

УДК 631. 89: 519. 876. 5

*І.Г.Грабар, доктор технічних наук, професор, проректор з наукової роботи Житомирського національного агроекологічного університету*

*Н.О.Ряцева, асистент кафедри моніторингу навколишнього природного середовища Житомирського національного агроекологічного університету*

## МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЗНЕЗАРАЖУВАННЯ ВІДХОДІВ З ПОЗИЦІЇ ХІМО-ТЕРМО-АКТИВАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ АРРЕНІУСІВСЬКОГО ТИПУ

*Показано, що кінетика процесу знезаражування органічних відходів тваринництва може бути описана в рамках моделі Арреніуса, як термохімічна реакція в твердій фазі. Запропонована математична модель кінетики знезаражування підтверджена експериментальними даними. Вперше отримано значення енергії активації процесу термохімічного знезаражування яєць гельмінта *Fasciola hepatica* у відходах тваринництва.*

*Ключові слова:* фасціола, знезаражування, температура, хімічна реакції арреніусівського типу

**Постановка проблеми.** Органічні відходи (гній) є невід'ємною частиною технологічного процесу на тваринницьких фермах [6]. Відомо, що гній є цінним органічним добривом, оскільки містить всі необхідні елементи для живлення рослин. Однак вносити органічні відходи, які містять патогенні мікроорганізми та яйця гельмінтів, у ґрунт без попередньої обробки небезпечно. Це створює реальну загрозу поширення інвазійного та інфекційного забруднення в навколишньому середовищі [1, 2, 6, 8].

**Аналіз останніх досліджень.** В.А. Васильєв зі співавт. [2] спираючись на власні дослідження та з посиланням на інші джерела зауважують, що термічна обробка надійний засіб щодо знезаражування та ефективної дезінвазії органічних відходів тваринництва. На думку М.Ш. Акбасва, В.А. Васильєва [2, 4] фізичні методи знезаражування гною, зокрема термічний метод, заснований на властивості сирого білку яєць і личинок гельмінтів гомогенізуватися при температурі 56°C і вище. Однак з метою знезаражування автори пропонують застосовувати високі та низькі температури (фізичні методи) впродовж встановленого діапазону часу. Так, відомо, що нагрівання субстрату, в якому знаходяться збудники інвазійних захворювань до температури близько 100 °C при експозиції в кілька хвилин, призводить до 100 % загибелі яєць гельмінтів і патогенних мікроорганізмів. В.Ф. Галат з співавт. [5] зазначають, що для дезінвазії органічної складової гною можна застосовувати біотермічний процес розігріву органічної складової гною (компостування) до 56-60°C та утримувати таку температуру впродовж 168-264 годин. Таким чином, процес термодеструкції яєць і личинок гельмінтів залежить від температури технологічного процесу і часу впродовж якого необхідно досягти бажаного темпу руйнування (при заданій температурі).

**Метою наших досліджень** було встановити параметри ймовірності знезаражування органічних відходів тваринництва від збудників інвазійних захворювань, зокрема яєць *Fasciola hepatica*, при стаціонарних значеннях температури (вище 28°C) ( $t^0$ ) і тривалості ( $\tau$ ) процесу.

**Об'єкти та методика досліджень.** Для статистичного аналізу даних ймовірності знезаражування гною від збудників інвазійних захворювань при T-const скористалися модернізованим розподілом Фермі – Дірака – Грабара [3]:

$$W(\tau) = \frac{1}{1 + e^{\alpha(\tau - \tau)}} \quad (1)$$

де  $W(t)$  - ймовірність знезаражування гною;  $\alpha$  - параметр (дисперсія) розподілу;  $\tau$ , - центр групування вибірки.

**Результати досліджень.** Розподіл (1) лінеаризуються в координатах:

$$Z = \ln\left(\frac{1}{W} - 1\right) \text{ та } \tau \quad (2)$$

На рис. 1 наведені графіки  $Z(\tau)$  для знезаражування органічних відходів тваринництва при трьох стаціонарних температурах: 56, 65 та 74°C.

Кореляційні рівняння в лінійному наближенні мають вигляд:

