізати вологим ножом і зарівняти. Пестик привести в дотик з поверхнею тіста і закріпити затяжним гвинтом. Після цього звільнити стрижень для вільного занурення в тісто протягом 30 с. Густина цементного тіста вважається нормальною, якщо стрижень не доходить до скляної пластинки підставки на 5 - 7 мм. Якщо він, занурюючись в цементне тісто, зупиняється вище, то дослід необхідно

повторити з більшою кількістю води, а якщо нижче - з меншою. На підставі отриманих даних розрахувати нормальну густоту і занести результати в табл. 2.

в) Адсорбція метиленової сині

Серед невідомих цементів різних типів пуцолановий портландцемент можливо виявити за адсорбцією метиленової сині. Активні мінеральні добавки цього цементу, володіючи високою адсорбційною спроможністю, інтенсивно знебарвлюють забарвлений розчин. Визначення роблять у такий спосіб. Пробу досліджуваного цементу (30 г) висипають в скляну ємність і заливають 50 мл розчину метиленової сині, яку готують з розрахунку 100 мл води - 10 крапель барвника. Розчин інтенсивно перемішують і дають відстоятися протягом 10 хв. В іншу скляну ємність (контрольну) додають 50 мл приготованого розчину без цементу. Порівнюють колір контрольного розчину і розчину з цементом. Інтенсивне знебарвлення рідини характерне для пуцоланового портландцементу.

г) Випробування соляною кислотою

Шлакопортландцемент виявляють за характерним запахом сірководню та при дії на пробу цементу соляною кислотою. В цьому випадку для визначення виду цементу на годинникові скельця насипати проби (5 г) цементів і нанести на них кілька крапель соляної кислоти для перевірки реакції на виділення сірководню.

д) Дія магніту

В цемент помістити постійний магніт і енергійно перемішати. При наявності шлакопортландцементу до магніту притягується значна кількість металевих частинок. Результати випробувань занести в таблицю 2 і

порівняти з даними таблиці 1, після чого зробити висновок про вид цементу.

2.2 Визначення показників якості цементу

Якість цементу оцінюють за такими показниками: тонина помелу, терміни тужавлення, рівномірність зміни об'єму цементу і марки цементу.

Тонину помелу визначають як залишок на ситі з розміром комірки 008 мм у відсотках від початкової маси проби, яку просіюють. Згідно стандарту залишок на ситі повинен складати не більше 15%.

Терміни тужавлення визначають за допомогою приладу Віка (сталевий стрижень замінюють голкою). Початок тужавлення портландцементу, портландцементу з мінеральними-добавками, пуццоланового і шлакопортландцементу повинен наступити не раніше ніж через 45 хв, а кінець тужавлення - не пізніше 10 год. з моменту замішування цементу з водою.

Рівномірність зміни об'єму цементного тіста нормальної густоти - властивість цементу в процесі тверднення утворювати цементний камінь, усадочні деформації якого не перевищують значення, установлені нормативним документом.

Рівномірність зміни об'єму цементу в процесі гідратації встановлюють тригодинним кип'ятінням у воді зразків-коржів, які тверділи 24 години у вологих умовах. Не витримавшими випробування вважаються ті, які на своїй поверхні мають радіальні глибокі тріщини або сітку дрібних тріщин. Основна причина нерівномірної зміни об'єму - наявність в цементі вільних СаО у кількості більше 5% і MgO більше 1%, які гасяться зі збільшенням об'єму в уже затверділому цементному камені.

Марка цементу - фактична міцність на стиск зразків зі стандартного цементного розчину. З урахуванням міцності на згин та стандартної

міцності на стиск цемент підрозділяють на класи: 22,5; 32,5; 42,5; 52,5 (МПа), або марки: 300, 400, 500, 550, 600 кгс / см².

Для визначення марки цементу необхідно сформувати зразки-балочки розміром 4x4x16 см зі стандартного цементно-піщаного розчину складу 1: 3. Кількість введеної води залежить від водопотреби цементу.

Водопотреба цементу - водо-цементне відношення, при якому досягається нормована рухливість стандартного цементного розчину. Нормальну рухливість цементного розчину визначають за його розпливом на струшувальному столі. Для цього в суміш піску масою 1500 г, просіяного через сито 5мм, і цементу масою 500 г вливають 200 г води і ретельно перемішують до отримання однорідної маси. Отриману суміш укладають в попередньо зволожену форму-конус, розміщену на струшувальному столі, двома шарами рівної товщини.

Кожен наступний шар ущільнюють металевією штиховкою: нижній 15, верхній 10 разів, поверхню вирівнюють, а конус знімають у вертикальному напрямі. Далі обертаючи маховика, струшують столик 30 разів протягом 30 с, при цьому конус розпливеться. За допомогою сталевієї лінійки заміряють розплив конуса по нижній основі в двох взаємно перпендикулярних напрямках. Консистенцію розчину вважають нормальною, якщо діаметр розпливу дорівнює 106 - 115 мм.

При меншому діаметрі необхідно додати води в суміш і після ретельного перемішування повторити дослід. При розпливі більше допустимого готують новий склад зі зменшеною кількістю води і дослід повторюють. Ретельно перемішаний розчин укладають в попередньо змащені форми, вібрують на вібростолі протягом 2 - 3 хв. і залишають на зберігання для набору міцності. Умови тверднення: $t = 20 \pm 2$ °С, вологість 95 - 98%.

