



білкові компоненти пшеничного борошна були підтверджені при аналізі їх перетравності.

Перетравність білків борошна озонованого зерна пшениці визначали по накопиченню амінного азоту в розчинах після послідовного впливу пепсином і трипсином, імітуючи перетравність білкових речовин в умовах шлунково-кишкового тракту. Як наслідок деструкуючого впливу озону на білкові компоненти зерна підвищується їх перетравність. Результати перетравності озонованих продуктів наведені в табл. 7.

Як свідчать наведені дані, в результаті впливу озону доступність білкових компонентів дії протеаз зростає як в цілому зерні, так і в борошні. Це можна вважати позитивним моментом, якщо надалі ці продукти використовувати в їжу або корм.

Під впливом озону білкові молекули зерна пшениці піддаються деструкції і чим вище концентрація і тривалість впливу, тим більшою мірою руйнується білок. При цьому процес деструкції спостерігається не тільки на рівні очевидно четвертичної структури, але і більш глибоко. Так аналіз амінокислотного складу (табл. 8) продуктів озонолізу по характеристики вільних амінокислот, які перейшли в розчин показує, що понад 50% таких незамінних амінокислот як цистин, лізин, тирозин, валін переходять в розчинний стан. Аналіз більших фрагментів білка після озонолізу і подальшого повного кислотного гідролізу свідчить про глибоку деструкцію білка зі

зв'язків з аспарагіновою кислотою, серином, глутаміновою кислотою, аргініном і особливо по таких незамінних амінокислот як валін, фенілаланін і лейцин.

Таким чином, при розробці технологій озонування зерна пшениці неодмінною умовою має бути облік можливих глибоких змін у структурі білків, ферментів, вітамінів. Вибір умов обробки зерна повинен бути мінімальним по негативному впливу на біополімери: концентрація озону не повинна перевищувати 7...10 мг/л і час озонування не більше 10...15 хв.

#### Висновки

1. Показано, що озонування борошна пшениці в значній мірі впливає на активність амілаз і з збільшенням часу впливу озону їх активність падає і зменшується перетравність крохмалю.

2. Обробка зерна пшениці озоном викликає деструкцію білкових компонентів. Зменшується вихід білка і збільшується концентрація розчинних низькомолекулярних фракцій білка (вільних амінокислот і коротколанцюгових пептидів).

3. При озонуванні зростає доступність білкових компонентів дії протеаз як в цілому зерні, так і в борошні.

4. Аналіз амінокислотного складу озонованою пшеничного борошна свідчить про глибоку деструкцію білкових макромолекул. Більше 50% таких незамінних амінокислот як цистин, лізин, тирозин, валін, переходять в розчин.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бельх А.В. Воздействие низких температур и озона на ферментативную активность и структуру хилинэстеразы / А.В.Бельх, А.В.Сақун // Вісник Запорізького національного університету. – 2009. – №2. – С.68–73.
2. Янковский О.Ю. Токсичность кислорода и биологические системы. Эволюционные, экологические и микробиологические аспекты. – Санкт–Петербург: ГНОРД. – 2000. –294с.
3. Троцкая Т.П. Перспективы использования озона в биоэнергетических процессах сушки и сохранности растительных материалов / Т.П.Троцкая, Е.И.Голубец, Е.И.Литвинчук, А.М. Миронов, В.М.Гришук // Материалы международной научно практической конференции. Научно технический прогресс в сельскохозяйственном производстве. – 2009. – Т2. – С.7–14.
4. Троцкая Т.П. Санитарная обработка технологического оборудования и производственных помещений на предприятиях молочной промышленности методом озонирования / Т.П. Троцкая, Е.И.Голубец, А.Р.Гензелевич, А.М.Миронов, В.М.
5. Ермаков А.И. Методы биохимического исследования растений / А.И.Ермаков, В.В.Арасимович, Н.П.Ярош и др.–Л :Агропромиздат, 1987– 430с.
6. Мыцик В.Ю. Методы определения переваримости белков пищевых продуктов / В.Ю.Мыцик, К.О.Вайнштейн, Л.В.Габасов // Харчова промисловість. – 1976.–№6.–С.29–30.

Поступила 16.02.2014

Адреса для перепіски:  
вул. Канатна, 112, м. Одеса, 65039



УДК 577.1.017.7-047.37:633.1

СТАНКЕВИЧ Г.М., д-р техн. наук, професор, БАБКОВ А.В., асп., наук. співроб.

Одеська національна академія харчових технологій, м. Одеса

## ІННОВАЦІЙНИЙ ПІДХІД ДО ВИВЧЕННЯ БІОЛОГІЧНОЇ АКТИВНОСТІ ЗЕРНОВОЇ МАСИ

Розроблено спосіб і прилад для визначення інтенсивності дихання зерна у вигляді компактної установки, що дозволяє досліджувати аеробне, анаеробне і змішане дихання зернової маси. Конфігурація приладу дозволяє проводити дослідження інтенсивності дихання зерна за комплексом показників.

**Ключові слова:** зерно, інтенсивність дихання, біохімічні дослідження, прилад, спосіб

*A developed by method and device for researching the rate respiration grain in form compact installation, allowing carry out study of aerobic, anaerobic and mixed respiration grain mass. Configuration of device allows the carry through study the respiration rate of grain on based of the complex indicators.*

**Keywords:** grain, respiration rate, biochemical studies, device, method.

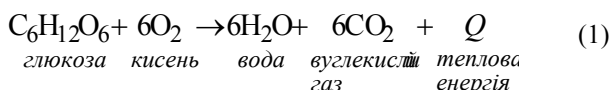


### Вступ.

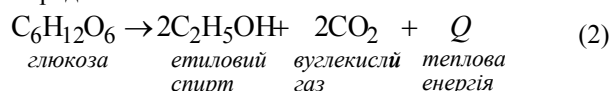
Дихання — це важливий фізіологічний процес, що лежить в основі обміну речовин живих організмів. Інтенсивність дихання є показником біологічної активності зернової маси, що зберігається. Вивчення інтенсивності дихання зерна має безпосереднє відношення до теорії і практики зберігання. Це пов'язано з визначенням втрат сухих речовин зерна при зберіганні, а також з визначенням умов впливу зовнішнього середовища, що характеризують оптимальні режими зберігання [1].

