

**Спирін А. В.**

К. Т. Н., доцент

**Твердохліб І. В.**

К. Т. Н., доцент

*Вінницький національний  
аграрний університет***Spirin A.****Tverdokhlib I.***Vinnitsia National Agrarian  
University***УДК 633.81 – 631.558.2****DOI: 10.37128/2306-8744-2020-1-13**

## **РІВНОВАЖНИЙ ВОЛОГОВМІСТ ПРОДУКТІВ ПЕРЕРОБКИ ЛЮЦЕРНИ**

Однією з причин гальмування розвитку тваринництва в Україні є незадовільний стан виробництва кормів. В більшості господарств виробництво кормів залишається низькорентабельним, вміст протеїну в кормах значно менше 110 г на 1 к.од., як це вимагається агрозоовимогами.

Одним з шляхів підвищення продуктивності кормо виробництва є запровадження нових технологій, які дозволяють отримувати корм з високим вмістом білка і збалансованим по амінокислотному стану. Прикладом такої технології може бути фракційна переробка люцерни від зеленої маси до білково-вітамінного концентрату і жому для ефективного використання ці корми потрібно консервувати. Найкращим способом консервації є сушіння, при цьому вологовміст матеріалу знижується до рівня при якому він може зберігатись тривалий час без втрати поживних якостей.

Одним з параметрів, які визначають енергетичну ефективність процесу сушіння, є рівноважний вологовміст матеріалу. Адже процес передачі теплової енергії від теплоносія до матеріалу має сенс лише до моменту досягнення рівноважного вологовмісту матеріалу. Подальша передача теплової енергії до матеріалу недоцільна, тому що не приведе до зменшення його вологовмісту.

Експериментальні дослідження по визначенню залежності рівноважного вологовмісту протеїнового концентрату і жому з люцерни від температури і відносної вологості повітря проводимо за методикою Н.Є. Пестова. Для проведення дослідів використовували ексікатори, в яких створювали потрібну вологість повітря, і поміщали наважки жому і концентрату. Для фіксації температури досліду ексікатори з герметично закритими кришками встановлювали в термостат і витримували при постійній температурі 6-8 годин. Зміну маси зразків визначали шляхом зважування. Графік зміни маси зразків від вологовмісту повітря являє собою пряму лінію, точка перетину якої з віссю вологовмісту і визначає рівноважний стан матеріалу при даних параметрах повітря.

За результатами експериментів отримані емпіричні залежності рівноважного вологовмісту протеїнового концентрату і жому з люцерни від відносної вологості і температури повітря в інтервалах 10-70% для вологості та 298-323к для температури.

Відмічено, що розміри і форми часток протеїнового концентрату суттєво не впливають на величину рівноважного вологовмісту.

Отримані результати були використані при приготуванні кормів з люцернового протеїнового концентрату і жому.

**Ключові слова:** рівноважний вологовміст, протеїновий концентрат, жом, люцерна, сушіння, температура.



**Вступ.** Основою високопродуктивного тваринництва є розвинуте кормовиробництво. Адже майже 60% затрат при виробництві продукції тваринництва і птахівництва припадає на корми. Сучасні негаразди у тваринництві знаходять своє відображення і в кормовиробництві.

За останні роки майже втричі зменшилися посівні площі кормових культур. У загальній структурі посівних площ частка кормових культур становить менше 10%. Виробництво кормів все ще залишається низькорентабельним, в багатьох господарствах рослинні корми мають низький рівень перетравного протеїну, на 1 к. од. припадає його менше 90-100 г, хоча корми, багаті протеїном, повинні мати його більше 110 г [1]. Використання природних кормових угідь в більшості господарств залишається збитковим. Збір кормів лишається на рівні 9-11 т/га зеленої маси і 1,0-1,2 т/га сіна, хоча один гектар люцерни може принести в рік 25-30 т сіна, а при інтенсивному веденні господарства урожаї можуть перевищувати і 40 т/га.

Незадовільний стан кормовиробництва не дозволяє в повній мірі розкритись потенціалу тваринництва, через це в Україні щорічно недо виробляється майже 4 млн. т молока та 0,2 млн. т м'яса. Все це зумовлює пошук шляхів підвищення продуктивності кормового поля, збільшення асортименту та якості кормів.