Для визначення марки цементу зразки-балочки в віці 28 діб досліджують на згин (агрегат МІІІ-100), а потім кожну з отриманих половинок за допомогою двох металевих пластинок, площа яких дорівнює 25 см^2 , - на стиск.

Межа міцності при стиску ($\text{Н} / \text{мм}^2$, $\text{кгс} / \text{см}^2$)

$$R_{\text{ст}} = \frac{P}{F}, \quad (2)$$

де P - руйнівне навантаження, Н (кгс); F - площа поверхні, мм^2 (см^2).

Орієнтовно марку цементу можна визначити в більш ранній термін тверднення, але не раніше витримки протягом 7 діб, за логарифмічною залежністю міцності зразку від часу його тверднення. Тоді:

$$R_{28} = R_n \cdot \frac{\lg 28}{\lg n}, \quad (3)$$

де n - час тверднення зразків (діб); R_n - міцність зразків у цьому віці.

Отримані результати порівнюють з вимогами стандарту (табл. 3) і роблять висновок щодо марки цементу.

Таблиця 3

Вимоги до цементу

Цемент	Марка	Границя міцності у віці 28 діб, МПа	
		При згині	При стиску
Портландцемент	400	5,5	40
	500	6,0	50
	550	6,2	55
	600	6,5	60
Шлакопортландцемент	300	4,5	30
	400	5,5	40
	500	6,0	50
Пуцолановий цемент	300	4,5	30
	400	5,5	40

На підставі отриманих даних роблять висновок про вид цементу і його якість. Визначають раціональні області застосування цементу залежно від його виду.

Контрольні питання.

1. За якими ознаками можна визначити шлакопортландцемент?
2. За якими ознаками можна визначити пуцолановий портландцемент?
3. Як визначити середню (насіпну) густину портландцементу?
4. Від чого залежить насипна густина портландцементу?
5. Які періоди тверднення портландцементу характеризують час початку і кінця тужавлення?
6. Які вимоги пред'являє стандарт до портландцементу за термінами тужавлення?
7. З якою метою визначають нормальну густоту цементного тіста?
8. На якому приладі і в яких одиницях визначають нормальну густоту цементного тіста?
9. На суміші якого складу визначають марку цементу?
10. Який режим тверднення використовують при визначенні марки цементу?
11. Як Ви розумієте вираз - марка портландцементу 400, 500?
12. Яким чином можна розрахувати орієнтовно марку цементу, зразки якого тверднули 7 діб?
13. З якою метою при визначенні марки цементу попередньо визначають нормовану рухливість цементного розчину?
14. Від чого залежить марка цементу?
15. Які експериментальні дані необхідно мати для розрахунку марки цементу?

Лабораторна робота № 4.5

ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЦЕМЕНТУ ЗА ВМІСТОМ ТЕХНОГЕННОЇ ДОБАВКИ

Мета роботи: Вивчити залежність основних властивостей шлакопортландцементу від виду і вмісту в них шлаку, а також виявити та дослідити особливості тверднення при тепловологій обробці.

Обладнання і матеріали:

1. Прилад Віка
2. Роз'ємні форми розміром 20x20x20 мм.
3. Прес з граничним навантаженням 10 т.
4. Портландцемент постійного мінералогічного складу;
5. Кислий доменний гранульований шлак;
6. Основний доменний гранульований шлак;
7. Паливний шлак.

Шлаки повинні бути мелені до тонини, що характеризується залишком не більше 15% на ситі № 008.

1. Теоретичні відомості

При роботі металургійних підприємств утворюється їх побічний продукт – шлаки. Доменні шлаки недостатньо використовуються як техногенна сировина, що накопичуються, утворюючи величезні відвали, погіршуючи цим екологію та зменшуючи цінні угіддя. Використання шлаків у виробництві цементу приводить до значного зменшення собівартості останнього. Шлакопортландцемент відрізняється від портландцементу рядом відмінностей у властивостях.

Шлакопортландцементом називають гідравлічне в'язуче, отримане шляхом сумісного помелу портландцементного клінкеру, гіпсу та гранульованого доменного шлаку або змішуванням у сухому вигляді вище наведених компонентів.

Вміст шлаку у шлакопортландцементі повинен знаходитися в межах від 36 до 80% за масою.

Для виробництва шлакових портландцементів переважно застосовуються основні і кислі доменні шлаки. Можливе також застосування у цих цілях паливних шлаків.

Шлакопортландцемент вигідно відрізняється від портландцементу меншими значеннями тепловиділення при твердінні, високою стійкістю у прісних і сульфатних водах, здатністю набирати високу міцність при пропарюванні.

2. Хід роботи

Готують цементи заданого складу і ступеню дисперсності та проводять їх дослідження для визначення:

- водопотреби (нормальної густоти цементного тіста);
- термінів тужавлення;
- міцності і кінетики твердіння при звичайній температурі і при пропарюванні.

