

Черкаський державний технологічний університет

**ВПЛИВ ЕЛЕКТРОКАТАЛІЗУ НА ПРОЦЕС ГОРІННЯ ВУГІЛЛЯ.
ПОВІДОМЛЕННЯ II. ВИГОРЯННЯ КОКСОВОГО ЗАЛИШКУ**

Вступ. Кам'яне вугілля, починаючи з періоду промислової революції, відіграє важливу роль в паливному балансі планети. На сьогодні його доля серед усіх джерел енергії, що використовуються, складає біля 23%. Вугілля – це самий доступний енерго-ресурс, і його споживання збільшується з кожним роком.

Запаси вугілля на відміну від нафти і газу великі, але не безкінечні. Так при використанні усіх відкритих родовищ в тих же масштабах запасів вугілля вистачить на 150 років. Тому вже зараз постає питання про створення технологій, які б дозволили зменшити витрати вугілля при збереженні, а при можливості і збільшенні кількості енергії, яку отримують при його спаленні.

Теоретичне обґрунтування. Горіння вуглецю – гетерогенний процес, який визначається як кінетикою горіння (на поверхні чи в глибині) вуглеводного масиву частки, так і дифузійним переносом кисню і продуктів спалювання до поверхні частки, що горить. На кінетику горіння великий вплив чинить структура вуглеводного матеріалу частки твердого палива.

Кокс за своїм складом є практично чистим вуглецевим матеріалом і за структурою близький до графіту – полікристалічного матеріалу, поверхня якого утворена різноманітними кристалографічними поверхнями; розміри кристалітів коливаються від десяти до десятків тисяч ангстремів. Кристалографічними дослідженнями коксу встановлено, що він має кристалічні включення і навіть окремі монокристали. Вміст кристалітів в коксі залежить від температури коксування і збільшується зі зростанням температури процесу. Аналогічно на кристалічні включення впливає і геологічний вік палива. Таким чином, вуглець палива має неоднорідну структуру поверхні.

Разом з мікрокристалічною неоднорідністю паливо має і інший вид неоднорідності – поруватість. Вуглецева поверхня має велику поверхню мікротріщин і пор різноманітної форми і розміру. Нерівномірність, шорсткість і поруватість структури вуглецевої поверхні є наслідком відсутності чіткої кристалічної структури вуглецю палива.

При гетерогенному горінні вуглецю реакція протікає на його поверхні, до якої поступає кисень із навколишнього середовища. Існує велика кількість результатів досліджень взаємодії вуглецю з киснем та іншими газами при різних температурах і концентраціях окислювача. Зараз вважається, що взаємодія вуглецю з окислювачем (кисень, вуглекислий газ, пари води) протікає за участю проміжних нестабільних утворень, які на протязі більш чи менш тривалого часу знаходяться в адсорбованому стані на зовнішній поверхні пор. Таким чином, взаємодія йде через утворення адсорбованого шару газу на вуглецевій поверхні, схема якої представлена на рис.1. За такою схемою поверхня прагне утворити хімічний зв'язок з речовинами фази, з якою стикається.

При взаємодії вуглецю коксової частки з киснем в процесі хемосорбції утворюються оксид і діоксид вуглецю. Однак кисень ніколи не може бути сорбований в чистому вигляді. Сорбційний механізм взаємодії кисню з вуглецем може бути представлений у вигляді наступної схеми (рис.1):