До речовин, які приймають участь в процесі дихання, наприклад, зернових культур, відносяться вуглеводи зерна і кисень із атмосферного повітря, до кінцевих продуктів — вуглекислий газ, вода, і спирт, тобто в процесі дихання клітини зерна використовують енергію за рахунок розчеплення своїх органічних речовин. Таким чином, дихання зерна під час зберігання супроводжується втратою сухих речовин, яку називають природною втратою. В залежності від умов, в яких знаходиться зерно, процес дихання може перебігати за трьома напрямками (типами): аеробний (із участю кисню), анаеробний (без доступу кисню до зерна) або змішаний.

Процес дихання зерна зернових культур при вільному доступі кисню зазвичай протікає у відповідності до рівняння аеробного дихання і сумарно виражається залежністю



При зниженні вмісту кисню в міжзерновому просторі, або відсутності кисню у тому середовищі, в якому знаходиться зерно, характер дихання зерна змінюється, і на зміну аеробному диханню приходить анаеробне (безкисневе), яке називають спиртовим бродінням. В загальному вигляді цей процес можливо представити таким чином:



Змішане дихання виникає тоді, коли у зерновому насипі частина насіння не має доступу до кисню і, відповідно, дихає за анаеробним типом дихання (2), а інша має, і в ній проходить аеробний процес дихання (1). Із приведених рівнянь 1 і 2 можливо побачити, що в результаті будь-якого типу дихання витрачаються сухі речовини зерна (вуглеводи зерна — глюкоза), а, наприклад, при аеробному типі дихання поглинається кисень із повітря, в міжзерновий простір виділяється вуглекислий газ, волога і тепло. Втрачені сухі речовини зерна при його диханні не відновлюються, і їх відносять до неминучих витрат. Питання про величину втрат, обумовлених диханням, є особливо важливим тому, що ці втрати зерна при зберіганні можуть збільшуватись в залежності від стану зерна і від умов його зберігання (вологості, температури, аерації і т.п.). При аналізі цього процесу необхідно враховувати не тільки складний комплекс біохімічних перетворень в самому зерні, що обумовлені їх інтенсивністю, але і тип дихання. Інтенсивність процесу дихання зерна, в залежності від

різних факторів, можна характеризувати ваговими втратами маси при зберіганні, виділенням тепла, поглинанням кисню і виділенням вуглекислого газу [1-3].

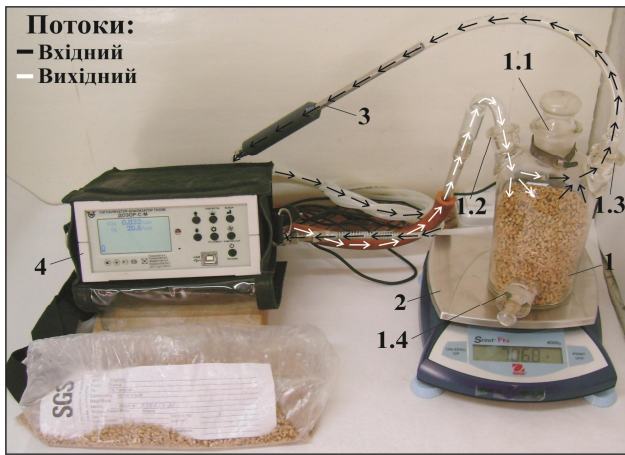
Відомі способи визначення інтенсивності дихання зерна базуються на різних окремих фізичних і хімічних методах, в кожному з яких в основу методу покладений один показник, завдяки визначенню якого в подальшому виконується розрахунок усіх складових частин, що характеризують процес дихання зерна. Прикладами цього можуть бути методи та засоби, на базі яких виконується визначення процесу дихання зерна: по накопиченню вуглекислого газу; по зниженню вмісту кисню; по зменшенню сухої маси зерна; по зміні тиску в дослідній ємності, наповненій зерном (манометричними методами); по визначенню кількості тепла, що виділилось на протязі досліду [3, 4].

Загальними недоліками цих способів є те, що при використанні кожного з них визначається тільки один з показників процесу дихання зерна, і, виходячи з розрахунку його чисельних значень та наступного аналізу, здійсненого прямим або непрямим способом, роблять висновки про усі складні біохімічні процеси, що перебігають у зерновій масі при диханні. Крім того, використання цих методик не дозволяє вивчати за однією схемою всі три типи дихання, тобто виникає необхідність вивчати, наприклад, хід аеробного процесу дихання за однією схемою, а анаеробний процес — за іншою. Внаслідок цього значно зростає похибка у результатах, як самого досліду за однією із схем, так і співвідношень дослідів проведених різними методами, а, подекуди, взагалі втрачається можливість корелювати результати, отримані з використанням різних способів.

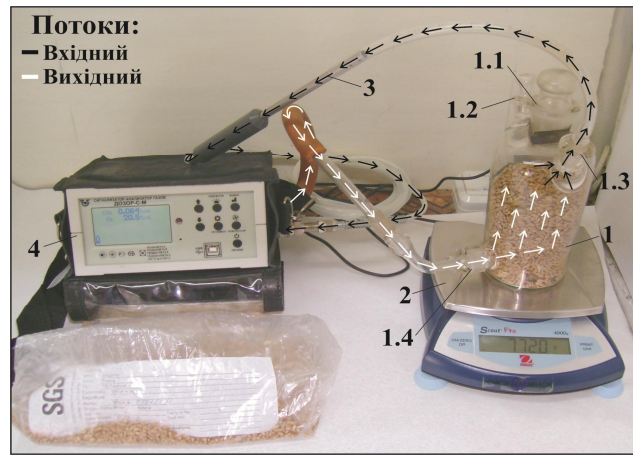
**Об'єкти, мета та завдання дослідження.** Об'єктами досліджень є біохімічні процеси дихання зернової маси та кінетика зміни характеристик цього процесу.

Метою роботи є розробка способу, компактного приладу і методик для вивчення і підвищення точності визначення показників, що характеризують інтенсивність біохімічних процесів, які протікають в зерні при його диханні, зокрема, інтенсивність видалення вуглекислого газу, поглинання кисню зерном, співвідношення цих показників та інтенсивність втрат сухих речовин і виділення теплової енергії зерном при цих процесах.