Для проведення лабораторної роботи необхідно приготувати 2 кг в'язучого кожного складу. Приготування змішаного в'язучого здійснюється спільним перемішуванням портландцементу і попередньо подрібненого до такої ж дисперсності шлаку у лабораторному кульовому млині. Співвідношення портландцемент : шлак зазначено у таблиці 1.

Таблиця 1**Склади шлакових цементів**

№ складу	Вміст компонентів, %	
	портландцемент	шлак
1	100	0
2	80	20
3	60	40
4	40	60
5	20	80

Після приготування цементу визначають його нормальну густоту, терміни тужавлення, готують зразки для виявлення інтенсивності наростання міцності в нормальних умовах і при пропарюванні.

Готують 12 зразків-кубиків розміром 20x20x20 мм з тіста нормальної густоти. Тісто у формах ущільнюють на вібростолі протягом 1 хв. Зразки витримують у формах в камері з гідравлічним затвором 24 години, потім виймають, 6 зразків зберігають у воді і досліджують у віці 14 діб, інші 6 зразків пропарюють і досліджують у віці 14 діб.

Всі отримані результати зводять в загальну таблицю 2, аналізують і роблять висновки.

2.1 Визначення нормальної густоти цементного тіста

Нормальною густотою цементного тіста вважають таку його консистенцію, при якій стрижень приладу Віка, занурений в кільце, заповнене тістом, не доходить на 5-7 мм до пластинки, на якій встановлено кільце.

Нормальну густоту цементного тіста характеризують кількістю води, необхідної для замішування, виражену у відсотках від маси цементу.

Визначення нормальної густоти проводиться в такій послідовності. Зважують 300 г цементу, висипають в чашу, попередньо протерту вологою тканиною. Потім роблять в цементі заглиблення, в яке вливають в один прийом воду в кількості, необхідній (орієнтовно) для отримання цементного тіста нормальної густоти. Заглиблення заливають водою і через 30 с після додавання води спочатку обережно перемішують, а потім протягом 4 - 5 хвилин енергійно розтирають тісто лопаткою. Потім ще в один прийом наповнюють кільце приладу цементним тістом і 5-6 разів постукують пластиною з кільцем по твердій основі. Надлишок тіста зрізають ножом в один рівень з краями кільця. Доводять стрижень приладу в зіткнення з поверхнею тіста в центрі кільця, звільняють стопорний гвинт і через 30 с. з моменту звільнення стрижня роблять відлік занурення стрижня за шкалою.

2.2. Визначення термінів тужавлення цементного тіста

Початком тужавлення цементного тіста вважають час, що минув від початку замішування (моменту додавання води) до того моменту, коли голка приладу Віка не доходить до пластинки на 1-2 мм. Кінцем тужавлення цементного тіста вважають час від початку замішування до моменту, коли голка опускається в тісто не більше ніж на 1-2 мм. Визначення проводиться у наступній послідовності. Готують тісто нормальної густоти (відповідно до п. 2.1.), переносять його в кільце приладу Віка, попередньо змащене машинним маслом, ущільнюють постукуванням по твердій основі, надлишок тіста зрізають ножом врівень з краями кільця, голку приладу підводять до поверхні тіста. Голку, занурюють у тісто через кожні 10 хв., пересуваючи кільце після кожного

занурення для того, щоб голка не потрапляла в попереднє місце. Після кожного занурення голку протирають.

2.3. Виготовлення, зберігання та випробування зразків при твердінні

Виготовлення зразків-кубиків роблять у наступній послідовності. Зважують 300 г цементу, висипають в сферичну чашу, попередньо протерту вологою тканиною. Потім роблять в цементі заглиблення, в яке вливають в один прийом воду в кількості, відповідному нормальній густоті. Поглиблення засипають цементом і через 30 с після додавання води спочатку обережно перемішують, а потім протягом 4-5 хв. енергійно розтирають тісто лопаткою. Потім цементне тісто переносять у гніздо форми, попередньо змащене машинним маслом. Тісто ущільнюють на вібростолі протягом 1 хв, потім поверхню зразків загладжують ножом і роблять їх маркування.

Твердіння і зберігання зразків здійснюється відповідно до п. 2 цього посібника. Випробування зразків на стиск проводиться у встановлені терміни на пресі.

2.4. Обробка результатів випробувань і висновки

У лабораторному журналі записують наступні дані: нормальну густоту і терміни тужавлення цементного тіста, міцність зразків при нормальному твердінні і пропарених у віці 3 і 14 діб.

Всі дані записуються в зведену таблицю та аналізуються, робляться висновки про вплив виду та вмісту шлаків на властивості шлакових цементів. На підставі отриманих результатів будуються графіки, що показують залежність властивостей цементів від вмісту в них шлаків.

Таблиця 2

Залежність властивостей цементу від вмісту і виду шлаків

Найменування показників	Різновиди і вміст шлаку, %			
	без добавки	основний	паливний	кислий .
Нормальна густина				
Терміни тужавлення, - початок, хв. - кінець, год.				
Межа міцності при стиску, МПа: -зразків нормального тверднення у віці 7 діб; -пропарених зразків у віці 7 діб				

Контрольні питання

1. Який хімічний склад і різновиди шлакопортландцементу?
2. Розкажіть про шлаки, їх склад та види їх гідравлічної активності.
3. Яка технологія виробництва ШПЦ?
4. Розкажіть про процеси, які відбуваються при гідратації і твердінні ШПЦ.
5. Які умови твердіння є найбільш ефективними для ШПЦ і чому?
6. Розкажіть про основні і особливі властивості ШПЦ.
7. Наведіть основні області застосування ШПЦ.