**Аналіз останніх публікацій.** Одним із шляхів підвищення продуктивності кормового поля є збільшення вмісту білка в кормах, а також збалансований їх амінокислотний склад. Найбільше білка міститься в листях люцерни [2,3]. Сприятливе поєднання амінокислотного складу і високої енергетичної цінності служать реальним підґрунтям для розробки технологій які дозволяють отримувати з рослинної маси білок з метою використання його на кормові і навіть харчові потреби.

Фракційна заготівля різних видів кормів може відрізнятись первинною сировиною, номенклатурою і компоновкою машин, іншими чинниками, але в основному вона включає наступні технологічні операції [4,5,6]. Спочатку йде операція подрібнення рослинної маси, потім її віджимають на фільтр-пресах. Після проведення цієї операції виходить два компоненти – зелений сік і жом. Сік, в якому залишається більшість цінних поживних речовин, спочатку коагулюють (тобто піддають тепловій обробці з метою отримання часток білка великого розміру які можуть легко випасти в осад), а потім фільтрують. Після операції фільтрування знову виходять два нові компоненти: білково-вітамінна паста і коричневий сік. Коричневий сік містить в собі дуже мало корисних речовин і його подальша

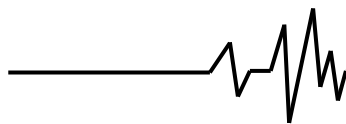
переробка недоцільна. Найбільшу цінність являє білково-вітамінна паста, яку потрібно консервувати для довготривалого зберігання і подальшого використання.

Лишається ще одна фракція корму – залишки рослинного матеріалу у вигляді жому. В сухій речовині жому міститься 12-17% білків, 3-4% сирого жиру 8-9% зольних речовин, біла 35% сирої клітковини, і він може використовуватись як корм.

Отже, в результаті фракційної переробки зеленої люцерни можна отримати два види цінного корму: білково-вітамінний (протеїновий) концентрат і жом. Для їх ефективного використання і БВК (білково-вітамінний концентрат), і жом потрібно консервувати. Найбільш поширеним способом консервації кормів є сушіння, тобто зниження вологості (вологовмісту) матеріалу до рівня при якому він може зберігатись тривалий час без погіршення своєї якості.

Сушіння є найбільш ефективним, але разом з тим, і найбільш складним для вивчення і розуміння з усіх процесів вологовіддачі. Найбільша складність для вивчення і реалізації процесу сушіння – це суміщення процесів тепло- і масопереносу. Для прикладу можна навести одне з визначень: сушіння – термічний дифузійний процес усунення вологи з твердих вологих матеріалів [7]. Сушіння потребує передачі матеріалу достатньої кількості тепла для випаровування вологи і забезпечення її дифузії зсередини матеріалу в навколишнє середовище. Обмін вологи між матеріалом і сушильним агентом залежить від співвідношення величин тиску пари у вологому матеріалі  $p_m$  наявність якого обумовлена присутністю вологи і температурного матеріалу, і парціальним тиском пари  $p_n$  в сушильному агенті. Процес сушіння буде протікати при умові  $p_m > p_n$ . Якщо  $p_m < p_n$ , то матеріал, навпаки, буде поглинати вологу. При рівновісній вологості матеріалу ( $p_m = p_n$ ) процес сушіння припиняється [8].

Протікання процесу сушіння залежить від багатьох факторів. Одним з найбільш важливих, який в значній мірі визначає якісні та кількісні показники процесу сушіння є рівноважний вологовміст матеріалу. Для розуміння цього поняття розглянемо протікання процесу сушіння в його частині що стосується обміну вологи між матеріалом та навколишнім середовищем (сушильним агентом). Обмін паром між вологим матеріалом і сушильним агентом припиняється при досягненні між ними деякої рухомої рівноваги. При цьому тиск насиченої пари над поверхнею водяної плівки в матеріалі стає рівним парціальному тиску водяної пари в сушильному агенті. Вміст вологи



в матеріалі в стані рівноваги прийме постійне значення яке і називають рівноважним вологовмістом. При рівноважному вологовмісту немає сенсу в подальшому продовженні процесу сушіння. Саме тому так важливо знати значення рівноважного вологовмісту для матеріалів які піддаються процесу сушіння.