На підставі аналізу існуючих конструктивних рішень реалізації різних способів визначення інтенсивності дихання зерна, був розроблений спосіб і сконструйований дослідний стенд, що дозволяє, базуючись на аналізі кінетики змін компонентів повітряної газової суміші, яка стикається або проходить крізь шар зерна по замкнутому контуру приладу, визначати інтенсивність перебігу процесів дихання. Завдяки цьому стає можливим одночасно відстежувати кількість виділеного зерном при диханні вуглекислого газу, і, відповідно, кількість поглинутого при цьому кисню в одиницю часу, а також визначати співвідношення цих двох показників.



а) анаеробний і змішаний типи



б) аеробний тип

Рис. 1 – Конфігурації стенду для дослідження інтенсивності різних типів дихання

**Результати дослідження та їх обговорення.** Згідно із розробленою методикою, вивчення інтенсивності дихання зерна на запропонованому дослідному стенді, складається із визначення кінетики змін маси кисню і вуглекислого газу в замкненому контурі приладу. На основі цього, враховуючи те, що процеси дихання і бродіння тісно пов'язані між собою, визначають тип дихання (аеробне, анаеробне або змішане) за коефіцієнтом дихання, який розраховується як відношення об'єму виділеного вуглекислого газу до об'єму кисню, що був поглинутий в процесі дихання. Крім того, для отримання більш коректних характеристик процесу дихання, в конструкції стенду передбачені дві конфігурації, які дозволяють конструктивно-схематичним шляхом відокремити вивчення процесу дихання за аеробним типом від анаеробного та змішаного типів дихання.

Дослідний стенд для вивчення інтенсивності дихання зерна (рис. 1) складається із чотирьох основних частин, що поєднані між собою в єдиний комплекс, і має дві конфігурації, кожна з яких дозволяє досліджувати відповідний тип дихання. Перша конфігурація стенду дозволяє досліджувати анаеробний і змішаний тип дихання (рис. 1- а), а друга – аеробний (рис. 1- б). Обидві конфігурації відрізняються між собою тільки за схемою підключення трубок, що поєднують ємність із дослідним зерном (1) і аналізатор газів (4).

Можливість зміни конфігурації стенду дозволяє моделювати різні умови зберігання зерна. Наприклад, при моделюванні умов зберігання зерна в металевому силосі, за яких характерним є протікання дихання зерна за анаеробним або змішаним типом, використовують конфігурацію наведену на рис. 1- а. В цьому випадку до ємності із досліджуваним зерном (1), через отвір (1.3) підключається зонд (3) газоаналізатору (4), а відповідний вихід приладу (4) з'єднується із отвором (1.2) ємності із досліджуваним зерном (1). При цьому, невикористані отвори (1.1 і 1.4) ємності із досліджуваним зерном (1) герметично закриті. Така конфігурація дозволяє аналізувати зміни в хімічному складі повітряного прошарку, що знаходиться між верхньою частиною зернового насипу і верхньою частиною ємності (1). Компресор, вмонтований в аналізатор газів (4), висмоктує крізь отвір

(1.3) ємності (1) газову суміш, що знаходиться на поверхні зернового насипу і, відповідно, виштовхує цю ж газову суміш, вже із визначеними характеристиками, повертаючи її крізь отвір (1.2) в ємність (1), в цей же самий повітряний прошарок.

В другому випадку, при необхідності моделювання умов зберігання, за яких виникає аеробний тип дихання, використовують конфігурацію, що відображена на рис. 1- б. В цьому варіанті ємність із досліджуваним зерном (1) через отвір (1.3) з'єднують із зондом (3) газоаналізатору (4), відповідний вихід приладу (4) з'єднують із отвором (1.4), що знаходиться в нижній частині ємності із зерном (1), а інші отвори ємності (1), які не використані в даній конфігурації (1.1 і 1.2), герметично закриті. Така конфігурація дозволяє організувати штучне вентилявання зернової маси, при якому стимулюється процес аеробного дихання зерна, тобто з поверхні зернового насипу засмоктується потік газової суміші, який аналізується приладом (4), і вже із приладу (4) повертається до ємності із зерном (1).

Слід зазначити, що в обидві конфігурації приладу (рис. 1) можуть бути включені аналітичні ваги (2), які дозволяють контролювати на протязі всього досліду загальну масу зерна і повітряної газової суміші, що знаходяться в замкнутій системі приладу, тобто вони допоможуть контролювати герметичність системи в процесі дослідження.

Ключовим елементом дослідного стенду для визначення інтенсивності дихання зерна (рис. 1) є газоаналізатор (4), що дозволяє визначати концентрацію вуглекислого газу і кисню у повітряній газовій суміші, яка циркулює в стенді за описаними вище схемами. Слід зазначити, що в конструкції стенду можуть бути використані різні конфігурації і модифікації газоаналізаторів будь-яких виробників, але за певних умов. Газоаналізатори повинні мати вмонтований компресор зі стабільною виробничою потужністю, який потрібен для примусового відбору газової суміші на аналіз і утворення відповідної циркуляції повітря всередині дослідного стенду; вони повинні бути пристосовані до аналізу газових сумішей із значною кількістю дрібнодисперсних часток (пилу); повинні мати вхідні і вихідні отвори із допомогою яких можливо підключитися до запропонованої схеми