Лабораторна робота № 4.6

ВИЗНАЧЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ГІПСОЦЕМЕНТНОПУЦОЛАНОВОГО В'ЯЖУЧОГО

Мета роботи: Оцінити ефективність застосування композиційних в'язучих, як фактору ресурсозбереження. Вивчити вплив складу гіпсоцементнопуцоланового в'язучого (ГЦПВ) на його властивості.

Обладнання і матеріали:

1. Віскозиметр Суттарда.
2. Прилад Віка з голкою.
3. Сита з розміром сітки 008 мм.
4. Прес з граничним навантаженням не більше 10 т.
5. Будівельний або високоміцний гіпс.
6. Портландцемент одного мінералогічного складу;
7. Активні мінеральні добавки, що мають тонкість помелу не менше 15% (при просіві через сито з розміром отворів 008 мм): діатоміт, цегельний бій, мелений керамзит, золу.

1. Теоретичні відомості

Гіпсоцементнопуцолановим в'язучим (ГЦПВ) називається швидкоотжувачюча і швидкоотверднуча в'язуча речовина, що отримується шляхом ретельного перемішування гіпсу, цементу і активної мінеральної добавки, що взяті у певних співвідношеннях. Властивості ГЦПВ значною мірою залежать від його складу, який підбирається з урахуванням якості вихідних матеріалів. Властивості ГЦПВ можна регулювати, змінюючи якість вихідних матеріалів, їх співвідношення, тонкість помелу і т. д.

2. Хід роботи

Для проведення випробувань необхідно приготувати суміш портландцементного клінкеру і двох-трьох видів різних добавок. Приготувати ГЦПВ декількох різних складів, що будуть відрізнятися вмістом гіпсу.

ГЦПВ готують, ретельно змішуючи його компоненти в кульовому млині. Для проведення роботи необхідно приготувати 2 кг в'язучого кожного складу. ГЦПВ рекомендується готувати при такому співвідношенні компонентів: напівводний гіпс - 50-75%, портландцемент - 15-25%, пуцоланова добавка (з активністю не менше 200 мг/л) - 10-25%. При активності добавки менше 200 мг/л її вміст подвоюється.

Необхідно визначити наступні характеристики ГЦПВ:

- тонкість помелу;
- нормальну густоту тіста;
- терміни тужавлення;
- межу міцності при стиску;
- водостійкість (за величиною коефіцієнта розм'якшення і визначенням вільного $\text{Ca}(\text{OH})_2$ із водної витяжки).

Тонкість помелу в'язучого визначається просіюванням проби через сито з розміром отворів 008 мм (залишок на ситі не повинен перевищувати 15%). Нормальну густоту тіста визначають на приладі Суттарда. Далі визначають терміни тужавлення і готують 12 зразків у формі кубиків з тіста нормальної густоти розміром 20x20x20 мм для визначення міцності при стиску і коефіцієнта розм'якшення, величиною якого характеризують водостійкість в'язучого.

2.1 Визначення тонкості помелу ГЦПВ

Суміш ГЦПВ готують ретельним змішуванням всіх компонентів, склад якої задається викладачем.

Пробу в'язучого висушують у сушильній шафі при температурі 55-60°C протягом 2 годин і охолоджують в ексикаторі. Зважують 50 г в'язучого з точністю до 0,01 г і висипають на сито. Закривши сито кришкою, встановлюють його в приладі для механічного просіювання. Через 5-7 хв від початку просіювання зупиняють прилад, обережно знімають денце і висипають з нього змішане в'язуче, яке пройшло через сито, прочищають сітку з нижньої сторони м'яким пензликом, вставляють денце і продовжують просіювання. При відсутності в лабораторії приладу для механічного просіювання допускається проводити ручне просіювання.

Операцію просіювання вважають закінченою, якщо при контрольному просіюванні через сито проходить не менше 0,05 г в'язучого. Контрольне просіювання виконують вручну при знятому денці на папір протягом однієї хвилини.

Тонкість помелу в'язучого визначають як залишок на ситі з розміром отворів 008 мм (у відсотках до початкової маси проби, яку просівали) з точністю до 0,1%.

2.2 Визначення нормальної густоти тіста з ГЦПВ

Нормальною густотою тіста з ГЦПВ вважають таку його консистенцію, при якій стрижень приладу Віка, занурений в кільце, заповнене тістом, не доходить на 5-7 мм до пластинки, на якій встановлено кільце.

Нормальну густоту тіста характеризують кількістю води необхідною для замішування, виражену у відсотках від маси в'язучого.

