



УДК 631.572

## МЕТОДИКА ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ КОЕФІЦІЄНТА БОКОВОГО ТИСКУ РОСЛИННИХ МАТЕРІАЛІВ

Кузенко Д.В., к.т.н.,

Левко С.І., інж. .

*Львівський національний аграрний університет*

Тел. (032) 2242988, e-mail: kuzenko-dv@meta.ua

**Анотація** – стаття присвячена визначенню бокового тиску стеблових рослинних матеріалів на стінки камери пресування. Описана методика проведення експериментальних досліджень та подані результати, встановлені залежності коефіцієнта бокового тиску для різних видів рослинних матеріалів.

**Ключові слова** – рослинні матеріали, паливні брикети, пресування, боковий тиск, коефіцієнт.

*Постановка проблеми.* Значна частина стеблових рослинних відходів аграрного виробництва, лісопильної та деревообробної промисловості з багатьох причин не знаходять подальшого технологічного застосування. Проте в умовах постійного зростання цін на енергоресурси та підвищеного попиту на екологічно чисті відновлювані джерела енергії, проводити утилізацію відходів рослинного походження шляхом виготовлення з них різних видів твердого палива надає можливість економити на традиційних енергоресурсах та підвищити ефективність виробництва в цілому.

Подальший розвиток даного напрямку нетрадиційної енергетики в значній мірі стримується недосконалістю технологічних процесів виготовлення паливних брикетів, недостатністю їх теоретичного та експериментального обґрунтування, вибору основних параметрів пресового обладнання. Зокрема, недостатньо вивчений вплив осьового тиску та зовнішнього тертя на коефіцієнт бокового тиску під час формування паливних брикетів із рослинних стеблових матеріалів. А це може призвести до неточностей у розрахунках навантажень, які діють на формувальні робочі органи, і відповідно, енергозатрат, внаслідок чого підвищується вартість паливних брикетів.

*Аналіз останніх досліджень і публікацій* Найбільш вагомими та глибокими дослідженнями проведеними в питаннях стиснення та пре-

сування сіно-соломистих рослинних матеріалів для утворення тюків, рулонів, брикетів і гранул з метою заготівлі кормів, стебел льону та утворення з них снопів і рулонів. З цього приводу можна відмітити дослідження, проведені В.П. Горячкіним, М.А. Пустигіним, И.В. Сахаровим, С.А. Алферовим, И.А. Долговим, В.И. Особовим, Г.К. Васильєвою, А.А. Григорєвим, В.Д. Дутовим, Дж.Л. Батлером, Х.Ф. МакКоллі, Г.А. Хайлісом, В.С. Бриком, Г.А. Аверяною, І.Я. Федоренком, П.М. Заїкою [1,2,3,4,8].

Проблеми дослідження бокового тиску під час пресування вирішувались вченими для сипких матеріалів [2], бетонних сумішей [4], ґрунтів [1,6]. В цих роботах описані прилади та методики визначення бокового тиску, а також наведені дані експериментальних досліджень. Проте загальним недоліком даних методик є дослідження в області низьких тисків (до 0,5 МПа), значно відрізняються і фізико-механічні властивості матеріалів, які досліджувались, від рослинних.

В роботі [3] автори пропонують аналітичний і графоаналітичний метод визначення коефіцієнта бокового тиску та його залежність від коефіцієнта внутрішнього і зовнішнього тертя для дисперсних матеріалів. Ними встановлено, що при збільшенні коефіцієнта зовнішнього тертя зростає коефіцієнт бокового тиску.

Хілков Н.В. [8] досліджував боковий тиск повнораціонного корму у відкритій камері із багатократним пресуванням. Ним запропонована установка та методика проведення експериментальних досліджень, а згідно результатів його досліджень максимальний коефіцієнт бокового тиску для трав'яного борошна становить  $\xi = 0,43$  за осьового тиску  $p = 35$  МПа.

Дослідження залежності бокового тиску від тиску пресування, з метою отримання паливних гранул, для різної вологості та фракційного складу деревної маси (тирси, стружки) із розмірами частинок 0,5...2 мм, наведені в працях російських науковців [9]. За даними авторів, зв'язок між коефіцієнтом бокового тиску та тиском пресування носить складний характер та описується експоненціальним рівнянням із коефіцієнтами, що враховують фракційний і породний склад деревної тирси (стружки) та визначаються експериментальним шляхом:

$$\varepsilon = A \cdot p^B \cdot e^{C \cdot p}, \quad (1)$$

де  $A$ ,  $B$  і  $C$  – експериментальні коефіцієнти, що залежать від фракційного, породного складу деревної тирси та вологості, відповідно.

