

Технічні науки

УДК 676.242.3.06

**Плосконос Віктор Григорович**

*кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,  
доцент кафедри екології та технології рослинних полімерів*

*Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*

**Плосконос Виктор Григорьевич**

*кандидат технических наук, старший научный сотрудник,  
доцент кафедры экологии и технологии растительных полимеров*

*Национальный технический университет Украины  
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»*

**Ploskonos Viktor**

*Candidate of Technical Sciences, Senior Scientist,  
Assistant Professor of the Department of Ecology and Plant Polymers Technology  
National Technical University of Ukraine  
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"*

**Гондовська Анна Сергіївна**

*магістрант*

*Національного технічного університету України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*

**Гондовская Анна Сергеевна**

*магистрант*

*Национального технического университета Украины  
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»*

**Gondovska Anna**

*Graduating Student of the  
National Technical University of Ukraine  
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"*

**ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНИХ ОПИСІВ З МЕТОЮ  
ВИЗНАЧЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ В ПРОЦЕСІ РОЗРОБЛЕННЯ  
ПАКУВАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ІЗ ЗАДАНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ  
ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ ОПИСАНИЙ С ЦЕЛЮ  
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ В ПРОЦЕССЕ  
РАЗРАБОТКИ УПАКОВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ЗАДАНЫМИ  
СВОЙСТВАМИ**

**STUDY OF MATHEMATICAL DESCRIPTIONS TO DETERMINE  
REGULARITIES IN THE PROCESS OF DEVELOPING PACKAGING  
MATERIALS WITH DESIGNATED PROPERTIES**

*Анотація.* З метою пошуку умов з виготовлення пакувальних матеріалів із заданими властивостями без вмісту екологічно шкідливих добавок застосовано комплекс комп'ютерних технологій. Для досягнення поставленої мети на даному етапі досліджень проведено детальний аналіз створених на попередньому етапі даної роботи математичних моделей, На базі отриманих результатів аналізу на наступному етапі даної роботи планується розробити оптимальні умови для створення нових видів пакувальних матеріалів із заданими властивостями.

*Ключові слова:* пакувальний матеріал, показники міцності, математичні моделі, комп'ютерні технології.

*Аннотация.* С целью поиска условий изготовления упаковочных материалов с заданными свойствами без содержания экологически вредных добавок применен комплекс компьютерных технологий. Для достижения поставленных целей на данном этапе исследований проведен детальный анализ созданных на предыдущем этапе данной работы математических моделей. На базе полученных результатов анализа на следующем этапе данной работы планируется разработать

*оптимальные условия для создания новых видов упаковочных материалов с заданными свойствами.*

**Ключевые слова:** *упаковочный материал, прочностные показатели, математические модели, компьютерные технологии.*

**Summary.** *A set of computer technologies has been used to find conditions for the production of packaging materials with specified properties without the content of environmentally harmful additives. To achieve this goal at this stage of research conducted a detailed analysis of mathematical models created at the previous stage of this work. Based on the results of the analysis at the next stage of this work it is planned to develop optimal conditions for creating new types of packaging materials with specified properties.*

**Key words:** *packaging material, strength indicators, mathematical models, computer technology.*

Створення пакувальних матеріалів без використання екологічно шкідливих хімічних добавок, які можливо віднести до нового покоління упаковки [1], є досить актуальним завданням на сьогоднішній день.

Разом з тим, **метою даної статті** є детальний аналіз отриманих математичних моделей, які були створені на базі серії проведених експериментальних досліджень [1]. Аналіз проведено за використання комп'ютерних технологій та засобів обчислювальної техніки. Отже, виконані експериментальні дослідження та розроблені математичні моделі – це перший крок на шляху до вирішення питання розроблення пакувальних матеріалів нового покоління без використання екологічно шкідливих добавок [1]. Аналіз математичних моделей, який буде проведено в даній роботі, надасть можливість отримати повну картину поведінки об'єкта, що досліджується, в умовах, які не вивчалися в процесі проведення експериментальних досліджень. В подальшому, потрібно буде

використати результати, що отримані в даній роботі, для пошуку оптимальних параметрів та технологічних умов з метою реального виготовлення в лабораторних умовах заданих видів пакувальних матеріалів.

