

Всеукраїнська науково-практична конференція  
«Шляхи вирішення проблем механізації, енергоефективності та логістики в  
аграрному секторі в період воєнного часу»

Житомирського національного агроекологічного університету. Наук.–теор. зб. –  
2011. – Т.1, №2(29). – С. 46–58.

*Abstract: Miscanthus fuel pellets are an efficient source of biomass for the production of electricity and heat. They can be used in thermal power plants and boilers for heating, which helps reduce the use of traditional coal and oil energy sources.*

*The article proposes the improvement of the granulator, it is proposed to make the guide vane in front of the pressing roller with a convex surface perpendicular to the axis of symmetry of the matrix, facing the surface of the matrix, hinged and spring-loaded in the direction of the matrix. Therefore, the mass to be pressed will be pre-pressed, this will lead to an increase in the productivity of the press-granulator.*

*Key words: miscanthus, fuel pellets, production, granulator press, matrix, research, energy.*

© Лукач В.С., Теслюк В.В., Кириленко М.В. 2023

**УДК 519.2:502**

**МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВИКИДІВ ЗАБРУДНЮЮЧИХ  
РЕЧОВИН У АТМОСФЕРНЕ ПОВІТРЯ ВІД ПЕРЕСУВНИХ ДЖЕРЕЛ  
ЗАБРУДНЕННЯ**

**Майбородіна Н.В.<sup>1</sup>, Герасименко В.П.<sup>2</sup>, Дмитренко К.Р.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> к.ф.-м.н., доцент, ВП НУБіП України «Ніжинський агротехнічний інститут», м. Ніжин, mainataliia2311@gmail.com;

<sup>2</sup> к.т.н., доцент, ВП НУБіП України «Ніжинський агротехнічний інститут», м. Ніжин, syavagvr@gmail.com;

<sup>3</sup> студент, ВП НУБіП України «Ніжинський агротехнічний інститут», м. Ніжин

**Анотація.** В даній роботі обчислено основні числові характеристики, побудована математична модель викидів забруднюючих речовин в атмосферне

Всеукраїнська науково-практична конференція  
«Шляхи вирішення проблем механізації, енергоефективності та логістики в  
аграрному секторі в період воєнного часу»

повітря від пересувних джерел забруднення в Чернігівській області та наведено прогноз викидів на 2024 рік.

**Ключові слова:** викиди в атмосферне повітря, пересувні джерела забруднення, числові характеристики величин, математична модель, прогноз.

Розвиток промисловості та зростання темпів забруднення довкілля призводять до глобальних проблем у сфері екології. Вчені всього світу проводять дослідження для запобігання екологічної катастрофи на Землі.

Завдання сучасних досліджень включають в себе вивчення причин, динаміки та властивостей впливу негативних факторів на навколишнє середовище, моделювання різних сценаріїв природних процесів, прогноз та рекомендації щодо подальшого екологічного розвитку суспільства, а також виявлення нових закономірностей у взаємодії людини та природи [1, с. 12].

На сьогодні у Законі України «Про охорону атмосферного повітря» використовуються поняття «пересувне джерело забруднення» та «стаціонарне джерело забруднення». Згідно з положеннями Податкового кодексу (підпункт 14.1.142. статті 14), пересувне джерело забруднення – транспортний засіб, рух якого супроводжується викидом в атмосферу забруднюючих речовин.

Мета даного дослідження – побудова моделі викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря від пересувних джерел забруднення в Чернігівській області та прогноз викидів на 2024 рік.

Перший етап вивчення будь-якого природного явища – це спостереження. Спостереження передбачає дослідження предметів та явищ об'єктивної реальності в тому вигляді, в якому вони існують або відбуваються у природі, суспільстві та є доступними для сприйняття людини. Від простого сприйняття спостереження відрізняється активним і цільовим характером [2, с. 25].

Наукове спостереження будується заздалегідь обдуманим планом, ведеться систематично і має точно визначену задачу. Сучасні вчені перейшли від простих спостережень навколишньої природи до створення уявних моделей для пояснення процесів, що відбуваються в навколишньому світі [3, с.15].

Моделювання є важливим інструментом для наукової абстракції, який допомагає виділити, узагальнити та проаналізувати суттєві характеристики об'єкта. Особливе значення моделювання набуває в екології та природокористуванні, оскільки воно дозволяє вивчати поведінку об'єкта без проведення експериментів над ними.