Визначення нормальної густоти проводиться в такій послідовності. Зважують 300 г цементу, висипають в чашу, попередньо протерту вологою тканиною. Потім роблять в суміші заглиблення, в яке вливають в один прийом воду в кількості, необхідній (орієнтовно) для отримання тіста нормальної густоти. Заглиблення заливають водою і через 30 с після додавання води спочатку обережно перемішують, а потім протягом 4 - 5 хвилин енергійно розтирають тісто лопаткою. Потім ще в один прийом наповнюють кільце приладу тістом і 5-6 разів постукують пластиною з кільцем по твердій основі. Надлишок тіста зрізують ножом в один рівень з краями кільця. Доводять стрижень приладу до зіткнення з поверхнею тіста в центрі кільця, звільняють стопорний гвинт і через 30 секунд з моменту звільнення стрижня роблять відлік занурення товкачика за шкалою.

2.3. Визначення термінів тужавлення тіста з ГЦПВ

Початком тужавлення тіста вважають час, що минув від початку замішування (моменту додавання води) до того моменту, коли голка приладу Віка не доходить до пластини на 1-2 мм. Кінцем тужавлення вважають час від початку замішування до моменту, коли голка опускається в тісто не більше ніж на 1-2 мм. Визначення проводиться у наступній послідовності. Готують тісто нормальної густоти (відповідно до п. 2.1.), переносять його в кільце приладу Віка, попередньо змащене машинним маслом, ущільнюють постукуванням по твердій основі, надлишок тіста зрізають ножом врівень з краями кільця, голку приладу підводять до поверхні тіста. Голку, занурюють у тісто через кожні 10 хв, пересуваючи

кільце після кожного занурення для того, щоб голка не потрапляла в попереднє місце. Після кожного занурення голку протирають.

2.4. Виготовлення, зберігання при твердінні і випробування зразків на міцність

Необхідно виготовити 12 зразків-кубиків розміром 20x20x20 мм. Для виготовлення зразків ГЦПВ протягом 5-20 сек. засипають в чашку з водою в кількості, необхідній для отримання тіста нормальної густоти.

Після засипання в'язучого суміш слід інтенсивно перемішати ручною мішалкою протягом 60 с. до отримання однорідного тіста, яке заливають у форму. Для видалення втягнутого повітря після заливки форму струшують 5 разів, піднімаючи її на висоту 8-10 мм за торці і опускаючи її. Після настання початку тужавлення, поверхню зразків необхідно вирівняти металевою лінійкою. Через дві години з моменту виготовлення зразки вийняти з форми і зберігати протягом доби в камері з гідравлічним затвором (вологі умови). Потім пропарити за вказаним вище режимом. Через 12 діб шість зразків необхідно випробувати, попередньо їх висушивши, інші шість помістити на 48 годин у воду і випробувати у водонасиченому стані.

Зразки-кубики по 6 штук у встановлені терміни піддають випробуванню на міцність при стиску на пресі. Кожен зразок випробовують між пластинками преса, розташовуючи їх бічними гранями на площинах пластин. Межа міцності при стиску окремого зразка обчислюється як частка від ділення величини руйнівного зусилля на площу зразка.

Межа міцності при стиску зразків кожного складу обчислюють як середнє арифметичне з чотирьох результатів випробувань шести зразків.

2.4 Визначення коефіцієнта розм'якшення

Зразки витримують 1,5-2 години з моменту замішування у формах, потім поміщають в умови підвищеної вологості на 1 добу (камера з гідравлічним затвором), а потім пропарюють (режим пропарювання 2+6+3). Після пропарювання зразки зберігають на повітрі. Через 12 діб з моменту виготовлення їх поділяють на 2 частини: шість зразків досліджують після висушування, шість інших поміщають на 48 годин у воду і досліджують у водонасиченому стані.

Межу міцності при стиску обчислюють як середнє арифметичне значення чотирьох найбільших результатів випробувань шести сухих зразків кожного складу.

Коефіцієнт розм'якшення (K_p) визначають за формулою:

$$K_p = \frac{R_{\text{насих}}}{R_{\text{сух}}},$$

де $R_{\text{насих}}$ - межа міцності при стиску насичених зразків, МПа;

$R_{\text{сух}}$ - межа міцності при стисканні зразків, висушених до постійної маси, МПа.

2.5. Обробка результатів випробувань та висновки

В протоколі лабораторної роботи записують наступні дані: вид добавки, склад ГЦПВ, тонкість помелу в'язучого, нормальну густоту тіста, терміни тужавлення, межу міцності при стиску, коефіцієнт розм'якшення (K_p).

Всі дані записуються в одну зведену таблицю (табл. 1), аналізуються і робляться висновки про властивості ГЦПВ (залежно від його складу).

Таблиця 1

Вплив складу ГЦПВ на його властивості

№№	Вид добавки	Склад ГЦПВ, мас. %			Тон- кість по- мелу, %	Нор- мальна гус- тота	Терміни тужавлення, хв		Межа міцності, МПа	Коефіці- єнт розм'як- шення.
		гіпс	це- мент	акт. доб.			по- чаток	кі- нець		

Контрольні питання:

1. З яких компонентів складається гіпсоцементнопуцоланове в'язуче?
2. Яка роль активних мінеральних добавок у складі ГЦПВ?
3. Розкажіть про основні властивості ГЦПВ і основні галузі його застосування.
4. Якими особливостями тверднення володіє даний тип в'язучого?
5. Як визначити нормальну густоту тіста з ГЦПВ?
6. Як визначити терміни тужавлення ГЦПВ?
7. Розкажіть про методику визначення тонкості помелу ГЦПВ.