Таким чином, з метою максимального розкриття поведінки об'єкта в умовах, які можуть зацікавити дослідника, під детальний аналіз підпадають усі розроблені на першому етапі роботи математичні описи [1].

До комплексу основних показників, які характеризують міцність пакувального матеріалу, в першу чергу, відноситься руйнівне зусилля паперу, на поверхню якого наноситься водний розчин складу із суміші хімічних речовин [1].

*Математична модель за показником руйнівного зусилля:*

$$\begin{aligned} Y_{\text{руйнів.}} = & 77,30 + 4,94 * X_2 * \text{Cos}^3(X_5) - 5,09 * 10^{-2} * X_2 * X_5 * X_8 + \\ & + 2,31 * \text{Cos}(X_1) * \text{Sin}^2(X_4) * X_8 - 3,0 * 10^1 * X_1^2 * \text{Sin}(X_6) * \text{Sin}(X_8) - \\ & - 2,18 * 10^1 * \text{Cos}(X_1) * \text{Sin}(X_3) * \text{Cos}^2(X_6) \end{aligned} \quad (1)$$

Похибка розроблення математичного опису не перевищує 2,34 %.

В табл. 1 та на рис. 1 наведено отримані за використання комп'ютерних технологій порівняльні характеристики моделі (1).

Аналогічні результати, що наведено в табл.1 та на рис.1, було отримано в процесі аналізу математичних моделей за всіма показниками [1], але в подальшому не наводяться з метою скорочення обсягу статті.



можливо використати на наступних етапах виконання роботи, коли потрібно буде визначити загальну картину впливу всіх факторів на комплекс показників, що характеризують захисні (міцнісні) характеристики пакувального матеріалу [1] з метою обґрунтування параметрів та технологічних умов виробництва певного (заданого) виду пакування.

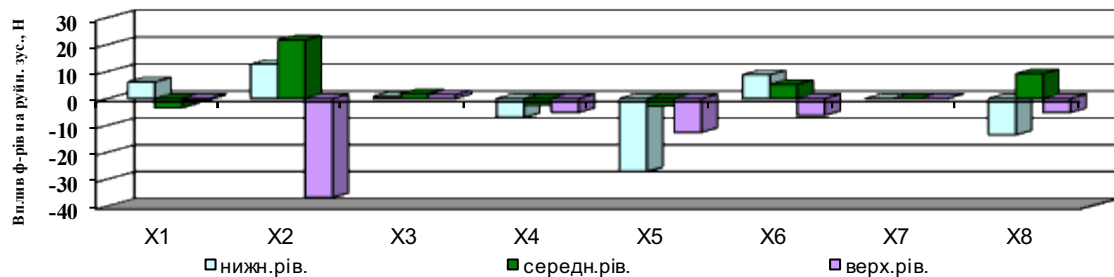


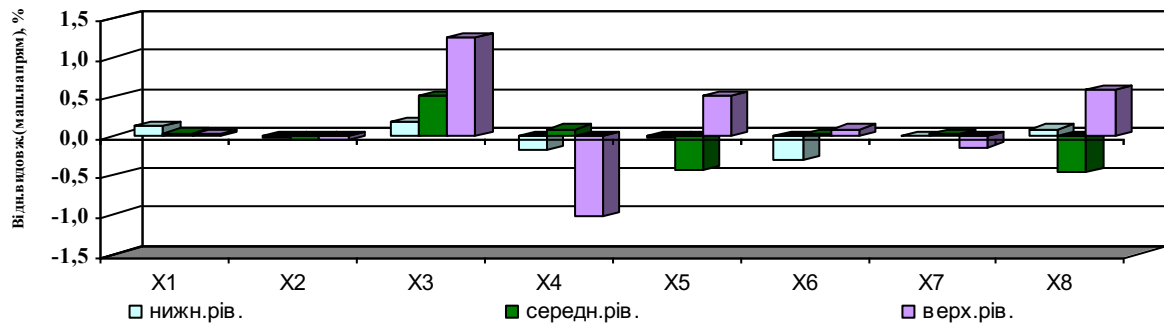
Рис. 2. Вплив вхідних досліджуваних факторів паперу-основи та компонентів складу на показник руйнівного зусилля ( $Y_{руйнів.}$ )