Отже, метою роботи є визначення залежності рівноважної вологості (рівноважного вологовмісту) продуктів фракційної переробки люцерни від параметрів навколишнього середовища шляхом проведення і обробки даних експериментальних досліджень.

**Методика** Рівноважну вологість матеріалів визначають дослідним шляхом після витримки (протягом досить тривалого часу) дослідних зразків в атмосфері вологого повітря різної встановленої вологості. Результати дослідів представляють у вигляді кривих рівноважної вологості, або ізотерм сорбції вологи, тому що процес сорбції звичайно досліджується при постійній температурі.

В нашому випадку експериментальне дослідження рівноважного вологовмісту проводили за досить давньою, але актуальною і по теперішній час методикою Н.Є. Пестова [10].

В семи ексикаторах з розчином сірчаної кислоти різної концентрації створювали

відносну вологість повітря відповідно 10, 21, 37, 48, 63 і 85%. В підготовленні таким чином ексикатори поміщали наважки жому масою 20 г, а протеїнового концентрату 50 г. Початковий вологовміст зразків був вище рівноважного. Ексикатори герметично закривали кришками, встановлювали в термостат і витримували там при постійній температурі 6 - 8 годин. Кількість вологи, що видалялась зі зразків, визначалась за допомогою зважування на лабораторних вагах.

Графік зміни маси зразків від вологовмісту повітря являє собою пряму лінію, точка перетину якої з віссю вологовмісту і визначає рівноважний стан матеріалу при даних параметрах повітря.

Жом і концентрат для дослідів отримують після подрібнення зеленої маси на подрібнювачі кормів «Волгарь – 5» і віджиму на шнековому виноградному пресі Т1-ВПО-20А. Вологовміст матеріалу після віджиму становив 1,5 кг/кг. З концентрату були зроблені пелетидіаметром 2-3 мм.

**Результати досліджень.** Результати дослідів по визначенню рівноважного вологовмісту продуктів фракційної переробки люцерни (жом і концентрат) в залежності від параметрів повітря представлені в табл. 1.

Таблиця 1.

Рівноважний вологовміст жому і протеїнового концентрату

Температура повітря, К	Відносна вологість повітря, %						
	10	21	37	48	63	74	85
Протеїновий концентрат							
298	0,0270	0,0323	0,0471	0,0709	0,0907	0,1387	0,1555
308	0,0230	0,0292	0,0432	0,0719	0,0928	0,1393	0,1486
323	0,0175	0,0230	0,0362	0,0701	0,0915	0,1270	0,1571
Жом							
298	0,0525	0,059	0,078	0,141	0,208	0,320	0,430
308	0,0350	0,040	0,090	0,130	0,203	0,280	0,402
323	0,0575	0,045	0,097	0,107	0,195	0,275	0,380

В таблиці наведені дані для пелетпротеїнового концентрату з характерним розміром  $d_e = 2,0$  мм. Для пелет іншого розміру і форми значення рівноважного вологовмісту не відрізнялись більш ніж на 10%. Це показує що рівноважний вологовміст концентрату в значній мірі залежить від параметрів повітря. Причому значно більший вплив на величину рівноважного вологовмісту має відносна вологість повітря ніж його температура. Так, при постійній температурі зі зміною відносної вологості повітря від 20 до 85% величина  $W_p$  для концентрату зростає майже в 7 разів, а при

зменшенні температури повітря від 323 до 298 К при постійній відносній вологості величина  $W_p$  підвищується всього на 25%. Для жому при тих же умовах рівноважний вологовміст зростає в 7,3 рази і на 30 - 40%. На рисунках 1 і 2 наведені криві рівноважного вологовмісту протеїнового концентрату і жому при температурі 298, 308 і 323 К.