Лабораторна робота № 4.7

**ВИЗНАЧЕННЯ КОРОЗІЙНОЇ СТІЙКОСТІ ЦЕМЕНТІВ
З ТЕХНОГЕННИМИ ДОБАВКАМИ**

Мета роботи: Оцінити вплив добавок техногенної сировини на експлуатаційні властивості цементу. Вивчити методику визначення корозійної стійкості цементу і провести порівняльну оцінку стійкості різних видів цементу.

Матеріали і обладнання:

1. Портландцемент, шлакопортландцемент, пуцолановий портландцемент.
2. Стандартний або кварцовий пісок, річковий пісок (фракції 0,63-1,25 мм).
3. Розчини $MgSO_4$ або Na_2SO_4 , цукру.
4. Вода водопровідна.
5. Вода дистильована.
6. Чаша для замішування з лопаткою.
7. Лабораторний змішувач.
8. Лабораторний вібростіл.
9. Ємність для зберігання зразків в агресивних середовищах.
10. Роз'ємні форми 20x20x20 мм.
11. Ємності з гідравлічним затвором.
12. Гідравлічний прес.

1. Теоретичні відомості

Корозійною стійкістю цементу називають здатність цементного каменю чинити опір корозійним хімічним впливам навколишнього середовища - природним водам, промисловим водам, розчинам різних рідин, а також газів. На практиці найбільш часто доводиться стикатися з руйнуванням бетону під впливом агресивного водного середовища. Тому бетонні та залізобетонні конструкції повинні характеризуватися не тільки

механічною міцністю і стійкістю під дією робочих навантажень, але і належною довговічністю (стійкістю) дії руйнівним і агресивним впливам різноманітних зовнішніх хімічних і фізичних факторів.

Корозійна стійкість цементу у бетонах і розчинах залежить від багатьох факторів: виду цементу, густини бетону, розміру конструкцій, умов омивання їх водою та ін.

Портландцемент і різні його похідні, а отже і бетони на їх основі, характеризуються відносно високою стійкістю проти дії багатьох агресивних факторів, що найбільш часто зустрічаються при експлуатації будівель і споруд. Тим не менш, при несприятливих умовах вони можуть швидко руйнуватися, і необхідно впроваджувати заходи, що захищають бетонні та залізобетонні конструкції від передчасного виходу їх із ладу.

Різні види цементу характеризуються різною стійкістю проти дії тих чи інших агресивних факторів. Наприклад, цемент з низьким вмістом алюмінатів кальцію характеризуються підвищеною стійкістю проти дії сульфатів, пуцоланові портландцементи відрізняються підвищеною водостійкістю і т.д. Тому вибирати цемент для бетонів різного призначення слід з урахуванням не тільки показників їх міцності, але і стійкості проти дії тих агресивних середовищ, в яких будуть працювати бетонні конструкції.

2. Хід роботи

Для виконання роботи необхідно приготувати зразки-кубики розміром 20x20x20 мм з цементу і піску складом 1:3 за масою. Приготувати по 30 зразків для кожного виду цементу при В/Ц = 0,4-0,7. Після виготовлення, зразки 2 доби витримують у вологих умовах у формах, потім розпалублюють і поміщають у воду для попереднього

твердіння. Через 14 діб тверднення у воді зразки переносять у агресивні середовища, де їх витримують протягом 2 місяців. Контрольні зразки весь цей термін зберігають у питній воді. Після закінчення двох місяців всі зразки випробовують на пресі. Корозійну стійкість цементу характеризують коефіцієнтом стійкості (K_C), який обчислюється за формулою:

$$K_C = \frac{R_{cm}}{R_{ct}^*}$$

де R_{ct} - межа міцності зразків нормального твердіння у питній воді, МПа;

R_{ct}^* - межа міцності зразків при зберіганні в агресивному середовищі, МПа.

Кожна бригада студентів працює з певним цементом (портландцемент, пуцолановий, шлакопортландцемент).

2.1 Методика виконання роботи

2.1.1 Виготовлення і зберігання зразків

Виготовлення зразків-кубиків розміром 20x20x20 мм проводиться в такій послідовності: 1500 г стандартного піску (або кварцового річкового піску фракції 0,63-1,25 мм) і 500 г цементу висипають в сферичну чашу, перемішують лопаткою протягом однієї хвилини. У центрі суміші роблять лунку і вливають воду протягом 30 с., потім ще раз перемішують суміш протягом 1 хв. Розчин переносять у заздалегідь протерту мокрою ганчіркою чашу механічної мішалки, де перемішують протягом 2,5 хв. або протягом 20 обертів чаші мішалки. Розчин виймають з мішалки і переносять його в сферичну чашу. Заповнюють розчином попередньо

змазані форми, вібрують їх протягом однієї хвилини, додаючи в них по мірі ущільнення зразків розчин так, щоб форми були заповнені з невеликим надлишком. Поверхню зразків вирівнюють ножем і поміщають в формах у вологі умови на 2 доби. Через 2 доби зразки розпалублюють і зберігають у воді 14 діб, протягом яких відбувається їх тверднення.

Для кожного цементу готують зазначеним чином 30 зразків-кубиків.