На даний час проблема дослідження бокового тиску під час виготовлення паливних брикетів із рослинних стеблових матеріалів (соломи, відходів переробної галузі) є маловивченою.

*Формулювання цілей статті.* Завданням досліджень є обґрунтування методики та встановлення значень бокового тиску рослинних матеріалів за різних фізико-механічних властивостей в залежності від осьового тиску, що створюється в робочій камері преса.

*Основна частина.* Як свідчать дослідження [10], на щільність брикетів впливає в основному тиск пресування, що створюється в робочій камері (філь'єрі) преса чи формувальній головці, повинен створити зусилля рівне або більше зусиллю виштовхування брикету із формувальної головки. Останнє в основному залежить від форми та довжини робочого каналу, сил тертя, що визначаються зусиллями бокового тиску брикетів на стінки робочих каналів пресу. Із зміною осьового тиску в камері пресування буде змінюватися і боковий тиск, на величину та динаміку зміни якого значний вплив мають фізико-механічні властивості матеріалу.

Для проведення досліджень впливу зусилля пресування на боковий тиск для різних за властивостями рослинних матеріалів нами виготовлена експериментальна установка (рис. 1), яка містить раму 1, гвинтовий механізм 2 змонтований на рамі через підшипниковий вузол. На верхню частину рами опирається важіль з великою противагою 7 на одному кінці, та вертикальною тягою 8 на другому, яка відхиляє важіль терезів 11 із малою противагою 9 та повзуном 10. Між верхнім важелем 7 та гвинтовим механізмом 2, за допомогою пальців, закріплений пристрій для випробування матеріалів на стиск, що містить кронштейн 3, циліндр 4 та поршень 5.

Циліндр виконаний пустотілим із зовнішньою канавкою шириною 40 мм для розміщення в ній тензометричних елементів із базою 20 мм. Товщина стінок у місці проточки наближена до мінімально допустимого значення за умови максимальної чутливості до зміни тиску та забезпечення необхідної міцності на навантаження за значеннями тиску до 100 МПа. В канавці наклеєні тензометричні елементи, які за мостовою схемою (дві тензоланки та два опори) приєднані до підсилювача сигналу, який живиться постійним струмом від акумуляторної батареї ( $U_{ж}=12$  В). Попередньо проведене тарування циліндра із тензоланками і встановлений перевідний коефіцієнт. Сигнал від підсилювача через аналого-цифровий перетворювач подається на персональний комп'ютер (ПК) із встановленим програмним забезпеченням, на екран якого виводяться результати експериментів (графічні залежності або числових дані).