Продовження вуглецевого масиву

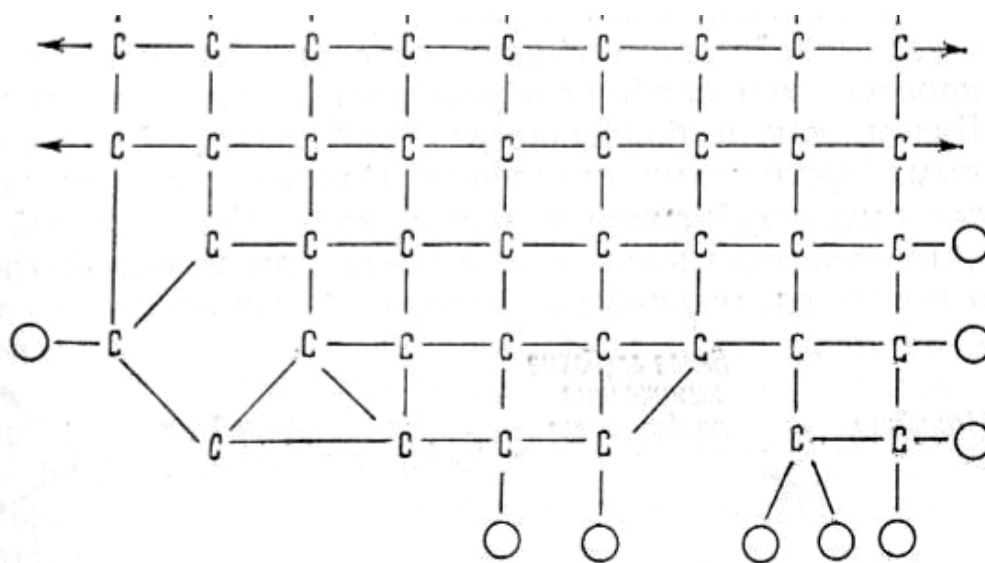
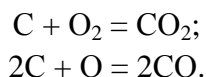


Рисунок 1 – Схема насичення зв'язків атомів на поверхні вуглецевого масиву

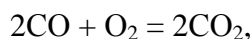


Атоми кисню, які знаходяться поблизу вуглецевої поверхні, адсорбуються на поверхні і утримуються на ній за рахунок хімічних сил. При цьому відбувається глибоке об'єднання атомів кисню і вуглецю з утворенням складних гіпотетичних сполук типу C_xO_y . Ці сполуки розкладаються по проходженні деякого часу з виділенням CO і CO_2 . При високій вологості палива, що спалюється, коли в продуктах згоряння може знаходитися значна кількість водяної пари, чи при окисненні вуглецю водяною парою в первинних продуктах можуть з'явитися водень і метан. При одночасному отриманні ряду первинних продуктів існує можливість взаємодії вуглецю з декількома окислювачами. Таким чином, для горіння вуглецю характерне різноманіття реакцій.

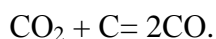
Основним результатом процесу горіння вуглецю при високих температурах є взаємодія кисню з вуглецем за реакціями



Це первинні реакції. Разом з ними на поверхні вуглецевої частки можлива взаємодія CO з киснем, що дифундує із об'єму:

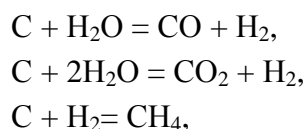


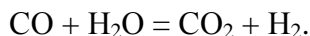
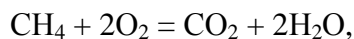
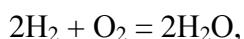
а на поверхні частки можливе відновлення CO_2 :



Це вторинні реакції.

Крім перерахованих реакцій, можливі ще наступні реакції:

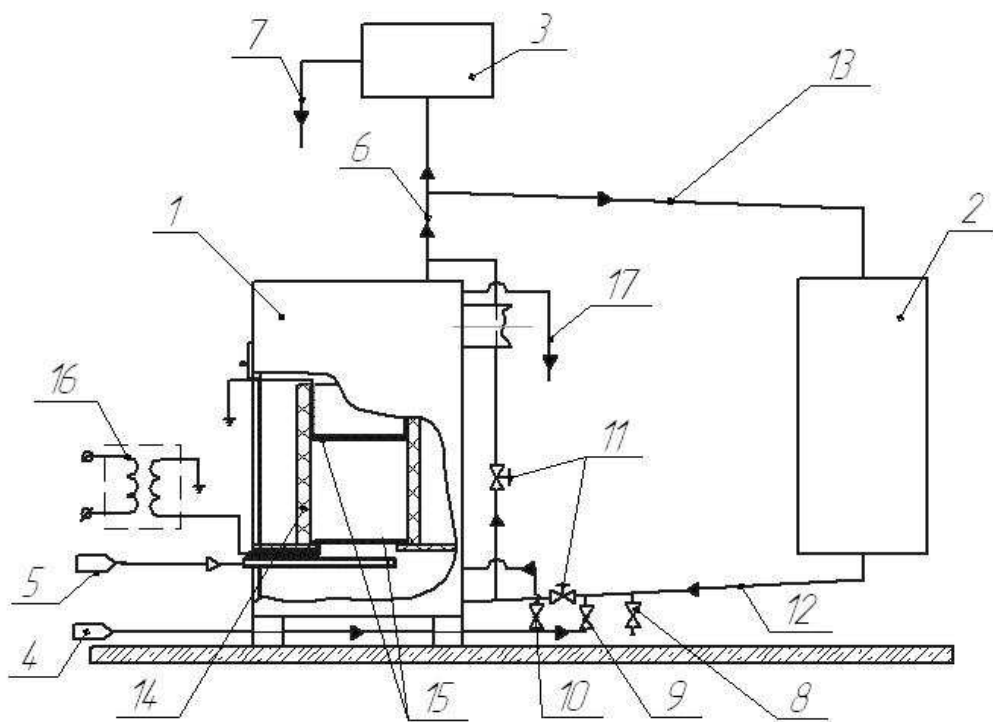




Існує велика кількість експериментальних даних з визначення кінетичних констант реакції вуглецю різноманітних палив з газами. Ці дані, які були отримані авторами з використанням різноманітних методик на різних видах вуглецевого матеріалу, різноманітні [1, 2].

Постановка задачі. Поставлено фундаментальну наукову проблему: дослідити і розробити метод інтенсифікації процесу горіння твердого палива з використанням електрокаталізу, а саме на вплив електрокаталізу на процес вигорання коксового залишку. За рахунок первинної електрокаталітичної ініціації процесу горіння відбувається руйнування структури коксового залишку, що призводить до більш повного вигорання палива і в свою чергу підвищує теплоутворення при згорянні твердого палива.

Результати роботи. Досліджено залишковий вміст вуглецю в шлакові і виділення тепла при спалюванні антрациту на дослідній установці. Установа (рис.2) складається з котла потужністю 12 кВт, на якому змонтовано керамічну камеру, систему підготовки палива, систему запалювання.



1 – котел; 2 – циркуляційна ємність; 3 – розширювальний бачок; 4 – колектор подачі води; 5 – колектор природного газу; 6 – головний стояк; 7 – лінія переливу; 8 – спускний вентиль; 9 – вентиль живлення системи; 10 – вентиль подачі води на підігрівач; 11 – регулювальні вентилі; 12 – зворотний трубопровід; 13 – прямий трубопровід; 14 – керамічна камера; 15 – електроди; 16 – підвищувальний трансформатор

Рисунок 2 – Схема стандової установки з оптимізації горіння твердого палива

Керамічна камера виготовлена з термостійкої кераміки з товщиною стінки 10 мм та призначена для зменшення втрат тепла в навколишнє середовище і попередження

виникнення короткого замикання на металевий корпус та інші частини котла. В камері відсутнє дно. Сама камера змонтована на керамічних опорах на висоті 150 мм від дна котла. В нижню частину камери встановлено систему запалювання, яка складається з газового пальника. Подачу повітря в камеру проводили за рахунок витяжної вентиляції, яка приєднана до димоходу, і таким чином створюючи примусову тягу.

Система підготовки палива складалася з системи електродів, в яку поміщали паливо.

На сам котел змонтована система циркуляції води, що складається з циркуляційної ємності діаметром 200 мм і висотою 1000 мм, яка приєднана до котла в верхній і нижній частинах за допомогою труб діаметром 50 мм. В цю систему залито 100 дм³ дистильованої води. Температуру води визначали в циркуляційній ємності за допомогою промислового термометру розширення з точністю $\pm 1^{\circ}\text{C}$.