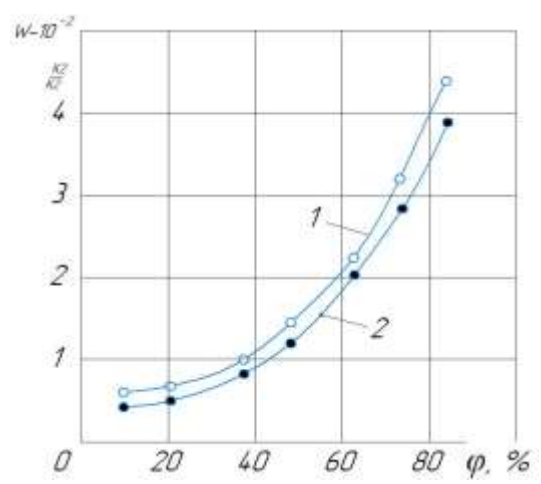
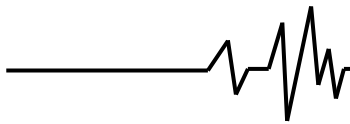


Рис.1 Криві рівноважного вологовмісту концентрату  
1 – T= 298 K, 2 – T= 308 K, 3 – T= 323 K

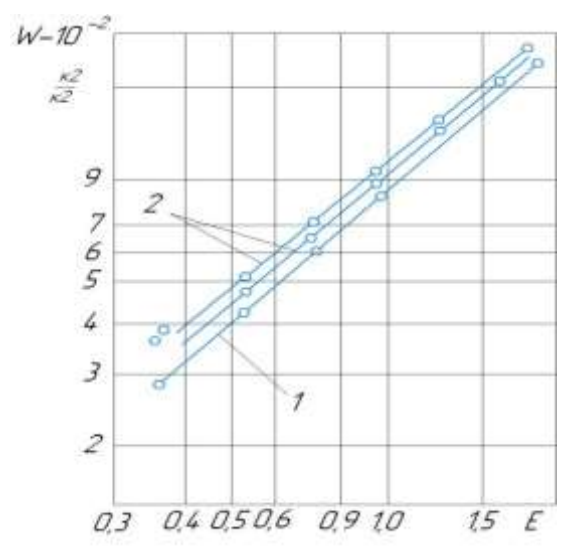


Рис. 2 Криві рівноважного вологовмісту жому  
1 – T=298 K, 2 – T= 323 K

В інтервалі температур 298 – 323 K і відносній вологості повітря 10 – 85% рівноважний вологовміст концентрату змінюється від 0,0174 кг/кг (для T= 323 і φ = 10%) до 0,1558 кг/кг (для T= 298 K і φ = 85%). Аналогічні дані отримані і для жому з люцерни. В тих же інтервалах температур і відносній вологості повітря  $W_p$  змінюється від 0,0524 до 0,430 кг/кг.

Перш за все, потрібно звернути увагу на нерівномірність зростання  $W_p$  зі збільшенням відносної вологості повітря. Так, наприклад, для протеїнового концентрату зі збільшенням φ від 20 до 80% при T= 323 K

крива рівноважного вологообміну близька до прямої лінії. Рівноважний вологовміст в цьому інтервалі змінюється від 0,0225 до 0,0825 кг/кг, тобто збільшується в 3,6 рази. Однак в інтервалі зміни φ від 60 до 85%  $W_p$  сягає величини 0,167 кг/кг, тобто збільшується більш ніж в 2 рази. Аналогічні криві отримані і для жому з люцерни. Експериментальні криві які представлені на рис. 1 і 2 описуються емпіричним рівнянням виду

$$\varphi = 100 \cdot [1 - \exp(-kTW_p^n)] \quad (1)$$

де k і n – константи, які залежать від властивостей матеріалу.

Після дворазового логарифмування рівняння (1) отримаємо вираз

$$n \lg W_p = \lg k \cdot [\ln 100 - \ln(100 - \varphi)] - \lg \square_{kT} \quad (2)$$

Рівняння (2) є рівнянням прямої лінії тангенс кута похила якої до вісі абсцис чисельно дорівнює показнику ступеня n (рис. 3).