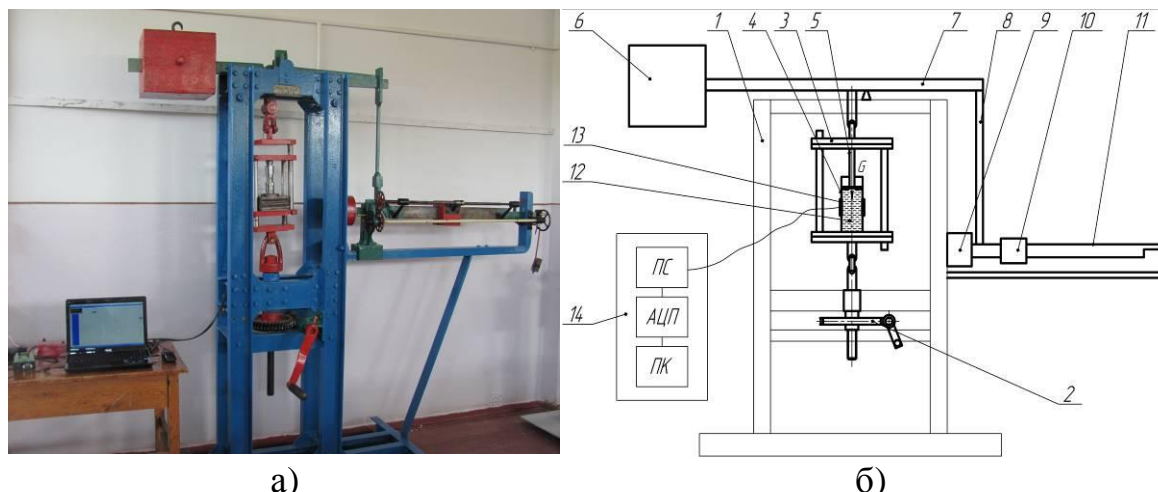


Рис. 1. Схема установки для визначення бокового тиску рослинної маси від прикладеного зусилля: а – загальний вид; б – схема; 1 – рама; 2 – гвинтовий механізм; 3 – пристосування для випробування на стиск; 4 – циліндр; 5 – поршень; 6 – противага; 7 і 8 велика та мала тяги; 9 – мала противага; 10 – повзунік; 11 – важіль терезів; 12 – рослинна маса; 13 – п'єзоелементи; 14 – вимірювальний блок; ПС – підсилювач сигналу; АЦП – аналого-цифровий перетворювач; ПК – персональний комп'ютер.

Зусилля пресування  $G$  (зусилля на штоку поршня) встановлювалося шляхом переміщення повзунка 10 по важелю терезів 11 та обертання гвинтового механізму 2 до встановлення рівноваги важільної системи (рівень носика важеля терезів повинен співпадати із міткою на рамі).

Тиск пресування  $p$  визначався так

$$p = \frac{G}{S}, \text{ МПа}, \quad (2)$$

де  $G$  – встановлене зусилля пресування, Н;

$S$  – площа поперечного перетину робочого каналу циліндра,  $\text{мм}^2$ .

Для проведення дослідів використовувалась солома озимої пшениці та вівса (вологістю 9% 14%, 17% та 22%), озимого ріпаку (вологістю 9%, 12%, 16%, 20%) та очерету (вологістю 10%, 14%, 17%, 21%). Вологість визначали вологоміром АВД-6100 ОП.

Подрібнений рослинний матеріал (частинки розміром до 10 мм) засипався у циліндр, за допомогою гвинтового механізму та повзуна на важелі терезів встановлювалося відповідне навантаження  $G$ . Далі фіксувалися покази на ПК, які пізніше переводилися у відповідні значення тиску. Коефіцієнт бокового тиску визначався за формулою

$$\xi = \frac{p}{p_0}, \quad (3)$$

де  $p_{\delta}$  – боковий тиск за відповідного значення осевого тиску, МПа.

Як бачимо із графічних залежностей результатів експериментів (рис. 2), боковий тиск під час пресування соломи пшениці, вівса, ріпаку та очерету із зростанням осевого тиску збільшується для всіх значень вологості матеріалу. Причому боковий тиск для всіх видів рослинних матеріалів, що досліджувалися, змінюється приблизно однаково від 0,34 до 16,67 МПа за осевого тиску від 1,15 МПа до 40 МПа. Слід зазначити, що для соломи пшениці різниця між боковим тиском за вологості 9 та 14% не є значною, для інших культур ця різниця суттєва.