Процес дослідження проводили наступним чином. В камеру підготовки палива завантажували 1 кг вугілля з розміром частки 10-20 мм. Зверху на керамічних опорах на висоті 10 мм встановлювали заземлюючий електрод. Під високовольтним електродом розташовували систему запалювання вугілля, яку запалювали рівно на 30 хвилин. Цього часу достатньо для підсушки, нагріву і виділення і згорання летких сполук.

З метою створення різних умов спалювання палива з використанням електрокаталізу використовували різноманітні за конструкцією електродні системи і варіювали напругою і часом обробки палива.

Після повного вигорання палива відбиралися проби шламу і проводилися аналізи залишкового вмісту вуглецю в шламі згідно з ДСТ 11022-90. Результати досліджень представлені в табл.1.

Таблиця 1 – Результати досліджень інтенсифікації горіння твердого палива на стендовій установці

№ п.п.	Номер системи електродів	Напруга, кВ	Середнє значення підвищення виділення тепла, %	Зміни ступеню вигорання палива, %
1	Перша	8	7,64	Зменшилася на 25%
2	Друга	8	8,56	Зменшилася на 16%
3	Друга	4	20,13	Збільшилася на 32 %
4	Друга	2,8	7,18	Збільшилася на 24,9 %
5	Третя	2,8	11,00	Збільшилася на 30 %

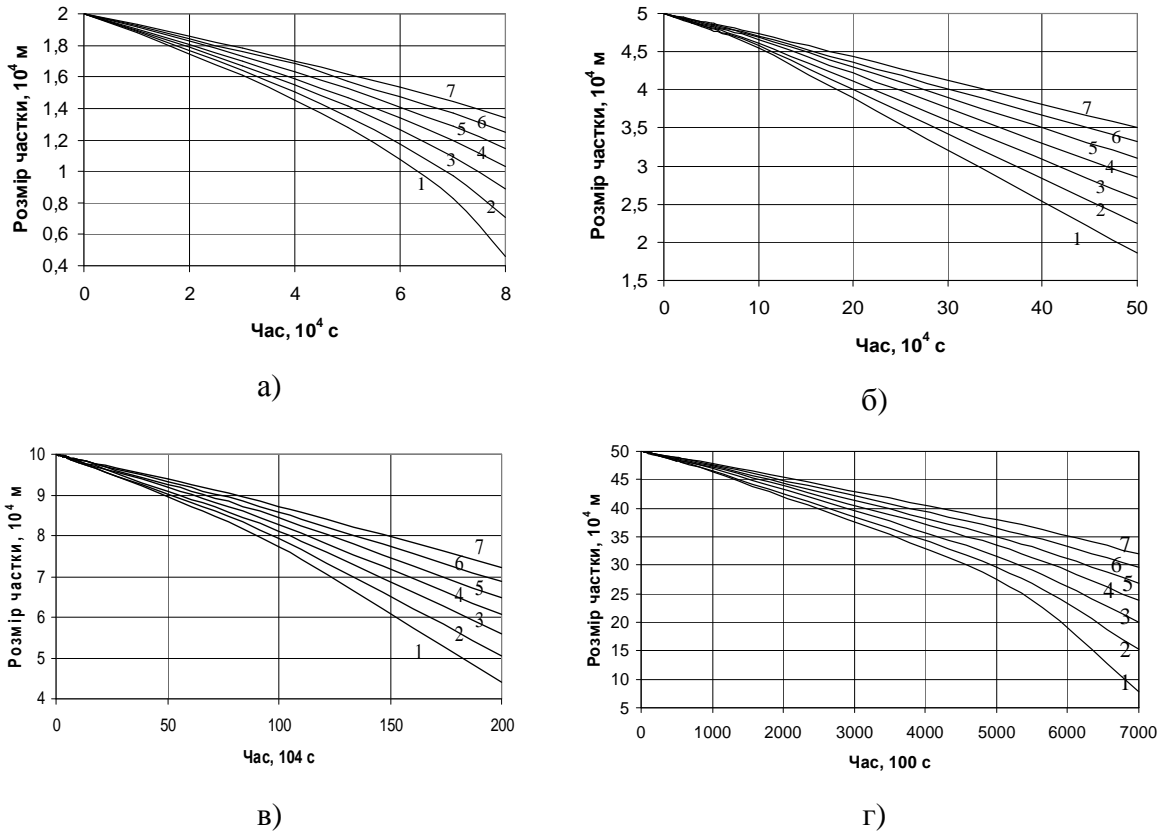
Як видно з табл.1, при різних способах обробки досягалися різні значення підвищення ступеня вигорання палива. Так при першій системі електродів і напрузі 8 кВ і другій системі електродів і тій же напрузі спостерігалось зменшення ступеня вигорання, яке становило відповідно 25 і 16%. Найбільше підвищення ступеня вигорання палива (приблизно 32%) становило при обробці другої системи і напрузі 4 кВ. При використанні третьої системи ступінь вигорання вуглецю не набагато менший, ніж в попередній системі при 4 кВ, але значно нижче середнє значення підвищення виділення тепла, яке не перевищує 11%, тоді як в другій системі при напрузі 4 кВ вода досягає 20%.