Математична модель за показником відносного видовження (у машинному напрямі):

$$\begin{aligned}
 Y_{в.вид.(м.н.)} = & 3,19 + 8,01 \cdot 10^{-5} \cdot X_3 \cdot \cos(X_3) \cdot X_5 \cdot \cos(X_7) \cdot X_8 + \\
 & + 2,96 \cdot 10^{-3} \cdot X_1 \cdot X_3 \cdot \cos(X_6) \cdot \sin(X_8) + 7,34 \cdot 10^{-3} \cdot \operatorname{tg}(X_3) \cdot (X_6) - \\
 & - 8,67 \cdot 10^{-2} \cdot \cos(X_1) \cdot \sin(X_3) \cdot X_4 + \\
 & + 3,22 \cdot 10^{-2} \cdot \cos(X_1) \cdot \sin(X_2) \cdot \sin(X_4) \cdot (X_8) - 2,02 \cdot 10^{-3} \cdot X_2 \cdot X_5
 \end{aligned}
 \quad (2)$$

Похибка розроблення математичного опису не перевищує 6,15 %.

На рис. 3 наведено результати у вигляді графіків, що відображають вплив вхідних факторів на показник відносного видовження (машинний напрям), та дозволяють експериментатору робити висновки відносно змінювання показника в ситуаціях, які не знайшли відображення в експериментальних дослідженнях [1].



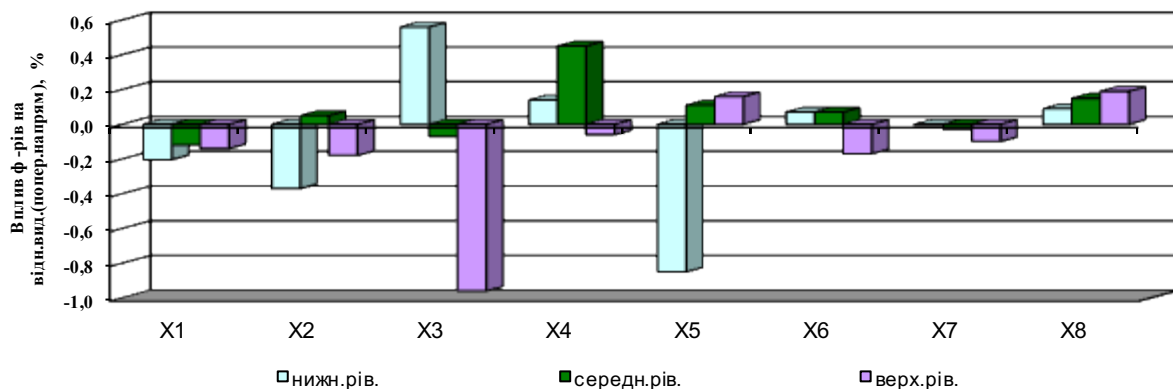
**Рис. 3.** Вплив вхідних досліджуваних факторів паперу-основи та компонентів складу на показник відносного видовження (у машинному напрямку) ( $Y_{в.вид.(м.п.)}$ )

Математична модель за показником відносного видовження (у поперечному напрямку):

$$\begin{aligned}
 Y_{в.вид.(п.п.)} = & 6,67 + 1,09 * \text{tg}(X_2) * \text{Cos}(X_3) * \text{tg}(X_4) * X_5 * \text{Cos}^2(X_8) - \\
 & - 9,66 * 10^{-4} * \text{Cos}(X_1) * X_3 * \text{Cos}^3(X_7) * \text{tg}(X_8) + 2,83 * 10^{-2} * (X_5) - \\
 & - 1,20 * 10^{-1} * X_1 * \text{tg}(X_1) * \text{Cos}(X_4) * \text{Cos}(X_6) + \\
 & + 2,09 * 10^{-2} * \text{tg}(X_1) * X_2 * \text{tg}(X_3) * \text{Sin}(X_6) * \text{Sin}(X_8)
 \end{aligned}
 \quad (3)$$

Похибка розроблення математичного опису не перевищує 3,33 %.