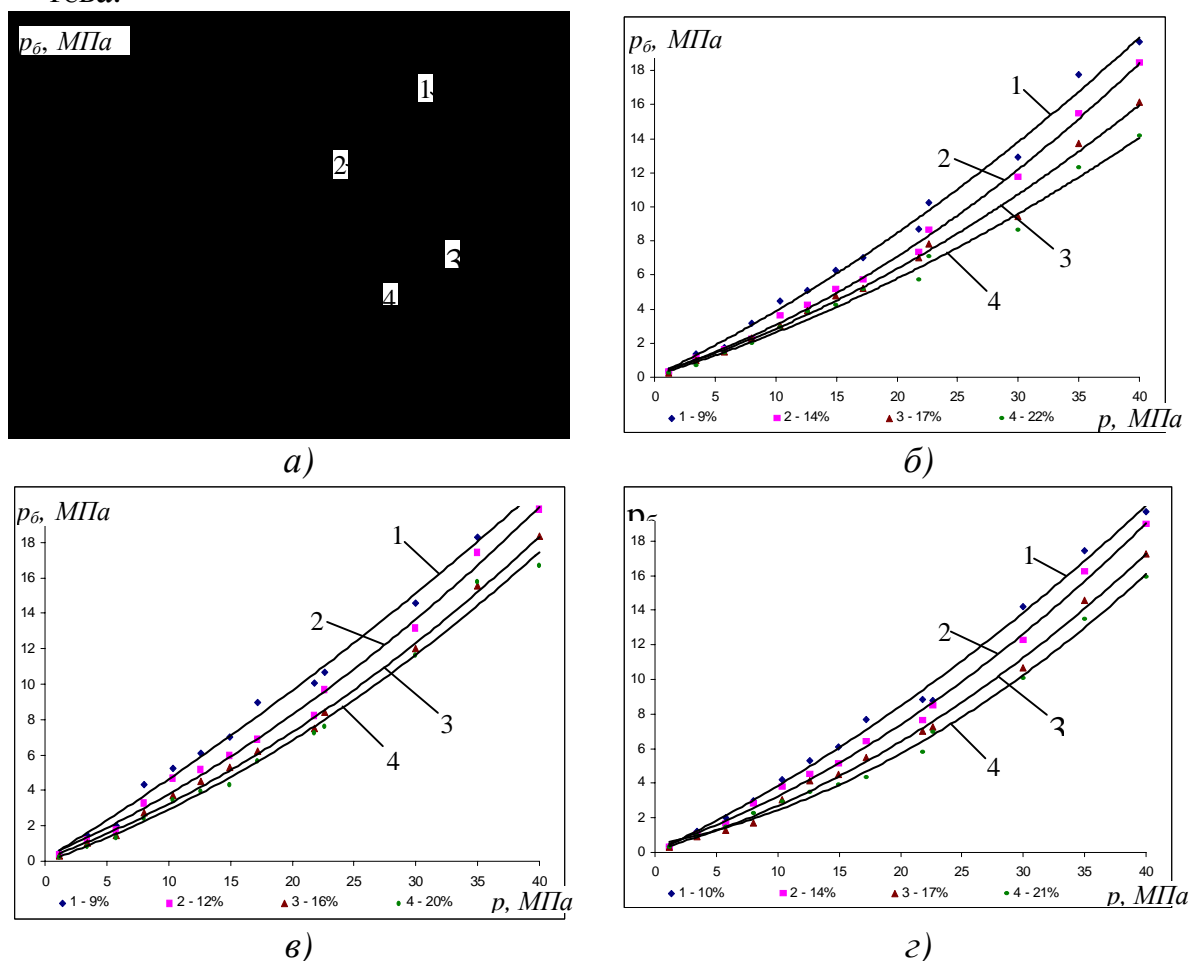


Рис. 2. Залежність бокового тиску рослинної маси від осевого тиску: а – пшениця; б – овес; в – ріпак; г – очерет

На рис. 3 представлені графічні залежності бокового тиску від вологості рослинної маси. Із збільшенням вологості боковий тиск дещо зменшується для всіх видів культур. Для соломи ріпаку за осевого тиску 30 МПа таке зменшення, порівняно із іншим рослинним матеріалом є менш значним, що пояснюється більш щільною структурою стебла.