$$Z = a - b \cdot \tau \quad (3)$$

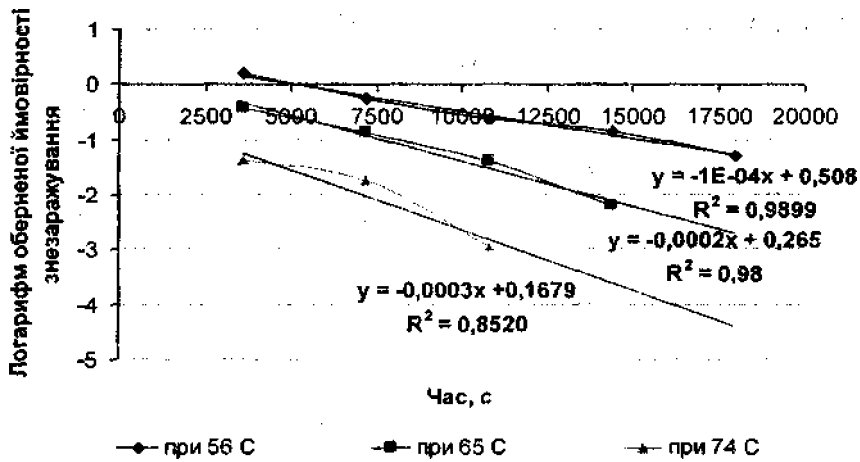


Рис. 1 Логарифм оберненої ймовірності знезаражування зною при 56<sup>o</sup>, 65<sup>o</sup> та 74<sup>o</sup>C від тривалості процесу

Співставляючи (1) і (3), маємо:

$$\alpha = b$$

$$\tau_* = \frac{\alpha}{b} \quad (4)$$

В таблиці 1 наведені значення  $\alpha$  та  $\tau_*$  для трьох визначених температур процесу знешкодження яєць *Fasciola hepatica*.

Таблиця 1

Значення параметрів  $\alpha$  та  $\tau_*$  для модельного опису кінетики процесу знезаражування

T, °C	параметри	$\alpha$	$\tau_*, c$
56		0,0001	5072
65		0,0002	1347
74		0,0003	559

Кореляційні рівняння графічних залежностей показників  $\alpha$  та  $\tau_*$  від стаціонарної температури технологічного процесу знезаражування мають наступний вигляд:

$$\alpha = 0,00001 \cdot t^0 - 0,0005; \quad (5)$$

$$R^2 = 1$$

$$\tau_* = 18623 - 250,72 \cdot t^0; \quad (6)$$

$$R^2 = 0,8763$$

Коефіцієнт детермінації склав 0,9-1,0.

Підставивши значення показників  $\alpha$  і  $\tau_*$  у формулу (1) отримуємо загальну залежність ймовірності знезаражування органічних відходів тваринництва від часу та температури у вигляді системи рівнянь:

$$\begin{cases} W = \frac{1}{1 + e^{\alpha(\tau, -\tau)}} \\ \alpha = 0,00001t^0 - 0,0005 \\ \tau_* = 18623 - 250,72 \cdot t^0 \end{cases} \quad (7)$$

При цьому коефіцієнт детермінації наближено можна оцінити, як:

$$R^2_{\Sigma} = 0,9902 \cdot 0,9801 \cdot 0,8520 \cdot 1 \cdot 0,8763 = 0,7246.$$

Система (7) дозволяє визначити параметри знезаражування гною при будь-яких значеннях температури ( $t^0$ ) і тривалості ( $\tau$ ) процесу. При цьому (7) можливо отримати ймовірнісну оцінку якості знезаражування і аналітично оцінити екологічні ризики.

В табл. 2 наведені експериментальні значення [1, 2, 4, 5, 7] ймовірності знезаражування гною та розраховані за теоретичною моделлю (7).

Таблиця 2

Експериментальні (чисельник) та теоретичні (знаменник) значення ймовірності знезаражування гною за різних температур і тривалості процесу

$\tau, c$	3600	7200	10800	14400	18000
$t^0, c$					
56	$\frac{0,45}{0,485}$	$\frac{0,56}{0,539}$	$\frac{0,65}{0,592}$	$\frac{0,65}{0,592}$	$\frac{0,78}{0,691}$
65	$\frac{0,60}{0,548}$	$\frac{0,70}{0,675}$	$\frac{0,80}{0,781}$	$\frac{0,9-1}{0,859}$	$\frac{0,9-1}{0,913}$
74	$\frac{0,8}{0,70}$	$\frac{0,8-0,9}{0,847}$	$\frac{0,9-1}{0,929}$	$\frac{0,969}{0,969}$	$\frac{0,987}{0,987}$

Порівняння експериментальних і теоретичних значень  $W(t^0; \tau)$  дозволяє стверджувати, що модель (7) є достовірною і описує експериментальні дані з коефіцієнтом детермінації не менше 0,72. Ефективність знезаражування визначалася по нижній межі, тобто оцінювався екологічний ризик в «запас» екологічної безпеки.