На рис. 4 наведено результати графічного дослідження впливу вхідних факторів на показник відносного видовження (у поперечному напрямку), які слугують експериментатору базою, щоб робити висновки стосовно зміни даного показника в ситуаціях, які не знайшли відображення в серії експериментальних досліджень [1].



**Рис. 4.** Вплив вхідних факторів паперу-основи та компонентів складу на показник відносного видовження (у поперечному напрямку) ( $Y_{в.вид.(п.п.)}$ )

Математична модель за показником міцності на злом (у машинному напрямку):

$$\begin{aligned}
 Y_{\text{злом. (м.п.)}} = & 6,57 * 10^3 + 1,19 * \text{Cos}^2(X_1) * X_2 * X_4 * X_5^2 - \\
 & - 9,52 * 10^2 * X_1^2 * X_2 * \text{Sin}(X_2) * \text{Sin}(X_8) * \text{Cos}(X_8) - \\
 & - 5,74 * 10^3 * \text{Sin}(X_3) * \text{Cos}^2(X_5) - 4,57 * X_1 * X_4 * X_5 * X_6 * \text{Sin}(X_8) * \text{Cos}(X_8) + \\
 & + 1,99 * 10^3 * \text{Cos}(X_3) * \text{Sin}(X_4) * \text{Cos}(X_6) * \text{Cos}(X_7) * \text{Sin}(X_8) * \text{Cos}(X_8)
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

Похибка розроблення математичного опису не перевищує 0,96 %.

На рис. 5 наведено графічні залежності результатів впливу вхідних факторів на показник міцності на злом (у машинному напрямку), які дають можливість експериментатору робити висновки стосовно зміни даного показника в ситуаціях, що не знайшли відображення в серії експериментальних досліджень [1].

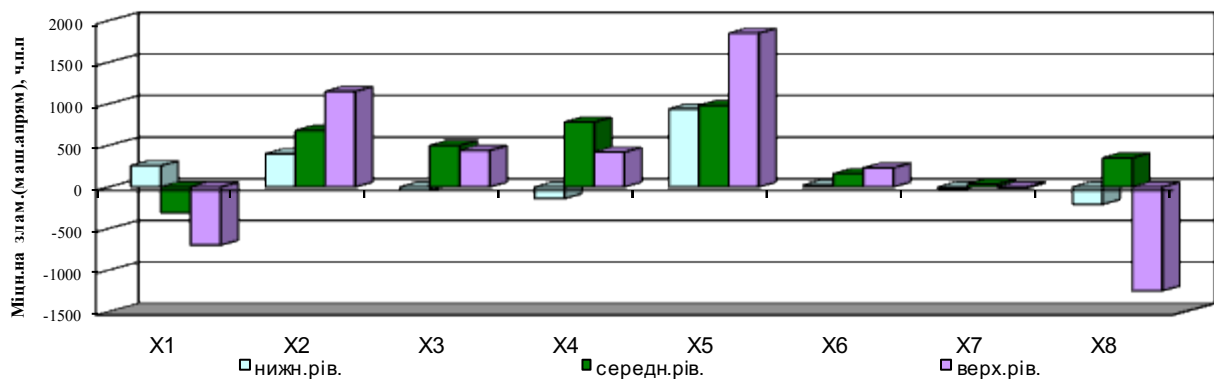


Рис. 5. Вплив вхідних факторів паперу-основи та компонентів складу на показник міцності на злом (у машинному напрямку) ( $Y_{\text{злом. (м.п.)}}$ )