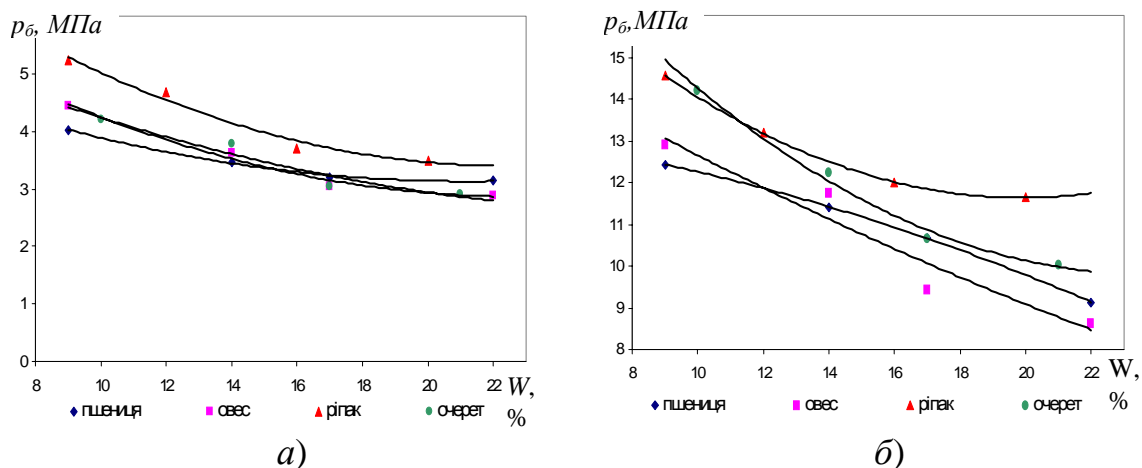


Рис. 3. Залежність бокового тиску від вологості при значенні осьового тиску: а – 10 МПа; б – 30 МПа.

Рівняння, що описують графічні залежності (рис. 2) бокового тиску соломи різних культур від осьового тиску в робочому каналі, отримані методом найменших квадратів [7], наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Емпіричні рівняння бокового тиску.

| Матеріал       | Вологість $W, \%$ | Вид рівняння                                | Коеф. детермінації $r$ |
|----------------|-------------------|---|------------------------|
| Солома пшениці | 14                | $p_{\delta} = 0,0055p^2 + 0,2539p + 0,272$  | 0,997                  |
| Солома вівса   | 14                | $p_{\delta} = 0,0056p^2 + 0,2334p + 0,1832$ | 0,997                  |
| Солома ріпаку  | 16                | $p_{\delta} = 0,0048p^2 + 0,261p + 0,1341$  | 0,995                  |
| Стебла очерету | 15                | $p_{\delta} = 0,0056p^2 + 0,2463p + 0,2208$ | 0,996                  |

Проаналізувавши отримані емпіричні рівняння, отримуємо узагальнене рівняння залежності бокового тиску від осьового в робочій камері преса

$$p_{\delta} = Ap^2 + Bp + C, \tag{4}$$

Аналогічно отримуємо рівняння, що описують графічні залежності бокового тиску від вологості (рис. 3), зокрема, для соломи ріпаку вони мають наступний вид:

- за осьового тиску 10,33 МПа

$$p_{\delta} = 0,0105 \cdot W^2 - 0,471 \cdot W + 8,6765;$$

- за осьового тиску 30 МПа

$$p_{\sigma} = 0,0246 \cdot W^2 - 0,9782 \cdot W + 21,367.$$

Узагальнене рівняння залежності бокового тиску від вологості рослинних матеріалів має аналогічний вигляд

$$p_{\sigma} = A' \cdot W^2 - B' \cdot W + C'. \quad (5)$$

В рівняннях (4) і (5) коефіцієнти  $A$ ,  $B$ ,  $C$  і  $A'$ ,  $B'$ ,  $C'$  залежать від конструктивно-технологічних параметрів преса та фізико-механічних властивостей (вологість, коефіцієнт тертя, довжина подрібнення) рослинного матеріалу, тому для кожного рослинного матеріалу визначаються окремо.

Коефіцієнти бокового тиску для рослинної маси із соломи пшениці, вівса, ріпаку та очерету для різних значень осьового тиску в робочій камері наведені в табл. 2. Як бачимо з отриманих результатів коефіцієнт бокового тиску, при значенні осьового тиску 10 МПа, найменший для соломи вівса  $\varepsilon = 0,352$  та найбільший для соломи пшениці  $\varepsilon = 0,362$ . Зростання осьового тиску супроводжується збільшенням щільності рослинної маси і, відповідно, однорідності, внаслідок чого зростає коефіцієнт бокового тиску. Так, для соломи пшениці за осьового тиску у 40 МПа коефіцієнт бокового тиску становить  $\varepsilon = 0,483$ ; соломи вівса –  $\varepsilon = 0,466$ ; соломи ріпаку –  $\varepsilon = 0,458$ ; стебел очерету –  $\varepsilon = 0,474$ .