Додатково було проведено математичні дослідження вигорання коксового залишку і швидкості дифузії кисню для різних розмірів частки і різних концентрацій кисню.

На рис.3 представлено залежності вигорання коксового залишку при обробці для різних розмірів частки і концентрації кисню. Концентрація кисню змінювалася від 21% до 15%; нижче 15% згідно з літературними даними [2] процес горіння не відбувається.

Як видно з цих кривих, динаміка вигорання коксового залишку однакова для різних розмірів частки, лише збільшується час його вигорання. Суттєво впливає на процес вигорання коксового залишку концентрація кисню. Так при концентрації кисню біля 21% коксовий залишок вигоряє більш інтенсивно і майже повністю вигоряє при тому проміжку часу, на якому проводилися розрахунки.

При зменшенні концентрації кисню вигорання зменшується. Це підтверджується літературними даними [1] для звичайного горіння вугілля.



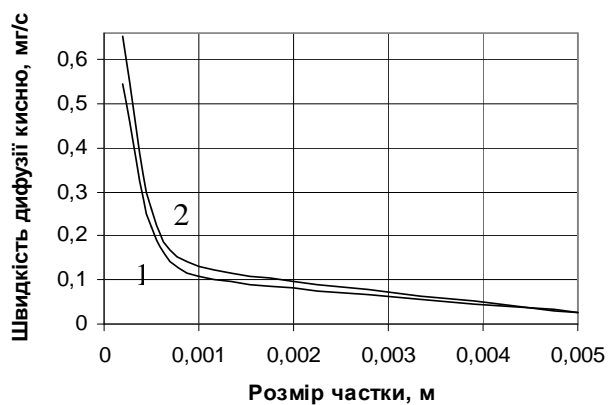
1 – кисню 21%; 2 – кисню 20%; 3 – кисню 19%; 4 – кисню 18%;
5 – кисню 17%; 6 – кисню 16%; 7 – кисню 15%

Рисунок 3 – Вигорання коксового залишку при різних концентраціях кисню для частки різного розміру

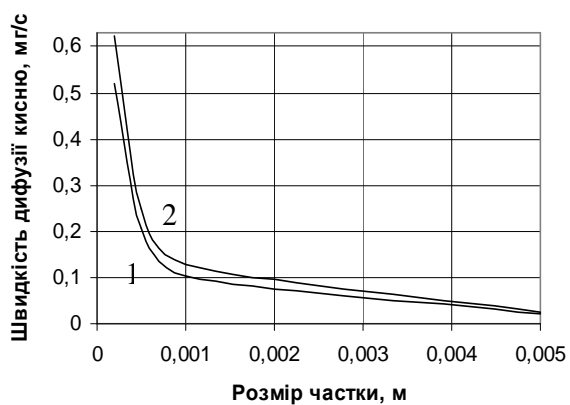
На рис.4 представлено залежності швидкості дифузії кисню сполук при різних розмірах частки.