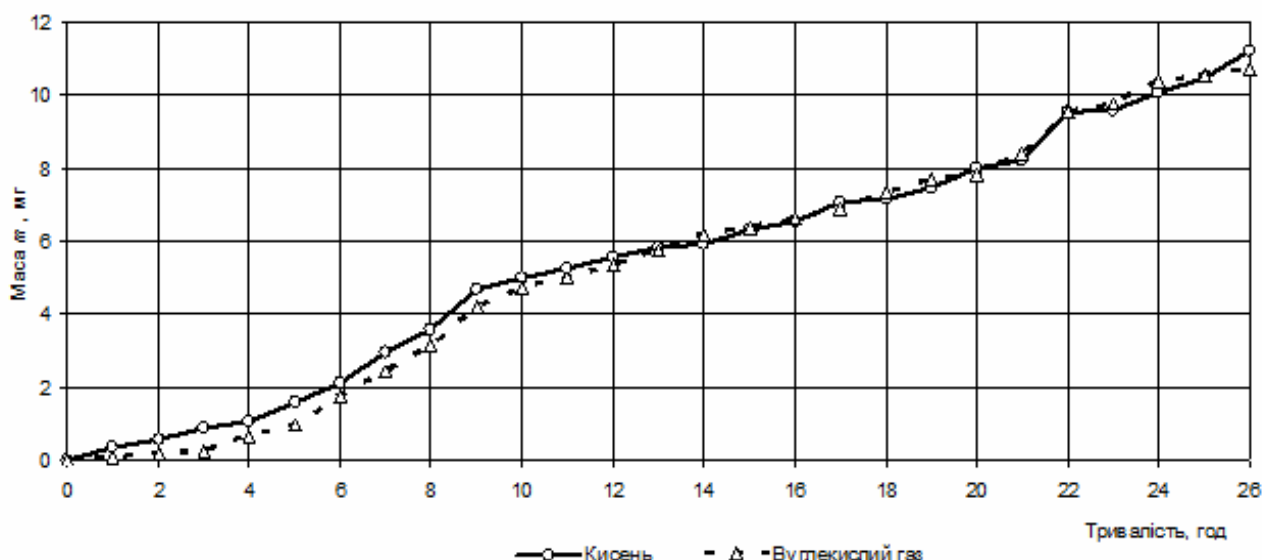


Рис. 2 – Кінетика процесів поглинання кисню і виділення вуглекислого газу 100 грамами сухих речовин із наважки зерна пшениці вологістю 16,5 % при аеробному диханні зерна протягом 26 годин

приладу; повинні мати відповідний клас точності, що дозволяє використовувати такий прилад в науково-дослідній роботі.

Прикладом такого газоаналізатору може бути багатокомпонентний індивідуальний сигналізатор-аналізатор газів «ДОЗОР-С-М», виготовлений на науково-виробничому підприємстві «ОРІОН» (м. Харків) [5], який дозволяє із високою точністю визначати кількісні показники концентрації вуглекислого газу і кисню в багатокомпонентній газовій суміші, в повітрі робочої зони, або на відкритих просторах. Сигналізатор-аналізатор газів «ДОЗОР-С-М» працює на основі примусового способу відбору газових сумішей, що підлягають аналізу, завдяки роботі вмонтованого в прилад мікрокомпресора, який працює з постійною виробничою потужністю, а також, цей прилад дозволяє визначати масову частку тих чи інших компонентів газової суміші в межах діапазону вимірювання і, відповідно, із допустимими і абсолютними похибками, що дозволяють використовувати його у науково-дослідних роботах.

Таким чином, в результаті використання запропонованої конструкції стенду і методу визначення інтенсивності дихання зерна, заснованого на його використанні, з'являється можливість відстежувати кінетику виділення вуглекислого газу і, відповідно, поглинання кисню на протязі загального часового інтервалу дослідження, а також на основі отриманих протягом досліду значень, розрахувати коефіцієнт дихання зерна. Коефіцієнт дихання зерна, в свою чергу, дозволить визначити співвідношення аеробного і анаеробного типів дихання при змішаному диханні, і надасть можливість розрахувати коректні значення витрат сухих речовин і виділення теплової енергії зерном при його диханні в тих чи інших умовах. На основі подібних досліджень в подальшому з'являється можливість прогнозувати стійкість зберігання зернових мас, імовірні втрати сухих речовин, і, відповідно, виділення тепла зерновою масою при її зберіганні в різних умовах.

Прикладом отриманих кінцевих результатів дослідження інтенсивності дихання зерна пшениці за допомогою запропонованого способу та розробленої конфігурації стенду для вивчення аеробного типу дихання зерна пшениці (рис. 1- б), є графік кінетики процесу виділення вуглекислого газу і поглинання кисню (рис. 2), який побудований із врахуванням традиційного для галузі перерахунку на 100 г сухих речовин зерна. Числові значення, на основі яких побудовано графік (рис. 2), отримані в результаті вивчення інтенсивності дихання зерна м'якої пшениці вологістю 16,5 % при загальній тривалості дослідження у 26 годин. Крім того, згідно розробленої методики, в кінцевих розрахунках основних і додаткових параметрів, що характеризують перебіг процесів дихання, також враховується температура оточуючого середовища і атмосферний тиск, за яких проводилося дослідження. В даному випадку дослідження проводили за температури оточуючого середовища 20 °C та атмосферному тиску 758 мм рт. ст. Ще однією особливістю використання запропонованого способу на базі описаного вище дослідного стенду, є можливість вибору дослідником, у відповідності до потреб роботи, періоду дискретизації вимірювань, тобто завданого інтервалу часу, після проходження якого проводиться фіксація проміжних значень: від початкової точки (початку експерименту) до кінцевої точки (кінець експерименту). Нами була прийнята дискретизація вимірювань у одну годину.

Як можна побачити із графіка (рис. 2), кінетика виділення вуглекислого газу і поглинання кисню при аеробному диханні, в цілому відповідає відомій сумарній залежності, що описує цей процес (1). Згідно рівняння (1), кількість поглинутого зерном кисню відповідає кількості виділеного вуглекислого газу. Однак, ця залежність є сумарним балансовим виразом, що описує співвідношення початкових і кінцевих речовин процесу, але не показує весь спектр складних біохімічних перетворень і проміжних ферментативних реакцій, які проходять в зерні при аеробному диханні згідно із циклом Кребса [6]. Саме то-

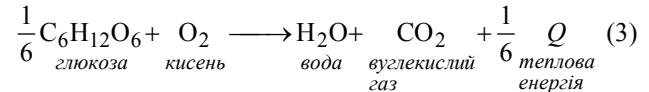


му, цікавим є той факт, що згідно даних дослідження, які візуалізовані графіком (рис. 2), на початку експерименту чітко простежується різниця між поглинутим киснем і виділеним вуглекислим газом. Слід зазначити, що на даний час у в класичних і сучасних літературних джерелах відсутній опис кінетики та динаміки процесу дихання зерна.