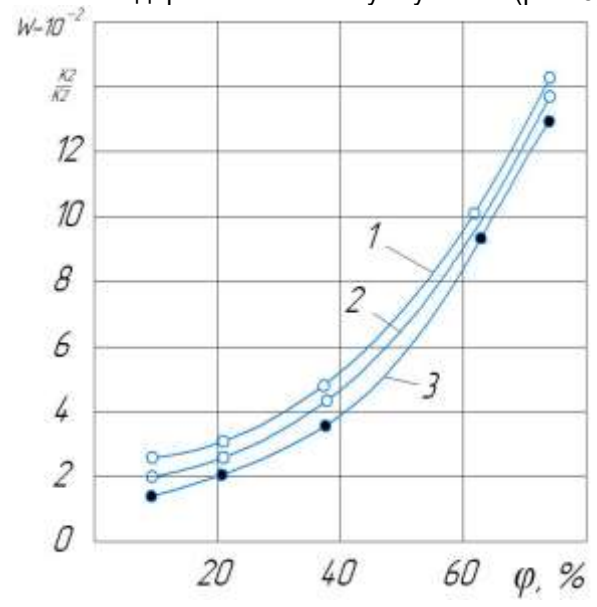


Рис. 3 Визначення коефіцієнта n  
1 – концентрат (T=323 K), 2 – жом (T= 298; 308 K)

Встановлено, що незалежно від температури і відносній вологості повітря для протеїнового концентрату n=1,06, для жому з люцерни n=0,96. Значення коефіцієнта k виявились рівними 0,04 для концентрату і 0,015 для жому.

В результаті емпіричні рівняння для визначення рівноважного вологовмісту для концентрату і жому, відповідно, будуть такі.



$$W_p^k = \left[ \frac{4,605 - \ln(100 - \varphi)}{0,04T} \right]^{1,0\epsilon} \quad (3)$$

$$W_p^{\text{ж}} = \left[ \frac{4,605 - \ln(100 - \varphi)}{0,15T} \right]^{0,9\epsilon} \quad (4)$$

Рівняння (3) і (4) дають задовільну ступінь точності ( $\pm 4,0\%$ ) порівняння експериментальних і розрахункових значень рівноважного вологовмісту в діапазоні відносної вологості повітря 10-70% і температури повітря 298-323 К. За межами цього діапазону відхилення розрахункових і експериментальних

#### Список використаних джерел

1. Петриченко В.Ф., Корнійчук О.В., Бабич А.О. та ін. Концепція розвитку кормовиробництва в Україні на період до 2025 року; Інститут кормів та с/г Поділля НААН. 2014. С. 12.
2. Ковбасюк П. Вирощування люцерни та її кормова цінність. Український журнал з питань агробізнесу «Пропозиція». 2013. №12. С. 42-45.
3. Ковбасюк П. Високопоживні багатоконпонентні однорічні травосумішки. Український журнал з питань агробізнесу «Пропозиція» 2009. №1. С. 93-95.
4. Шевченко І.А. Аналіз технологій виробництва білково-вітамінних кормових добавок. Зб. Наук. Праць ІМТ НААН «Механізація, екологізація та конвертація біосировини у тваринництві» Вип. 2(10). 2012. С. 3 – 17.
5. А.О Бабич, С.Н. Олішинський, В.А. Ясенєцький та ін. Довідник по заготівлі і зберіганню кормів К. Урожай. 1999. С. 178.
6. Дяченко Л.С. Основи технології комбікормового виробництва. Навч. посібник. Біла Церква. 2015. С. 306.
7. Владимиров А.И., Щелкунов В.А., Круглов С.А. Основные процессы и аппараты нефтегазопереработки. М. ООО «Неэра – Бизнесцентр». 2002. С. 227.
8. Айнштейн В.Г. Общий курс процессов и аппаратов химической технологии. М. Химия. 1999. С. 888.
9. Курылев Е.С., Осовский, Ю.Д., Румянцев. С.П. Холодильные установки. Политехника. 2002. С. 576.
10. Пономарев С.В. Мищенко С.В. Дивин А.Г. Теоретические и практические аспекты теплотехнических измерений. Монография. Кн. 2. Томбов. Из-во ТГТУ. 2006. С. 216.

значень стає більшим (до 16%). Але саме вказані діапазони відносної вологості і температури повітря є раціональними для проведення процесу сушіння.

#### Висновки:

1. Розміри і форми часток протеїнового концентрату суттєво не впливають на величину рівноважного вологовмісту.
2. Отримані емпіричні рівняння для визначення рівноважного вологовмісту протеїнового концентрату і жому з люцерни в діапазоні зміни відносної вологості повітря 10 – 70% і його температури 298 – 323 К.