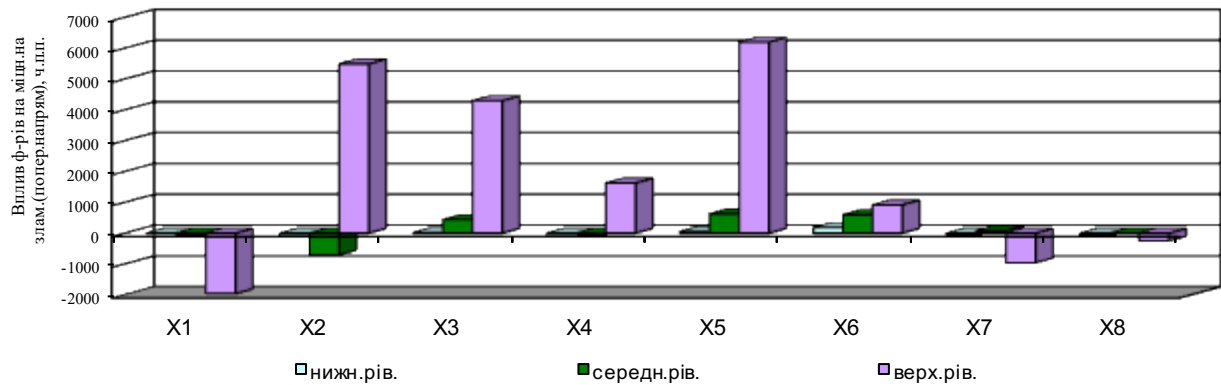
Математична модель за показником міцності на злом (у поперечному напрямку):

$$\begin{aligned}
 Y_{\text{злом. (п.п.)}} = & 120,55 - 1,55 * 10^{-1} * X_2^3 * X_4^2 * \text{Sin}(X_5) + \\
 & + 6,31 * 10^{-1} * \text{Cos}(X_1) * X_3 * X_4 * X_6 * \text{Cos}^2(X_7) + \\
 & + 3,43 * X_3 * \text{Sin}(X_4) * \text{Cos}(X_4) * X_5 * \text{Cos}(X_7) * \text{Sin}(X_8) - \\
 & - 8,88 * 10^1 * X_7 * X_8 * \text{Sin}^3(X_8) + 2,62 * 10^{-1} * \text{Cos}(X_1) * X_2^2 * \text{Sin}(X_2) * X_3 * X_5 - \\
 & - 1,19 * 10^3 * \text{Cos}(X_3) * \text{Cos}(X_6) * \text{Cos}^2(X_7) * \text{Cos}^2(X_8)
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

Похибка розроблення математичного опису не перевищує 0,15 %.



На рис. 6 у вигляді графічних залежностей наведено результати впливу вхідних факторів на показник міцності на злом (у поперечному напрямку), які дозволяють робити висновки стосовно зміни даного показника в ситуаціях, які не були відображені експериментально [1].



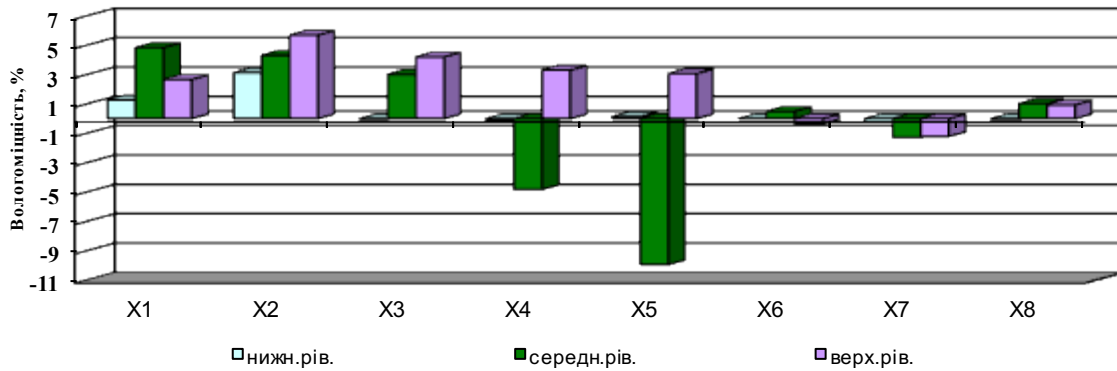
**Рис. 6. Вплив вхідних факторів паперу-основи та компонентів складу на показник міцності на злом (у поперечному напрямку) ( $Y_{\text{злом.п.н.}}$ )**