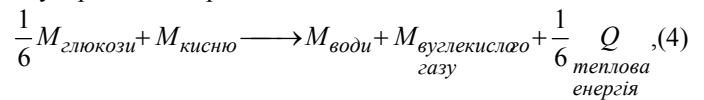
Виходячи із цього, ми вважаємо закономірним висунути гіпотезу про те, що на початкових етапах аеробного дихання зерна кількість поглинутого кисню в одиницю часу (молей речовини в одиницю часу) перевищує кількість виділеного за цей же час вуглекислого газу (молей речовини в одиницю часу). Це відповідає характерним особливостям і ботанічним властивостям перебігу комплексу біохімічних перетворень даного процесу в зерні згідно із закономірностями, що описані в циклі Кребса. Подальше протікання цього процесу, після досягнення точки, в якій чисельне значення поглинутого кисню приблизно дорівнює чисельному значенню виділеного вуглекислого газу (в нашому дослідженні — після проходження 12 годин з початку досліду, див. рис. 2), відповідає сумарній залежності, що описує цей процес (1). Однак, при цьому в тій чи іншій проміжній точці, тобто в кожній конкретній момент часу, можлива ситуація, за якої вуглекислого газу виділиться більше, ніж буде поглинуто кисню (на 14-му і 24-му часі дослідження, див. рис. 2) і, навпаки (на 17-му, 20-му і 26-му часі дослідження, див. рис. 2). Крім того, відмічена ще одна особливість протікання процесу аеробного дихання, яка полягає у тому, що чим триваліше за часом проходить експеримент, тим менша при цьому різниця між сумарними значеннями загальної кількості виділеного при цьому процесі вуглекислого газу і, відповідно, поглинутого кисню, що, в свою чергу, повністю відповідає рівнянню (1).

Далі, згідно із розробленим способом, використовуючи отримані значення кількості вуглекислого

газу в кожній конкретній точці досліду, за рівнянням анаеробного дихання (1) можна розрахувати сумарну кількість витрачених зерном на дихання сухих речовин і відповідну кількість виділеної при цьому теплової енергії на протязі всього експерименту. Для цього, перш за все, необхідно розрахувати коефіцієнт витрат сухих речовин зерна і відповідний коефіцієнт виділення теплової енергії при аеробному диханні. Коефіцієнт витрат сухих речовин зернових культур для аеробного типу дихання розраховують на основі сумарного хімічного рівняння процесу дихання (1). Поділивши складові рівняння (1) на стехіометричний коефіцієнт при вуглекислому газі



та підставляючи на місце хімічних речовин їх молекулярні маси отримаємо:



де  $M_{\text{глюкози}}$  — молекулярна маса глюкози (180,156), а.о.м. (а.о.м. — атомна одиниця маси. 1 а.о.м. =  $1,660\,540\,2(10) \cdot 10^{-27}$  кг. 1 а.о.м., виражена у грамах, чисельно дорівнює зворотному числу Авогадро, тобто  $1/N_A$ , вираженому в моль<sup>-1</sup> [7]);

$M_{\text{кисню}}$  — молекулярна маса кисню (31,9994), а.о.м.;

$M_{\text{води}}$  — молекулярна маса води (18,015), а.о.м.;

$M_{\text{вуглекислого газу}}$  — молекулярна маса вуглекислого газу (44,0098), а.о.м.

З цього рівняння (4) знайдемо формулу для визначення коефіцієнта витрат сухих речовин аеробного процесу дихання ( $K_{\text{аер.}}^{\text{випр. с.р.}}$ ), що відповідає витра-

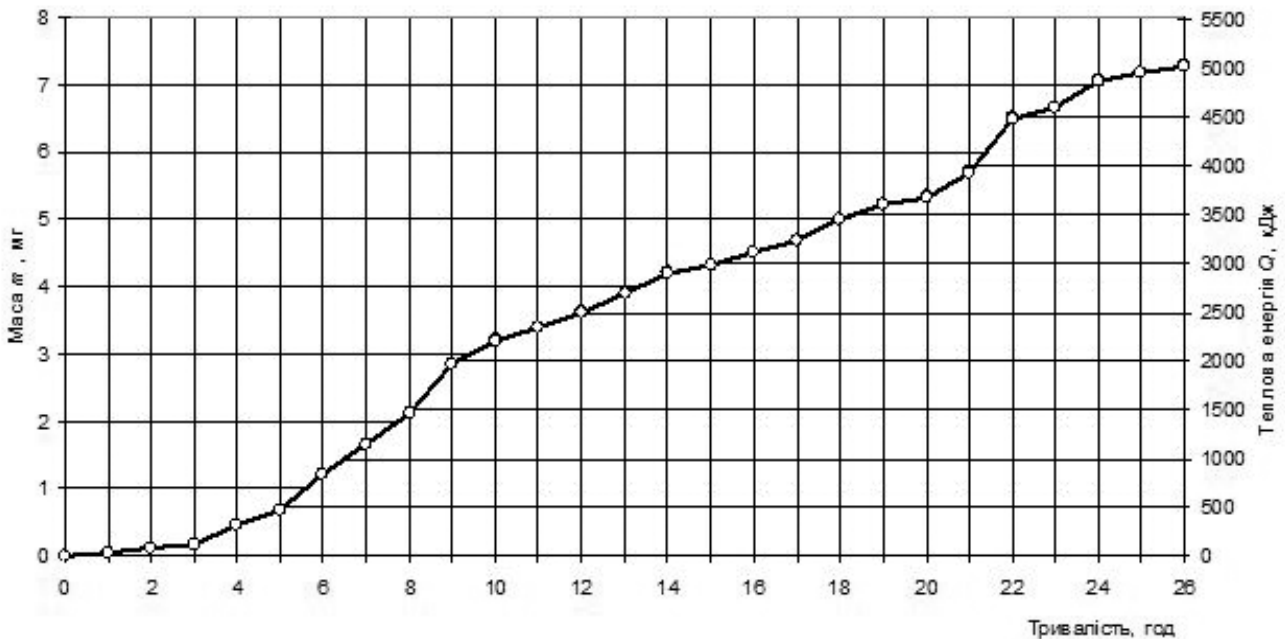


Рис. 3 – Кінетика витрат сухих речовин ( $m$ ) та відповідного виділення теплової енергії ( $Q$ ) 100 грамами сухих речовин із наважки зерна пшениці вологістю 16,5 % при аеробному диханні зерна протягом 26 годин



там молів глюкози в процесі дихання зерна при виділенні одного молу  $\text{CO}_2$ :

$$K_{aep.}^{випр. с.р.} = \frac{1}{6} \frac{M_{глюкози}}{M_{вуглекислого\ газу}} \quad (5)$$

Розраховане за формулою (5) чисельне значення коефіцієнту витрат сухих речовин при аеробному типі дихання зерна пшениці становить  $K_{aep.}^{випр. с.р.} = 0,682$  моля глюкози на один моль виділеного при диханні вуглекислого газу.