На рис. 2 наведено кореляційну залежність логарифму тривалості процесу знезаражування органічних відходів тваринництва від оберненої температури в арреніусівських координатах:

$$\tau = \tau_0 \exp \frac{U_0 - \beta \sigma_e}{RT} \quad (8)$$

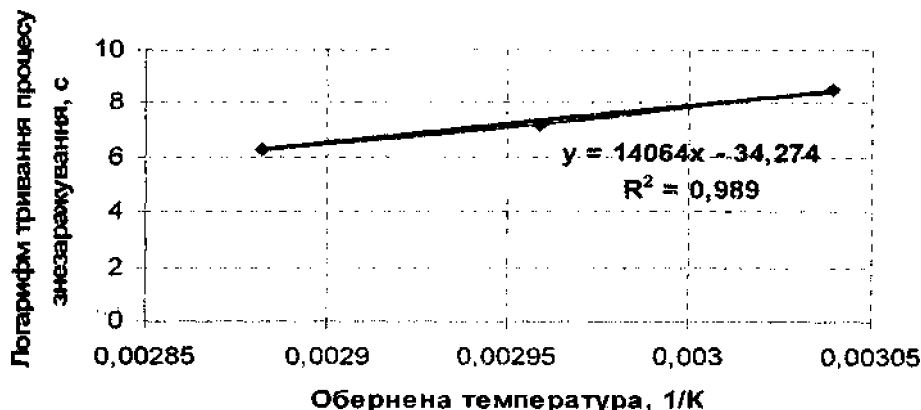


Рис. 2 Залежність логарифму тривалості знезаражування від оберненої температури (арреніусівські координати)

Порівнюючи залежності

$$\begin{cases} \ln \tau = 14064 \cdot \frac{1}{T} - 34,274 \\ \ln \tau = \ln \tau_0 + \frac{U_0}{RT} - \frac{\beta T}{RT} \end{cases} \quad (9)$$

Знаходимо енергію активації знезаражування гною, як енергетичний бар'єр хімічної реакції арреніусівського типу (8) – в лінійному наближенні зміни енергії активації від температури:

$$U_0 = 14064 \cdot 8,31 \cdot 10^{-3} = 116,88 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}} \quad (10)$$

#### Висновки.

1. Запропоновано математичну залежність ймовірності знезаражування гною як функція температури та тривалості процесу. Для дослідження кінетики процесу знезаражування застосовано рівняння Арреніуса та отримана кількісна оцінка початкової енергії активації

$$U_0 = 116,88 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}} = 1,21 \text{ эВ}.$$

2. Показана гарна відповідність експериментальних та теоретичних значень ймовірності знезаражування яєць гельмінта *Fasciola hepatica* у органічних відходах тваринництва.

#### Список використаних джерел

1. Бойко О.О. Вплив екологічних чинників на структуру угруповань нематод підрядів *Strongylata* і *Rhabditata* в умовах степового Придніпров'я: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. біол. наук: спец. 03.00.16 – «Екологія» / О.О. Бойко. – Чернівці, 2009. – 20 с.
2. Васильев В.А. Справочник по органическим удобрениям / В.А. Васильев, Н.В. Филиппова. – 2-е изд. – М.: Росагропромиздат, 1988. – 256 с.
3. Грабар І.Г. Термоактиваційний аналіз та синергетика руйнування: монографія / І.Г. Грабар. – Житомир, 2002. – 312 с.
4. Паразитология и инвазионные болезни животных / М.Ш. Акбаев, А.А. Водянов, Н.Е. Косминков [и др.]. – М.: Колос, 2000. – 743 с.
5. Паразитология та інвазійні хвороби сільськогосподарських тварин / В.К. Чернуха, Ю.Г. Артеменко, В.Ф. Галат [та ін.]; за ред. В.К. Чернухи. – К.: Урожай, 1996. – 445 с.
6. Писаренко В.М. Основні підходи до оптимізації структури агроєкосистем / В.М. Писаренко, А.В. Калініченко, Ю.В. Шмиголь. // Агроєкологічний журнал. – 2001. – № 4 – С. 3-5.
7. Чернова Н.М. Экологические сукцессии при разложении растительных остатков / Н.М. Чернова. – М.: Наука, 1977. – 200 с.
8. Borau J.C. Anthelmintic resistant in helminths: a dynamic global problem / J.C. Borau, R.F. Rolfe // Abstr. of the 8-th Inter. Congress of Parasitol. – Izmir-Turkey, 1994. – Vol. 1. – P. 27.

**Аннотация.** Показано, что кинетика процесса обеззараживания органических отходов животноводства может быть описана в рамках модели Аррениуса, как термохимическая реакция в твердой фазе. Предложенная математическая модель кинетики обеззараживания подтверждена экспериментальными данными. Впервые получены значения энергии активации процесса термохимического обеззараживания яиц гельминта *Fasciola hepatica* в отходах животноводства.

**Ключевые слова:** фасциолы, обеззараживание, температура, химическая реакция арреніусовського типу

**Summary.** It is rotined, that kinetics of disinfecting process of organic fertilizer, can be described in the model of Arrhenius, as a thermo-chemical reaction is in a hard phase. Mathematical model of kinetics of disinfection - confirmed by experimental information. The values of energy of activating of thermo-chemical disinfection process of *Fasciola* eggs are first got in organic fertilizer.

**Keywords:** fasciola, disinfection, temperature, chemical reaction type arrenius.