*Математична модель за показником вологоміцності пакувального матеріалу:*

$$\begin{aligned}
 Y_{\text{вологоміцн.}} = & 13,90 - 3,96 \cdot \text{Cos}(X_1) \cdot \text{Cos}(X_3) \cdot \text{Cos}(X_4) \cdot \text{Cos}^2(X_6) + \\
 & + 1,10 \cdot X_1^2 \cdot X_2 \cdot \text{Cos}(X_7) \cdot \text{Sin}^2(X_8) - \\
 & - 6,52 \cdot 10^{-1} \cdot X_1 \cdot \text{Sin}(X_1) \cdot \text{Cos}(X_6) \cdot \text{Cos}(X_7) \cdot X_8 \cdot \text{Cos}(X_8) - \\
 & - 5,07 \cdot 10^{-1} \cdot \text{Cos}^3(X_1) \cdot \text{Sin}(X_2) \cdot X_8 \cdot \text{Sin}(X_8) - \\
 & - 5,95 \cdot 10^{-1} \cdot \text{Cos}(X_3) \cdot X_5 \cdot \text{Cos}^2(X_7) \cdot \text{Sin}^2(X_8)
 \end{aligned} \tag{6}$$

Похибка розроблення математичного опису не перевищує 1,15 %.

На рис. 7 у графічному вигляді наведено результати впливу вхідних факторів на показник волого міцності пакувального матеріалу, що дозволяє експериментатору робити висновки стосовно зміни даного показника в ситуаціях, які не знайшли відображення експериментально [1].



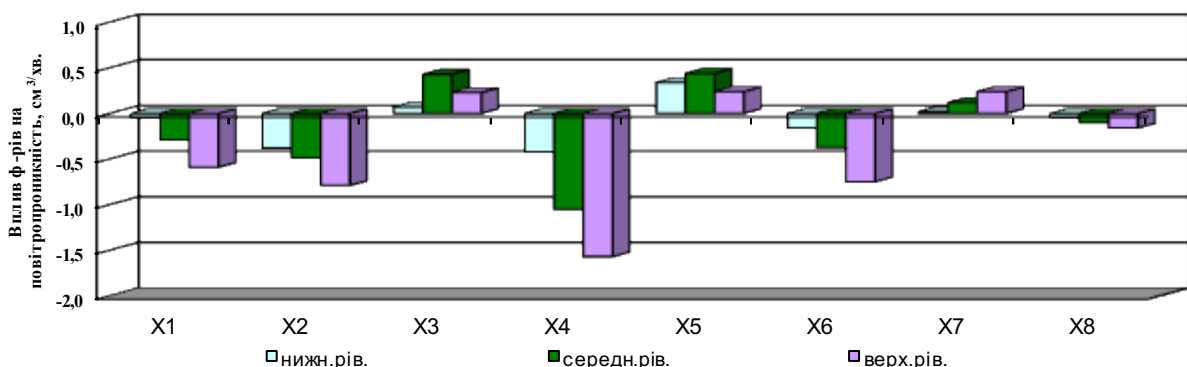
**Рис. 7. Вплив вхідних факторів паперу-основи та компонентів складу на показник вологоміщності ( $Y_{\text{вологоміщн.}}$ )**

*Математична модель за показником повітропроникності пакувального матеріалу:*

$$\begin{aligned}
 Y_{\text{повітропр.}} = & 1,78 - 2,60 \cdot 10^{-6} \cdot X_2 \cdot X_4^5 + 2,17 \cdot 10^{-4} \cdot X_2^2 \cdot X_3 + \\
 & + 4,75 \cdot 10^{-2} \cdot X_5 - 1,39 \cdot 10^{-1} \cdot X_1^5 \cdot X_6 - \\
 & - 2,96 \cdot 10^{-4} \cdot X_2 \cdot X_8^2 + 8,45 \cdot 10^{-2} \cdot X_5 \cdot X_7
 \end{aligned}
 \quad (7)$$

Похибка розроблення математичного опису не перевищує 7,96 %.