Всеукраїнська науково-практична конференція  
«Шляхи вирішення проблем механізації, енергоефективності та логістики в  
аграрному секторі в період воєнного часу»

Математичне моделювання будь-якої задачі, яка стосується реального світу, поділяється на три основних етапи:

1. Побудова математичної моделі явища.
2. Вивчення цієї математичної моделі і отримання розв'язку відповідної математичної задачі.
3. Застосування отриманих результатів до практичного питання, з розв'язання якого виникла дана математична модель, і відшукування інших питань, до яких її можна застосувати.

Математична модель, як абстрактний засіб наближеного представлення реального процесу з ціллю його дослідження, є математичним описом суттєвих факторів процесу і взаємозв'язків між ними. Зазвичай одному й тому ж процесу може бути співставлена деяка множина моделей, які відрізняються числом факторів, які враховуються, і відповідно повнотою та точністю опису процесу, з одного боку, та складністю моделі – з іншого.

Вибір моделі диктується, перш за все, ціллю дослідження, яке проводиться. При цьому завжди прагнуть максимально спростити модель для зручності роботи з нею і зниження затрати часу на обчислення, при її практичному застосуванні.

Для створення математичної моделі викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря від пересувних джерел забруднення в Чернігівській області скористаємося даними, які розміщені на сайті Державної служби статистики України в розділі Багатогалузева статистична інформація / Регіональна статистика / Економічна статистика / Навколишнє природне середовище / Викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря / Викиди забруднюючих речовин від пересувних джерел забруднення за регіонами (2016-2021) [4]. Статистичні дані Чернігівської області наведено в таблиці 1.

**Таблиця 1. Викиди забруднюючих речовин від пересувних джерел забруднення в Чернігівській області**

| Рік                                      | 2016    | 2017    | 2018    | 2019    | 2020    | 2021    |
|--|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Кількість викидів забруднюючих речовин,т | 40600,1 | 48267,0 | 41784,5 | 39129,1 | 28903,3 | 29524,7 |

Всеукраїнська науково-практична конференція  
«Шляхи вирішення проблем механізації, енергоефективності та логістики в  
аграрному секторі в період воєнного часу»

В даній таблиці наведені дані до 2021 року. З настанням війни в Україні 24 лютого 2022 року стало неможливим зібрати якісно статистичні дані за 2022 та 2023 роки.

Задача регресійного аналізу полягає в тому, щоб за наявними статистичними даними:

1. Отримати найкращі оцінки  $\hat{a}_0, \hat{a}_1, \dots, \hat{a}_n$  невідомих параметрів  $a_0, a_1, \dots, a_n$ ;
2. Перевірити статистичні гіпотези про параметри моделі;
3. Перевірити, чи добре отримана модель узгоджується зі статистичними даними (перевірити адекватність моделі) [5, с. 71].

Якість знайдених оцінок параметрів  $\hat{a}_0, \hat{a}_1, \dots, \hat{a}_n$  можна досліджувати за допомогою величин відхилень  $u$  теоретичних значень  $y$  від емпіричних  $\hat{y}$ , обчислених за формулою  $u = y - \hat{y}$ .

Найчастіше використовують метод найменших квадратів – це метод визначення оцінок параметрів  $\hat{a}_0, \hat{a}_1, \dots, \hat{a}_n$  за допомогою мінімізації суми

$$\left( \sum_{i=1}^n u_i^2 \rightarrow \min \right).$$

Метод найменших квадратів найпоширеніший, найбільш теоретично обґрунтований та найпростіший з обчислювальної точки зору метод.

Основні причини наявності випадкового фактора  $u$  в математичних моделях: введення в модель не всіх пояснюючих змінних; неправильний вибір функціональної форми моделі; агрегування змінних; помилки вимірювань; обмеженість статистичних даних; непередбачуваність людського фактора. Людський фактор може “зіпсувати” найякіснішу модель. Дійсно, при правильному виборі форми моделі, скрупульозному доборі пояснюючих змінних неможливо спрогнозувати поведінку кожного індивідуума [5, с. 36].

Для спрощення розрахунків та з метою автоматизації процесу побудови моделі викидів забруднюючих речовин від пересувних джерел забруднення в Чернігівській області скористаємося табличним процесором Excel.

Обробку числових даних розпочнемо з використання Надстройки / Аналіз даних / Описова статистика. Результати наведено в таблиці 2.

Всеукраїнська науково-практична конференція  
«Шляхи вирішення проблем механізації, енергоефективності та логістики в  
аграрному секторі в період воєнного часу»

Результати описової статистики показують, що середнє значення викидів забруднюючих речовин від пересувних джерел забруднення в Чернігівській області дорівнює 38034,79 т.

У багатьох практичних випадках моделювання природних явищ і процесів лінійними математичними моделями дає цілком задовільний результат і може використовуватися для аналізу і прогнозування.