Таблиця 2 – Коефіцієнти бокового тиску,  $\varepsilon$ , МПа.

| Осьовий тиск, МПа | Пшениця<br>W=14% | Овес<br>W=14% | Ріпак<br>W=16% | Очерет<br>W=15% |
|-------------------|------------------|---------------|----------------|-----------------|
| 10                | 0,364            | 0,352         | 0,356          | 0,362           |
| 20                | 0,382            | 0,378         | 0,371          | 0,369           |
| 30                | 0,414            | 0,392         | 0,4            | 0,407           |
| 40                | 0,483            | 0,466         | 0,458          | 0,464           |

*Висновки.* Проведені дослідження залежності бокового тиску від прикладеного осьового зусилля показали, що він має суттєвий вплив на процес ущільнення рослинних матеріалів і, в першу чергу, визначає навантаження на стінки пресувальної камери та формувальної головки пресу, а також енергомісткість процесу.

Динаміка зміни коефіцієнту бокового тиску, що представляє собою відношення значень бокового та осьового тисків, для всіх видів культур приблизно однакова, а його значення знаходиться в межах 0,36...0,48.

*Література*

1. *Сорокина Г.В.* Рекомендации по методам определения коэффициентов бокового давления и поперечного расширения глинистых грунтов / *Г.В. Сорокина, Н.П. Бетелев, Г.П. Шишкина* // Методические рекомендации. Лаборатория методов исследования НИИ – М.: 1978 – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.complexdoc.ru](http://www.complexdoc.ru).
2. *Федосеев В.Б.* Боковой коэффициент и давление в насыпи сыпучего материала // Электронный научный журнал «ИССЛЕДОВАНО В РОССИИ» // Донской гос. тех. у-ситет – 2007, 622 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2007/058.pdf>.
3. *Барсуков В. В.* Трибомеханический метод расчета коэффициента бокового давления в хрупких дисперсных материалах / *В. В. Барсуков, Б. Крунич, В. Г. Барсуков* // Трение и износ., Том 32, № 6. – Гродно, 2011. – 489-497 с.
4. *Марковский М.Ф.* Прибор и методика измерения коэффициента бокового давления бетонной смеси на опалубку / *М.Ф. Марковский, Ю.Б. Копылов* // Третий международный симпозиум 9-11.11.2011 «Проблемы современного бетона и железобетона» – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.belniis.by](http://www.belniis.by).
5. Аналітичний огляд процесів і засобів для виготовлення паливних брикетів з рослинних матеріалів / *Д.В. Кузенко, Л.М. Кузенко, О.М. Крунич, С.І. Левко* // Збірник праць V Міжнародної науково-технічної конференції "MOTROL-2011" т.13D – 258–268 с.
6. *Лазебник Г.Е.* Экспериментальное определение коэффициента бокового давления и коэффициента Пуассона несвязных грунтов / *Г.Е. Лазебник, А.А. Смирнов, В.И. Симаков* // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1967, № 4. – 17-20 с.
7. *Мельников С. В.* Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / *С. В. Мельников, В. Р. Алешкин, П. М. Роцин.* – Л.: Колос, 1980. – 168 с.
8. *Хилков Н.В.* Оптимизация режимов работы пресса-брикетировщика ОПК-2,0 / *Н.В. Хилков* // Зап. Ленингр. с.-х. ин-та. 1977. - Т. 336. - С. 10-14.
9. Влияние давления прессования на коэффициент бокового давления древесных гранул / *О.Д. Мюллер, В.И. Мелехов, В.К. Любовь, В.И. Малыгин* // Лесной журнал – Архангельск: 2013, №3 – 97-102 с.
10. *Левко С. І.* Огляд теорій процесу пресування / *С. І. Левко* // Вісник Львів. НАУ «Агроінженерні дослідження». – Львів, 2010. – №15. – С. 458-467.



## **МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ КОЭФФИЦИЕНТА БОКОВОГО ДАВЛЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Д. В. Кузенко, С. И. Левко

**Аннотация – статья посвящена определению бокового давления стеблевых растительных материалов на стенки камеры прессования. Описана методика проведения экспериментальных исследований и представлены результаты, установлены зависимости коэффициента бокового давления для разных видов растительных материалов.**

## **METHODS AND RESULTS OF EXPERIMENTAL RESEARCH COEFFICIENT LATERAL PRESSURE PLANT MATERIAL**

D. Kuzenko, S. Levko

### **Summary**

**The paper is devoted to the determination of lateral pressure stem plant material on the walls of the baling chamber. Describes the methodology of experimental studies and the results installed according to the coefficient of lateral pressure for different types of plant material.**