На рис. 8 у вигляді графічних залежностей наведено результати впливу вхідних факторів на показник повітропроникності пакувального матеріалу, що дає можливість робити висновки стосовно зміни даного показника в ситуаціях, які не знайшли відображення в серії експериментальних досліджень [1].



**Рис. 8. Вплив вхідних факторів паперу-основи та компонентів складу на показник повітропроникності пакувального матеріалу ( $Y_{\text{повітропр.}}$ )**

Математична модель за показником вбирності води:

$$\begin{aligned} Y_{\text{вбирність}} = & 18,39 + 5,10 \cdot \text{Cos}^2(X_1) \cdot \text{Sin}(X_4) \cdot X_6 \cdot \text{Sin}^2(X_8) + \\ & + 1,65 \cdot 10^1 \cdot \text{Cos}^2(X_1) \cdot \text{Cos}(X_3) \cdot \text{Sin}(X_4) \cdot X_5 \cdot \text{Cos}(X_8) + \\ & + 9,77 \cdot \text{Sin}(X_2) \cdot \text{Cos}(X_2) \cdot \text{Cos}(X_3) \cdot \text{Cos}(X_4) \cdot X_5 \cdot \text{Cos}(X_6) - \\ & - 2,60 \cdot 10^1 \cdot \text{Cos}^2(X_1) \cdot \text{Sin}(X_2) \cdot \text{Sin}^2(X_8) \cdot \text{Cos}(X_8) - \\ & - 3,74 \cdot \text{Sin}^2(X_4) \cdot \text{Sin}(X_6) \cdot \text{Cos}^2(X_7) \cdot X_8 \end{aligned} \quad (8)$$

Похибка розроблення математичного опису не перевищує 1,78 %.

На рис. 9 наведено результати впливу вхідних факторів на показник вбирності води, що дає можливість експериментатору робити висновки стосовно зміни даного показника в ситуаціях, які не знайшли відображення в серії експериментів [1].

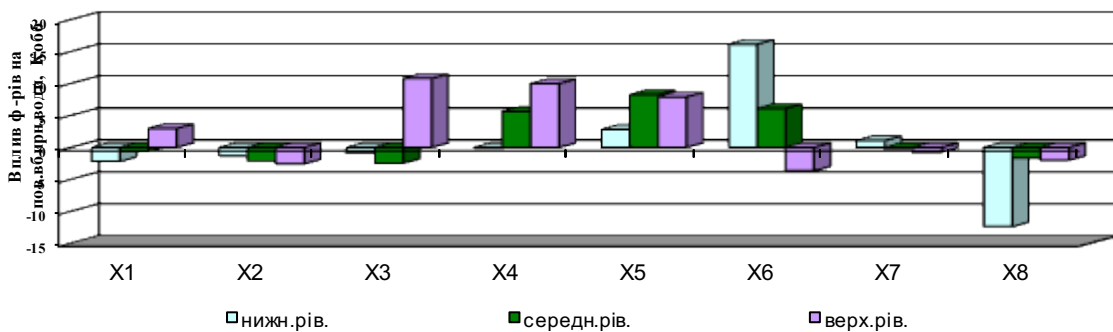


Рис. 9. Вплив вхідних факторів паперу-основи та компонентів складу на показник вбирності води ( $Y_{\text{вбирність}}$ )

**Висновки.** В даній роботі за використання комп'ютерних технологій та засобів обчислювальної техніки проведено аналіз математичних залежностей, що подані у вигляді моделей. Метою такого аналізу є отримання повної картини поведінки об'єкта, що досліджується, в умовах, які не вивчалися в процесі проведення серії експерименту. На наступному етапі даної роботи потрібно буде провести аналіз отриманих в даній роботі результатів з метою пошуку за використання комп'ютерних технологій параметрів та технологічних умов виготовлення у лабораторних умовах заданих видів пакувальних матеріалів.

### **Література**

1. Плосконос В. Г., Тіницька Є.Ю. Комплекс пошукових досліджень з метою створення пакувальних матеріалів із заданими властивостями // Міжнародний науковий журнал "Інтернаука". 2021. № 13 (113). С. 58-63.