Розрахунок виділеної при диханні енергії у формі теплоти, ведуть за тим же принципом відповідно рівнянню (4), тобто відповідно попередньо розрахованому коефіцієнту витрат сухих речовин при аеробному диханні зерна пшениці на один моль виділеного вуглекислого газу витрачається 0,682 моля глюкози (сухих речовин зерна) і виділяється  $1/6Q$  теплової енергії (згідно даним, наведеним у довідникових джерелах [2, 6], при аеробному типі дихання на одну грам-молекулу, тобто один моль глюкози, що витрачається на дихання, виділяється 674 ккал або 2821,9 кДж вільної енергії у формі теплоти), що дорівнює  $K_{aep.}^{випр. ен.} = 470,3$  кДж. Помноживши розраховані коефіцієнти витрат сухих речовин і виділеної теплової енергії на кількісне значення виділеного вуглекислого газу в кожній конкретній точці дослідження ми отримуємо відповідні значення, візуалізовані на рис. 3 у вигляді графіків кінетики витрат сухих речовин зерна  $m$  і, відповідно, кінетики виділення теплової енергії зерном  $Q$  в процесі аеробного дихання 100

грамів сухих речовин зерна із наважки зерна пшениці вологістю 16,5 % протягом 26 годин.

Другим прикладом отриманих кінцевих результатів дослідження інтенсивності дихання зерна пшениці за допомогою запропонованого способу, проведеному на конфігурації стенду для вивчення анаеробного і змішаного типів дихання зерна пшениці (рис. 1- а), є графіки кінетики процесу виділення вуглекислого газу і поглинання кисню (рис. 4), які побудовані із врахуванням традиційного для галузі перерахунку на 100 г сухих речовин зерна. Чисельні значення, на основі яких побудовані графіки (рис. 4), отримані в результаті дослідження інтенсивності дихання зерна м'якої пшениці з тієї ж партії, що була використана у попередньому прикладі, а сам експеримент проводили за тих же умов, що і в першому випадку, але із єдиною відмінністю, яка полягала у збільшенні тривалості дослідження до 53 годин.

Як можна побачити із графіків рис. 4, кінетика виділення вуглекислого газу і поглинання кисню на початковому етапі дослідження (від початку експерименту і до 30-ї години дослідження) в цілому повторює тенденцію, що була отримана у попередньому експерименті з вивчення аеробного типу дихання. Із цього можна зробити висновок, що перші 30 годин експерименту супроводжувались процесом аеробного дихання. Однак, слід зазначити, що починаючи із 36-ї години експерименту стала помітна тенденція підвищення виділення вуглекислого газу порівняно із кількістю поглинутого кисню. Із цього випливає, що в межах зазначеного інтервалу часу виникають поступові зміни напрямів дихання зерна із чисто аеробного на змішане. Враховуючи те, що в ємності із дос-

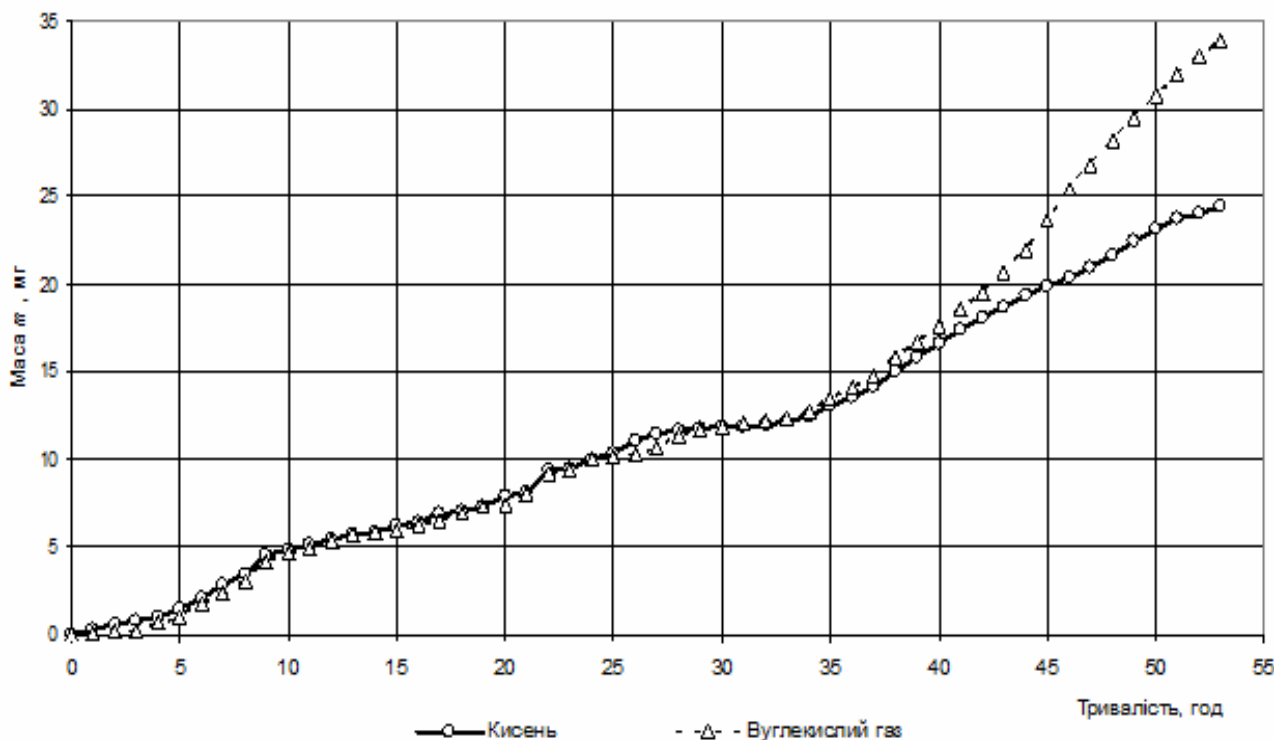


Рис. 4 – Кінетика процесів поглинання кисню і виділення вуглекислого газу 100 грамами сухих речовин із наважки зерна пшениці вологістю 16,5 % при аеробному і змішаному диханні зерна протягом 53 годин

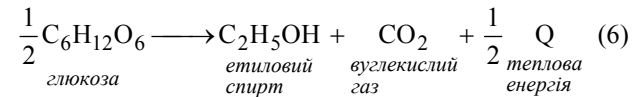


лідним зразком зерна, в нижніх шарах насипу при аеробному диханні поступово витрачається кисень, який знаходиться у міжзерновому просторі і, відповідно, накопичується вуглекислий газ, імовірно припустити, що в діапазоні між 30-ю і 36-ю годиною досліджень в нижній частині шарів зернового насипу аеробний тип дихання почав змінюватись на анаеробний. Із кривих на рис. 4 вочевидь випливає, що починаючи із 40-ї години дослідження виникає значне накопичення вуглекислого газу і зернові шари поступово переходять до безкисневого середовища.