*Таблиця 2. Результати описової статистики в Excel*

|                       |          |
|-----------------------|----------|
| Середнє значення      | 38034,79 |
| Стандартна похибка    | 3067,804 |
| Медіана               | 39864,61 |
| Мода                  | -----    |
| Стандартне відхилення | 7514,553 |
| Дисперсія вибірки     | 56468511 |
| Ексцес                | -1,11268 |
| Асиметрія             | -0,16651 |
| Інтервал              | 19363,7  |
| Мінімум               | 28903,3  |
| Максимум              | 48267    |
| Сума                  | 228208,7 |

Однак внаслідок різноманіття і складності природних явищ та процесів обмежитися застосуванням тільки лінійних моделей неможливо. Багато залежностей, як свідчить теорія, не є лійними по суті, і тому їх моделювання лійними залежностями, безумовно, не дасть позитивний результат. У цьому випадку необхідно використовувати нелінійні математичні моделі.

Для визначення типу поведінки моделі викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря від стаціонарних джерел викидів зобразимо зібрані дані у системі координат. У результаті дістанемо кореляційне поле точок. В табличному процесорі Excel побудуємо точкову діаграму

На підставі гіпотези про нелінійність зв'язку, через кореляційне поле точок можна провести безліч ліній, які різняться між собою параметрами  $\hat{a}_0, \hat{a}_1, \dots, \hat{a}_n$ .

Всеукраїнська науково-практична конференція  
«Шляхи вирішення проблем механізації, енергоефективності та логістики в  
аграрному секторі в період воєнного часу»

Скористаємося можливостями табличного процесора Excel для вибору ліній тренду (апроксимація та згладжування).

Із запропонованих ліній тренду обираємо ту, яка має найбільшу величину апроксимації  $R^2$  – поліноміальна функція 3 степеня (рис. 2).



**Рис. 2. Модель викидів забруднюючих речовин від пересувних джерел забруднення**

Ординати зображених точок на рис. 2 відповідають теоретичним значенням  $y$ , а ординати точок на кривій – це емпіричні значення  $\hat{y}$ .

Отже, модель має вигляд

$$y = 840,65x^3 - 5 \cdot 10^6x^2 + 10^{10}x - 7 \cdot 10^{12}. \quad (1)$$

Величина апроксимації  $R^2 = 0,9507$ . Оскільки  $0,8 < R^2 < 1$ , то модель достатньо точно описує характер зміни викидів забруднюючих речовин від пересувних джерел забруднення.

Підводячи підсумки проведених досліджень можна зробити висновки, що в даній роботі знайдена адекватна модель, яка достатньо точно описує характер зміни викидів забруднюючих речовин від пересувних джерел забруднення в Чернігівській області. На основі одержаної моделі викидів забруднюючих

Всеукраїнська науково-практична конференція  
«Шляхи вирішення проблем механізації, енергоефективності та логістики в  
аграрному секторі в період воєнного часу»

речовин від пересувних джерел забруднення в Чернігівській області можна робити прогноз на 2024 рік.

В подальших наукових роботах планується провести перевірку статистичної значущості одержаних результатів, моделювання сценаріїв впливу викидів забруднюючих речовин від пересувних джерел забруднення, рекомендації щодо подальшого екологічного розвитку Чернігівської області.

**Список використаних джерел:**

1. Основи екології: Підручник / Г. О. Білявський, Р. С. Фурдуй. І. Ю. Костіков. – 2-ге вид. – К.: Либідь, 2005. – 408 с.
2. Радовенчик, В. М. Утилізація та рекуперація відходів: підручник / В. М. Радовенчик, М. Д. Гомеля, Я. В. Радовенчик. – К.: Кондор, 2021. – 247 с.
3. Основи наукових досліджень та інтелектуальна власність [Текст]: курс лекцій / М-во освіти і науки України, Донец. нац. ун-т економіки і торгівлі ім. М. Туган-Барановського, каф. технології в ресторанногосподарстві та готельної і ресторанної справи; уклад. О.О. Сімакова, К.А. Заболотня – Кривий Ріг: ДонНУЕТ, 2017. – 84 с.
4. Державна служба статистики України. URL: <https://www.ukrstat.gov.ua/>
5. Економетрика: навчальний посібник / Майбородіна Н.В. – Ніжин: ПП Лисенко М.М., 2021. – 280 с.

**Abstract.** In this paper, the main numerical characteristics are calculated, a mathematical model of pollutant emissions into atmospheric air from mobile sources of pollution in the Chernihiv region is built.

**Keywords:** atmospheric emissions, mobile sources of pollution, numerical characteristics of quantities, mathematical model, forecast.

© Майбородіна Н.В., Герасименко В.П., Дмитренко К.Р., 2023