#### Список джерел у транслітерації

1. Petrychenko V.F., Korniychuk O.V., Babych A.O. ta in. Kontseptsiya rozvytku kormovyrobnytstva v Ukraini na period do 2025 roku. [The concept of development of feed production in Ukraine for the period up to 2025] Instytut kormiv ta s/h Podillya NAAN. 12 p[in Ukrainian].
2. Kovbasyuk P. (2013) Vyroshchuvannya lyutserny ta yiyi kormova tsinnist'. [Growing alfalfa and its fodder value] Ukrayins'kyy zhurnal z pytan' ahrobiznesu «Propozytsiya». № 12. 42-45 p. [in Ukrainian].
3. Kovbasyuk P. (2009) Vysokopozhyvni bahatokomponentni odnorichni travosumishky. [High-nutrient multicomponent annual mixtures] Ukrayins'kyy zhurnal z pytan' ahrobiznesu «Propozytsiya» №1. 93-95 p. [in Ukrainian].
4. Shevchenko I.A. (2012) Analiz tekhnolohiy vyrobnytstva bilkovo-vitaminnykh kormovykh dobavok/ [Analysis of technologies of production of protein-vitamin feed additives]. Zb. Nauk. Prats' IMT NAAN «Mekhanizatsiya, ekolohizatsiya ta konvertatsiya biosyrovyny u tvarynnystvvi» Vyp. 2(10). 3 – 17p. [in Ukrainian].
5. A.O Babych, S.N. Olishyns'kyy, V.A. Yasenets'kyy ta in.(1999) Dovidnyk po zahotivli i zberihannnyu kormiv [Guide to the harvesting and storage of feed] K. Urozhay. 178 p. [in Ukrainian].
6. Dyachenko L.S. (2015)Osnovy tekhnolohiyi kombikormovoho vyrobnytstva.[ Fundamentals of feed technology] Navch. posibnyk. Bila Tserkva. 306p. [in Ukrainian].
7. Vladimirov A.I., Shchelkunov V.A., Kругlov S.A. (2002)Osnovnyye protsessy i apparaty neftegazopererabotki [The main processes and apparatuses for oil and gas processing] . M. ООО «Neera – Biznestsentr». 227p. [in Russian].
8. Aynshteyn V.G. (1999)Obshchiy kurs protsessov i apparatov khimicheskoy tekhnologii.[ General course of processes and apparatuses of chemical technology] M. Khimiya. 888p. [in Russian].



9. Kurylev Ye.S., Osovskiy, Y.D., Rumyantsev. S.P.(2002) Kholodil'nyye ustanovki.[ Refrigeration units] Politekhnik. 576p. [in Russian].

10. Ponomarev S.V. Mishchenko S.V. Divin A.G. (2006) Teoreticheskiye i prakticheskiye aspekty teplofizicheskikh izmereniy.[ Theoretical and practical aspects of thermophysical measurements] Monografiya. Kn. 2. Tombov. Iz-vo TGTU. 216p. [in Russian].

### РАВНОВЕСНОЕ ВЛАГОСОДЕРЖАНИЕ ПРОДУКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ ЛЮЦЕРНЫ

Одной из причин торможения развития животноводства в Украине является неудовлетворительное состояние производства кормов. В большинстве хозяйств производство кормов остается низкорентабельным, содержание протеина в кормах значительно менее 110 г на 1 к.ед., как это требуется агрозоотребованиям.

Одним из путей повышения продуктивности кормопроизводства является внедрение новых технологий, которые позволяют получать корм с высоким содержанием белка и сбалансированным по аминокислотному состоянию. Примером такой технологии может быть фракционная переработка люцерны от зеленой массы к белково-витаминного концентрата и жома для эффективного использования эти корма нужно консервировать. Лучшим способом консервирования является сушка, при этом влагосодержание материала снижается до уровня при котором он может храниться долгое время без потери питательных качеств.

Одним из параметров, определяющих энергетическую эффективность процесса сушки, является равновесное влагосодержание материала. Ведь процесс передачи тепловой энергии от теплоносителя к материалу имеет смысл лишь до момента достижения равновесного влагосодержания материала. Дальнейшая передача тепловой энергии к материалу нецелесообразна, потому что не приведет к уменьшению его влагосодержания.