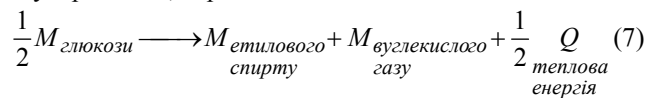
Далі, згідно із розробленим способом, використовуючи отримані значення по вуглекислому газу і кисню в кожній точці дослідів (впродовж зберігання зерна) можна розрахувати дихальний коефіцієнт, що чисельно дорівнює відношенню виділеного вуглекислого газу до поглинутого зерном кисню [1, 3]. На підставі знайденого дихального коефіцієнту можна зрозуміти який тип дихання відбувається в кожний конкретний період часу експерименту і значно точніше, ніж графоаналітичним шляхом, можна знайти точку дослідів в якій розпочався перехідний процес зміни типів дихання (в нашому досліді перехідний процес розпочався на 34-й годині експерименту). Крім того, завдяки одночасному контролю кількості вуглекислого газу і кисню стає можливим при змішаному типі дихання розрахувати масу виділеного вуглекислого газу, яке відноситься до кожного з типів дихання. Шляхом віднімання маси поглинутого кисню від загальної маси виділеного вуглекислого газу, в кожній конкретній точці дослідів можна розрахувати масу вуглекислого газу, що виділився при анаеробному типі дихання, а чисельне значення маси

поглинутого кисню в тій же точці, відповідно до рівняння (1), буде відповідати масі виділеного вуглекислого газу при аеробному диханні.

Таким чином, при дослідженні змішаного типу дихання, в кожній конкретній точці дослідів, в якій відмічено протікання цього процесу, ми маємо кількісні значення маси виділеного вуглекислого газу, кожне з яких характеризує окремий тип дихання. Помноживши ці значення на відповідні до типу дихання коефіцієнти витрат маси сухих речовин і виділення теплової енергії в підсумку ми отримаємо коректні значення витрат маси сухих речовин і виділення теплової енергії змішаного типу дихання. Для цього, як і у випадку із аеробним типом дихання, необхідно розрахувати коефіцієнт витрат маси сухих речовин зерна і коефіцієнт виділення теплової енергії зерном при його анаеробному типі дихання. Коефіцієнти витрат маси сухих речовин зернових культур для анаеробного типу дихання, як і попередній, розраховують на основі рівняння анаеробного дихання (2). Поділивши складові рівняння (2) на стехіометричний коефіцієнт при вуглекислому газі



та підставляючи на місце хімічних речовин їх молекулярні маси, отримаємо:



де  $M_{етилового спирту}$  – молекулярна маса етилового спирту

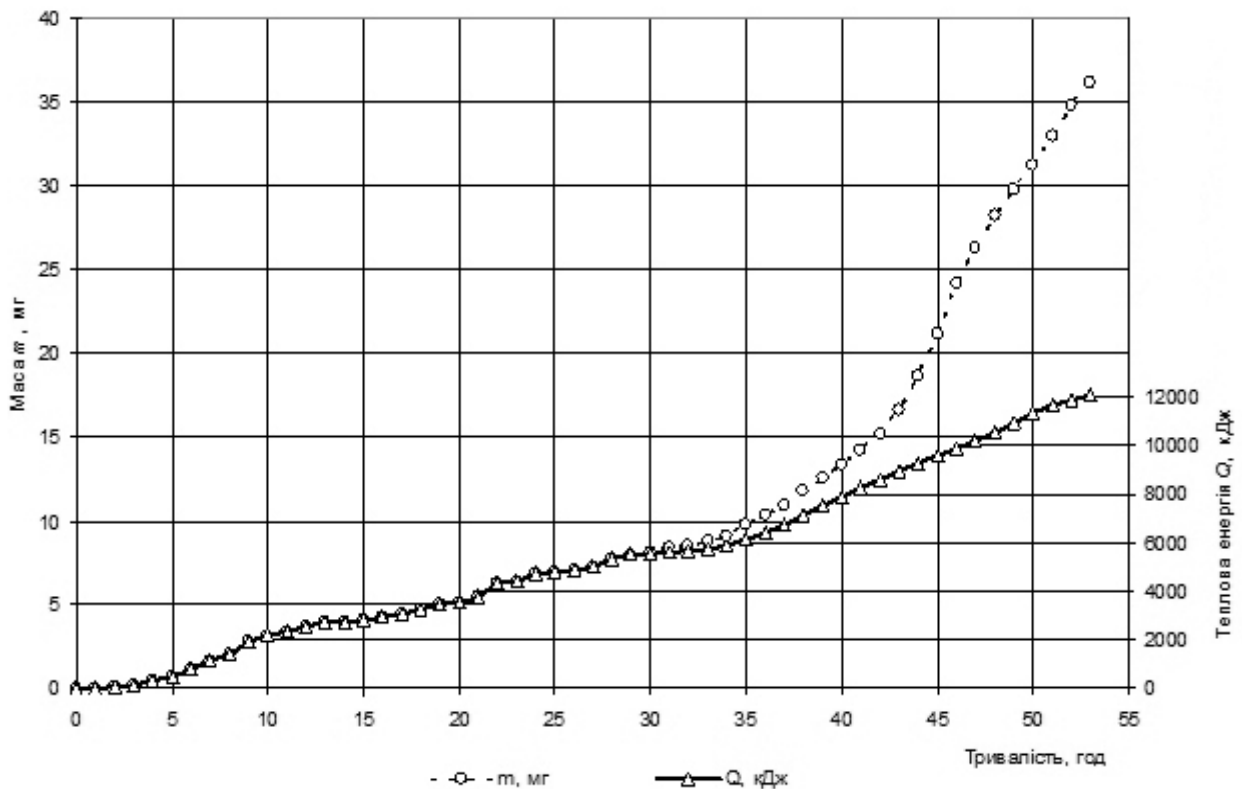


Рис. 5 – Кінетика втрат сухих речовин ( $m$ ) та виділення теплової енергії ( $Q$ ) 100 грамами сухих речовин із наважки зерна пшениці вологістю 16,5 % при аеробному і змішаному диханні зерна протягом 53 годин



спирту (46,0682), а.о.м.