Як видно з рис.4, на дифузію кисню в зерно вугілля впливає як при обробці, так і без неї як концентрація кисню, так і розміри частки. Так зі збільшенням розміру частки швидкість дифузії суттєво зменшується. Так само при зменшенні концентрації швидкість зменшується при всіх розмірах частки. На швидкість дифузії також впливає сама обробка вугілля. Швидкість дифузії суттєво збільшується, що в свою чергу інтенсифікує процес горіння коксового залишку.

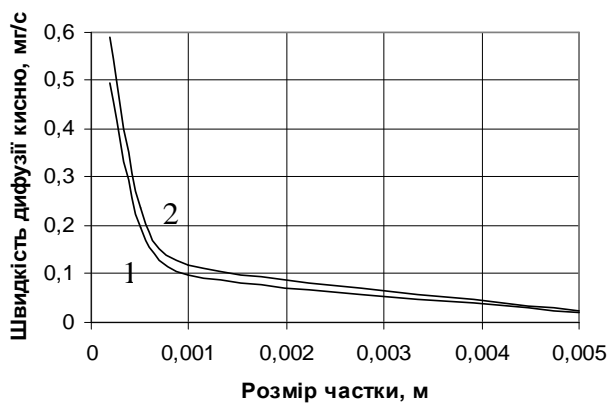
Висновки. Дослідження показали, що при використанні електрокаталізу відбувається більш інтенсивне вигорання часток вугілля. Так для другої та третьої системи ступінь вигорання збільшується на 30 і 32% відповідно. При цьому теплоутворення збільшується відповідно для кожної системи на 20 і 11%. Це відбувається за рахунок більш інтенсивної дифузії кисню. Перша і друга системи при напрузі 8 кВ, незважаючи на збільшення теплоутворення, не дозволяють збільшити ступінь вигорання коксового залишку.



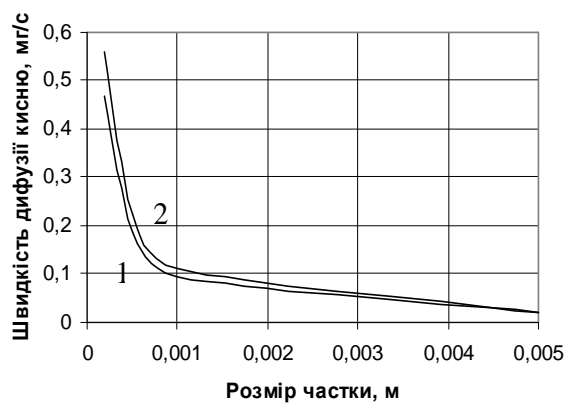
а)



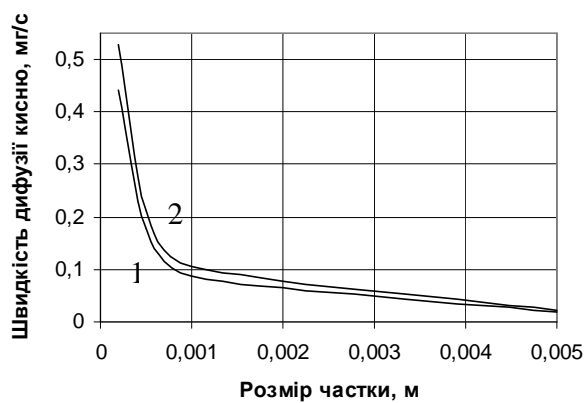
б)



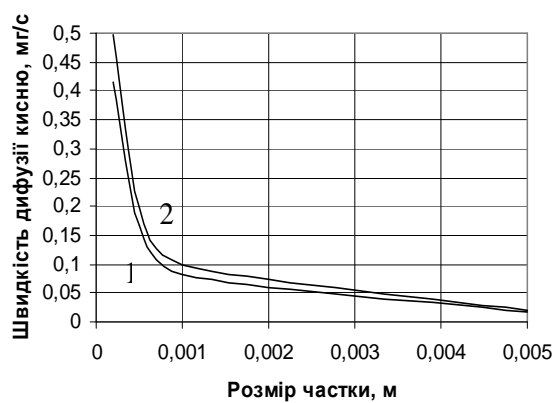
в)