2.1.2 Визначення корозійної стійкості зразків

Для проведення випробування на корозійну стійкість використовують зразки після 14 діб тверднення у водному середовищі. Шість зразків кожного варіанту досліджують на стиск на пресі - визначають вихідну міцність на стиск. Ще 6 зразків залишають на зберігання в питній воді терміном на 2 місяці. 18 зразків кожного складу, які залишились маркують і поміщають в агресивні середовища (по 6 зразків в кожне) строком також на 2 місяці. В якості агресивних середовищ використовують 3% водний розчин $MgSO_4$ або 5% розчин Na_2SO_4 , 10% розчин цукру, дистильовану воду.

Зберігання зразків в агресивних рідинах здійснюють у закритих ексикаторах на керамічних або скляних полицях. Зразки укладають з проміжком між ними не менше 0,5 см. на полиці попередньо насипають тонкий шар кварцового піску з розміром частинок 0,75-1,0 мм.

Якщо в ексикаторі кілька полиць, то кожну з них встановлюють на підставки (керамічні або скляні) висотою 3-4 см, покладені на попередню полицю. Кількість зразків, що укладаються в ексикатор, повинна бути така, щоб до початку досліду на кожен кубик доводилося по 100 см^3 розчину. Розчин повинен на 1-2 см перекивати зразки верхньої полиці. Після

закінчення кожних 15 діб зберігання зразків, розчини в ексикаторах замінюють свіжими.

Зберігання зразків у питній воді здійснюють у ексикаторах або у ваннах з оцинкованої сталі з кришками. Рівень води повинен бути таким, щоб вона на 1-2 см перекривала зразки. Воду треба міняти в ті ж терміни, що і розчини.

Після закінчення двох місяців кубики виймають з розчину або питної води, поміщають їх на аркуш фільтрувального паперу або на рушник і відразу ж досліджують на стиск, не даючи зразкам висохнути. За даними результатів випробувань зразків на стиск визначають їх середню межу міцності з чотирьох найбільших результатів і коефіцієнт стійкості за наведеною вище формулою. Коефіцієнт стійкості обчислюють з точністю до 0,01.

3. Обробка результатів випробувань і висновки

Кожна підгрупа студентів записує в лабораторному журналі наступні дані: вид в'язучого; міцність при стиску зразків, витриманих 2 місяці в агресивних середовищах; міцність контрольних зразків і величину коефіцієнта стійкості. Дані всіх підгруп записують в одну зведену таблицю (табл. 1), аналізують і роблять висновки про стійкість досліджуваного цементу в різних агресивних рідинах.

Таблиця 1

Порівняльна оцінка корозійної стійкості різних видів цементу

№ складу	Вид в'язучого	Межа міцності при стиску, МПа в залежності від середовища				Коефіцієнт стійкості в середовищі		
		Контр. зразок.	вода дист.	3% р-н MgSO ₄	10% р-н	вода дист	3% р-н MgSO ₄	10% р-н

		(зб. у воді)	або 5% Na ₂ SO ₄	цукру		або 5% Na ₂ SO ₄	цукру

Контрольні питання:

1. Що розуміють під визначенням корозійна стійкість цементного каменю?
2. Який склад і основні властивості пуцоланового цементу?
3. Який склад і основні властивості шлакопортландцементу?
4. Розкажіть про сутність та заходи запобігання 1-го виду корозії портландцементу.
5. Який механізм 2-го виду корозії портландцементу?
6. Розкажіть про сутність та заходи запобігання сульфатній корозії.
7. Як приготувати зразки для проведення випробування на корозійну стійкість цементного каменю?
8. Як провести випробування на стійкість цементного каменю до дії різних агресивних рідин?
9. Що таке коефіцієнт стійкості? Як його розрахувати?

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Закон України № 74/94-ВР від 01.07.1994 «Про енергозбереження». [Електроний ресурс] – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/74/94-%D0%B2%D1%80>
2. Указ президента України № 82/2009 Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 10 лютого 2009 року «Про невідкладні заходи щодо забезпечення енергетичної безпеки України». [Електроний ресурс] – Режим доступу: <http://www.president.gov.ua/documents/8915.html>
3. Енергоефективність як ресурс інноваційного розвитку. [Електроний ресурс] – Режим доступу: http://shatro.com/images/energoeffektivnyj-dom-pdf/National_report_NAER.pdf
4. ДСТУ 3051-95 (ГОСТ 30166-95). Ресурсозбереження. Основні положення. – Введ. 01.01.97. – К.: Держспоживстандарт України,1997. – 26 с.
5. ДСТУ 2339-94. Енергозбереження. Основні положення. – Введ. 01.01.95. – К.: Держспоживстандарт України,1995. – 8 с.
6. ДСТУ 3818-98. Енергозбереження. Вторинні енергетичні ресурси. Терміни та визначення. – Введ. 01.01.2000. – К.: Держспоживстандарт України,2000. – 30 с
7. ДБН Г.1-8-2000. Норми розрахунку витрат палива, теплової та електричної енергії при виробництві вапна, цегли і каменів силікатних. . – Введ. 01.07.2000. – К.: Держбуд України,2000. – 28 с.