З рівняння (7) знайдемо формулу для визначення коефіцієнта втрат маси сухих речовин анаеробного процесу дихання ( $K_{\text{анаер.}}^{\text{випр.с.р.}}$ ), що відповідає витратам молів глюкози в процесі дихання зерна, при виділенні одного молю  $\text{CO}_2$ :

$$K_{\text{анаер.}}^{\text{випр.с.р.}} = \frac{\frac{1}{2} M_{\text{глюкози}}}{M_{\text{вуглекислого газу}}} \quad (8)$$

Розраховане за формулою (8) чисельне значення коефіцієнта витрат маси сухих речовин при аеробному типі дихання зерна пшениці становить  $K_{\text{анаер.}}^{\text{випр.с.р.}} = 2,046$  молів глюкози на один моль виділеного при диханні вуглекислого газу. Розрахунок виділеної в процесі дихання енергії у формі теплоти ведуть за тим же принципом і відповідним рівнянням дихання (6), тобто відповідно попередньо розрахованому коефіцієнту витрат сухих речовин при анаеробному диханні зерна пшениці на один моль виділеного вуглекислого газу витрачається 2,046 молів глюкози (сухих речовин зерна) і виділяється 0,5Q теплової енергії процесу (згідно даним, наведеним у довідникових джерелах [2, 6], при анаеробному типі дихання на одну грам-молекулу, тобто на один моль глюкози, що витрачається на дихання, виділяється 28,2 ккал або 118 кДж вільної енергії у формі теплоти), що дорівнює  $K_{\text{анаер.}}^{\text{випр.ен}} = 59$  кДж.

Далі, як і в першому прикладі, але на підставі підсумованих значень витрат маси сухих речовин і виділеної теплової енергії двох окремих типів дихання, в кожній точці досліду ми отримаємо відповідні чисельні показники, що візуалізовані у вигляді графіків кінетики витрат на дихання сухих речовин зерна і кінетики виділення зерном теплової енергії (рис. 5) в процесі аеробного і змішаного типів дихання 100 грамів сухих речовин зерна із наважки зерна пшениці вологістю 16,5 % протягом 53 годин.

Слід зазначити, що теоретично розраховані коефіцієнти витрат і виділення енергії, наглядно демонструють різницю за витратами маси сухої речовини і виділенням теплової енергії між аеробним і анаероб-

ним типами дихання зерна під час його зберігання. З цього можна зробити висновок про те, що під час зберігання зерна в безкисневому середовищі, на підтримку життєдіяльності організму зерна витрачається більша кількість маси його сухих речовин. Це пов'язано з тим, що при анаеробному диханні в зерні виділяється значно менша кількість енергії, якої недостатньо для підтримання біологічних процесів. Тому, компенсуючи цю недостачу, витрачається значно більша частина маси сухих речовин (вуглеводів) зерна, щоб підтримати життєдіяльність організму насіння.

Відповідно до цього, при змішаному (аеробно-анаеробному) типі дихання, згідно із пропорційною складовою поступового переходу шарів зернового насипу до безкисневого типу дихання, підвищуються витрати маси сухих речовин, що в свою чергу підтверджується загальною тенденцією втрат маси сухих речовин, візуалізованою на графіку рис. 5, починаючи із 34-ї години і до кінця експерименту. В той же час, як видно із графіка рис. 5, загальна тенденція з виділення теплової енергії зерном, починаючи із 34-ї години і до кінця експерименту, незначно відрізняється від початкової.

#### Висновки.

Таким чином, розроблені конфігурації експериментального стенду для дослідження інтенсивності дихання зерна у вигляді компактною установки дозволяють завдяки зміні напряму газових потоків в середині замкнутого контуру досліджувати аеробне, анаеробне і змішане дихання зернової маси, а також використовувати їх у якості прототипу сучасного приладу. Створений експериментальний стенд дозволяє згідно із розробленим способом визначати інтенсивність дихання зерна, та отримувати залежності, що характеризують інтенсивність і тип дихання зернової маси.

Отримані результати дозволяють проводити коректні розрахунки характеристик інтенсивності дихання зерна, що базуються на комплексній оцінці — кінетиці зміни виділення вуглекислого газу, поглинання кисню та їх співвідношення.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Трисвятский, Л.А. *Хранение зерна*. [Текст] / Л.А. Трисвятский – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
2. Казаков, Е.Д. *Биохимия зерна и продуктов его переработки* [Текст] / Е.Д. Казаков, В.Л. Кретович – М.: Агропромиздат, 1989. – 368 с.
3. *Дыхание зерна*. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ussr-forever.ru/raskaz/207-dihanie.html>.
4. Стародубцева, А.И. *Практикум по хранению зерна*. [Текст] / А.И. Стародубцева, Н.И. Паньшина – Изд. 2-е, доп. и перераб. – М.: Колос, 1976. – 256 с.
5. *Газоанализаторы газосигнализаторы «ДЮЗОР-С»: высокое качество – низкая цена*. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.orion.com.ua>.
6. Кретович, В.Л. *Биохимия растений* [Текст] / В.Л. Кретович – Учеб. – 2-е изд., перераб. и доп.; для биол. спец. ун-тов/ – М.: Высш. шк., 1986. – 503 с.
7. *Атомна одиниця маси*. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://uk.wikipedia.org/wiki/Атомна\\_одиниця\\_маси](http://uk.wikipedia.org/wiki/Атомна_одиниця_маси).

Поступила 21.03.2014

Адреса для переписки:  
вул. Канатна, 112, м. Одеса, 65039