г)



д)



е)

а) 21%; б) 20%; в) 19%; г) 18%; д) 17%; е) 16%
1 – без обробки; 2 – з обробкою

Рисунок 4 – Залежність швидкості дифузії кисню від розміру частки при різній концентрації кисню

При зменшенні концентрації кисню в газовій фазі зменшується вигорання коксового залишку, і вже при концентрації 15% коксовий залишок майже не вигоряє.

Розмір частки вугілля суттєво впливає на швидкість дифузії кисню, а значить і згорання палива. Чим більший розмір частки, тим менша швидкість дифузії кисню.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бабий В.И. Горение угольной пыли и расчет пылеугольного факела / Бабий В.И., Куваев Ю.Ф. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 208с.
2. Хзмалян Д.М. Теория горения и топочные устройства / Хзмалян Д.М., Каган Я.А. – М.: Энергия, 1976. – 486с.
3. Хитрин Л.Н. Физика горения и взрыва / Хитрин Л.Н. – М.: Издательство московского университета, 1957. – 452с.
4. Ксандопуло Г.И. Химия пламени / Ксандопуло Г.И. – М.: Химия, 1980. – 256с.

УДК 662.749.62.776(048)

НАГОРНИЙ Ю.С., д.т.н., доцент
МАРИНІНА Т.В., магістр
НАГОРНА С.Ю., асистент
ВЛАСЯН С.В., здобувач

Дніпродзержинський державний технічний університет

ВПЛИВ ГРАНУЛОМЕТРИЧНОГО СКЛАДУ, ВОЛОГОСТІ І ОДНОРІДНОСТІ ЗЕРНИСТОГО МАТЕРІАЛУ НА ЩІЛЬНІСТЬ ЙОГО НАСИПУ

Вступ. Одним із характерних представників зернистих матеріалів є розсипчасті, або гранульовані мінеральні добрива і їх суміші.

Механічні, фізико-хімічні і товарні властивості добрив впливають на умови їх виробництва, складського зберігання, транспортування і безпосереднього використання в сільському господарстві: гігроскопічність, злежуваність, гранулометричний склад, середній розмір часток, міцність гранул, кути природного укусу, вологовміст, щільність, насипна щільність, однорідність складу тукоsumішей і сегрегація, розсіюваність. Названі показники якості добрива взаємопов'язані.

При змішуванні добрив відносно короткочасно взаємодіють компоненти суміші, і можливі реакції між ними не протікають до кінця, тому фізико-хімічні властивості компонентів суміші майже не змінюються.

В цій роботі обмежимося виявленням взаємозалежностей основних характеристик зернистого широко розповсюдженого фосфорного добрива – суперфосфату, який ефективно використовують під любі культури і на любих ґрунтах, частіше використовують не безпосередньо, а у вигляді тукоsumішей.

Постановка задачі. Отже, представляє практичний інтерес дослідження залежності щільності насипної маси зернистого добрива (суперфосфату) від гранулометричного складу, вологості і однорідності насипу.

За зовнішнім виглядом – розсипчастий порошковидний або гранульований продукт сірого кольору різноманітних відтінків. Фосфор у суперфосфаті знаходиться головним чином у вигляді $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ і вільної фосфорної кислоти. Якість суперфосфату оцінюють за вмістом у ньому засвоєного P_2O_5 (в середньому 20%), який присутній у вигляді різноманітних з'єднань: $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, $\text{Mg}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, CaHPO_4 . Насипна щільність гранульованого суперфосфату 0,84-0,87 т/м³. Гігроскопічність (за шкалою Пестова) нейтралізованого суперфосфату при вологості 10-15% знаходиться в межах 3-5 балів.