8. ДСТУ Б В.2.7-46:2010. Цементи загально будівельного призначення. Технічні умови – Введ. 01.09.2011. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 14 с.
9. ДСТУ Б В.2.7-112-2002. Цементи. Загальні технічні умови. – Введ. 31.01.2002. – К.: Держбуд України, 2002. – 39 с.
10. Зозуля П.В. Проектирование цементных заводов / П.В. Зозуля, Ю.А. Никифоров - С.-Петербург: Синтез., 1994.- 444 с.
11. Пащенко А.А. Энергосберегающие и безотходные технологии получения вяжущих веществ / А.А. Пащенко, Е.А. Мясникова, Е.Р. Евсютин - К.: Вища шк., 1990. - 223 с.
12. Техногенные материалы в производстве цемента: монография/ В.К. Классен, И.Н. Борисов, В.Е. Мануйлов; под общ. ред. В.К. Классена. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2008. –126 с.
13. Новые цементы / Под. ред. А.А. Пащенко. – К.: Будівельник, 1978. – 220 с.
14. Дуда В. Цемент. – М.: Стройиздат, 1981. – 464 с.
15. Классен В. К. Обжиг цементного клинкера. - Красноярск.: Стройиздат, Красноярск. отд., 1994. - 323 с.
16. Волженский А.В. Гипсоцементнопуццолановые вяжущие, бетоны и изделия / А.В. Волженский, В.И. Стамбулко, А.В. Ферронская - М.: Стройиздат, 1971. - 318 с.
17. Ферронская А.В. Развитие теории и практики в области гипсовых вяжущих веществ. Сб. «Развитие теории и технологий в области силикатных и гипсовых материалов». -Ч.1.- М.:МГСУ, 2000. - С.47 – 56.
18. Комплексное развитие сырьевой базы промышленности строительных материалов / Удачкин И.Б., Пащенко А.А., Черняк Л.П.,

- Захарченко П.В., Семидидько А.С., Мясникова Е.А. – К.: Будівельник, 1988. – 104 с.
19. Дворкин Л.И. Строительные материалы из отходов промышленности: учебно-справочное пособие / Л.И. Дворкин, О.Л. Дворкин - Ростов н/Д: Феникс, 2007. - 363 с.
20. Energetyczne wykorzystanie odpadów w przemyśle cementowym / J. Bień, M. Sanytsky, K. Rećko, S. Khrunyk // Budownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym. Praca zbiorowa / pod red. T. Bobko – Częstochowa (Poland), 2007. – S. 11-16.
21. Використання альтернативного палива в цементній промисловості / М.А Саницький, Т.Є. Марків, С.Я. Хруник, Т. М. Круць, К. Рецько // Теорія і практика будівництва. Вісник НУ “Львівська політехніка”, 2007. – № 600 – С. 258-264.
22. Методичні вказівки по вивченню дисципліни «Хімічна технологія тугоплавких неметалевих і силікатних матеріалів» / Свідерський В.А., Куц Л.І., Паславська А.П. та ін. - К.: КПІ, 1998. – 42 с.
23. Болдырев А.С. Технический прогресс в промышленности строительных материалов / А.С. Болдырев, В.И. Добужинский, Я.А. Рекитар - М.: Стройиздат, 1980. - 399 с.
24. Сегалова Е.Е. Новое в химии и технологии цемента / Е.Е. Сегалова, П.А. Ребиндер – М.: Госстройиздат, 1962. – 127 с.
25. Рояк С.М. Специальные цементы / С.М. Рояк, Г.С. Рояк – М.: Стройиздат, 1983. -277 с.
26. Дворкин Л.И. Строительные материалы из промышленных отходов / Л.И. Дворкин, И.А. Пашков – Киев: Вища школа, 1980.- 144 с.
27. Сатарин В.И. Быстротвердеющий шлакопортландцемент / В.И. Сатарин, Я.М. Сыркин – М.: Стройиздат, 1970. – 151 с.

28. Теория цемента / под ред. А.А.Пащенко. – К.: Будівельник, 1991. – 168 с.
29. Волокнистые материалы из базальтов Украины / под ред. Божко Г.А. и др. – К.: «Техника», 1971. -75 с.
30. Утилизация пыли, уловленной из дымовых газов вращающихся цементных печей. Обзорная информация. – М.: ВНИИЭСМ, 1974. – 54 с.
31. Богданов В.С. Основные процессы в производстве строительных материалов / В.С.Богданов, И.А. Семикопенко, А.С. Ильин — Белгород, 2008. — 550 с.
32. Зейфман М.И. Изготовление силикатного кирпича и силикатных ячеистых материалов. –М: Стройиздат, 1990. – 183 с.

За редакцією укладачів
Надруковано з оригінал-макета замовника

Темплан 2014 р., поз.

Підп. до друку 2006. Формат: 60x84 $\frac{1}{16}$. Папір офс. Гарнітура – Nimes
Спосіб друку – ризографія, Ум. друк. арк. Обл.-вид. арк.. Зам. № . Наклад пр.
НТУУ „КПІ” ВПІ ВПК „Політехніка”
Свідоцтво ДК № от 2006 г.
03056, Київ, вул. Політехнічна, 14, корп. 15
тел./факс (044) 241-68-78