Экспериментальные исследования по определению зависимости равновесного влагосодержания протеинового концентрата и жома из люцерны от температуры и относительной влажности воздуха проводим по методике Н.Е. Пестова. Для проведения опытов использовали эксикаторы, в которых создавали нужную влажность воздуха, и помещали навески жома и концентрата. Для фиксации температуры опыта эксикаторы с герметично закрытыми крышками устанавливали в термостат и выдерживали при постоянной температуре 6-8 часов. Изменение

массы образцов определяли путем взвешивания. График изменения массы образцов от влагосодержания воздуха представляет собой прямую линию, точка пересечения которой с осью влагосодержания и определяет равновесное состояние материала при данных параметрах воздуха.

По результатам экспериментов получены эмпирические зависимости равновесного влагосодержания протеинового концентрата и жома из люцерны от относительной влажности и температуры воздуха в интервалах 10-70% для влажности и 298-323к для температуры.

Отмечено, что размеры и формы частиц протеинового концентрата существенно не влияют на величину равновесного влагосодержания.

Полученные результаты были использованы при приготовлении кормов из люцернового протеинового концентрата и жома.

**Ключевые слова:** равновесное влагосодержание, протеиновый концентрат, жом, люцерна, сушки, температура.

### THE EQUILIBRIUM MOISTURE CONTENT OF PRODUCTS OF PROCESSING ALFALFA

One of the reasons braking the development of animal husbandry in Ukraine is the poor state of feed production. In most farms feed production remains marginally profitable, the protein content in the feed is significantly less than 110 g per 1 fodder units, as required by agrozootechnical.

One of the ways of increasing the productivity of forage production is the introduction of new technologies that allow you to obtain food with high protein content and balanced amino acid condition. An example of this technology can be fractional processing from alfalfa green mass to a protein-vitamin concentrate and pulp for the efficient use of these forages need to preserve. The best method of preservation is drying, the moisture content is reduced to the level at which it can be stored for a long time without losing the nutritional qualities.

One of the parameters that determine the energy efficiency of the drying process is the equilibrium moisture content of the material. Because the process of transferring thermal energy from the coolant to the material makes sense only until the equilibrium moisture content of the material. Further transfer of thermal energy to material that is inappropriate, because it does not reduce its moisture content.

Experimental studies on the estimation of the equilibrium moisture content of the protein concentrate and pulp from alfalfa on the



temperature and the relative humidity is done according to the method N. E. Pestova. For conducting experiments used desiccators, which created the desired humidity level, and put the hanging of the pulp and concentrate. For fixing the temperature experience desiccators with tightly closed lids was mounted in a thermostat and kept at a constant temperature 6-8 hours. The change in mass of the samples was determined by weighing. Schedule weight change of the samples from the moisture content of the air is a straight line, the intersection of which with the axis of moisture content and defines the equilibrium state of the material under the given parameters of air.

From the experimental results, the empirical dependence of the equilibrium moisture

content of the protein concentrate and pulp from alfalfa from relative humidity and air temperature in the range 10-70% for humidity and 298-323k temperature.

It is noted that the size and shape of particles of the protein concentrate did not significantly influence the magnitude of the equilibrium moisture content.

The results were used in the preparation of animal feed from alfalfa protein concentrate and press cake.

**Key words:** *equilibrium moisture content, protein concentrate, sugar beet pulp, alfalfa, drying temperature.*

#### **Відомості про авторів**

**Твердохліб Ігор Вікторович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри загальнотехнічних дисциплін та охорони праці Вінницького національного аграрного університету: м. Вінниця, вул. Сонячна 3, ВНАУ, 21008, e-mail: [igor\\_tverdokhlib@yahoo.com](mailto:igor_tverdokhlib@yahoo.com).

**Спирін Анатолій Володимирович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри загальнотехнічних дисциплін та охорони праці Вінницького національного аграрного університету: м. Вінниця, вул. Сонячна 3, ВНАУ, 21008, e-mail: [spirinanatoly16@gmail.com](mailto:spirinanatoly16@gmail.com).

**Твердохлеб Игорь Викторович** – кандидат технических наук, доцент кафедры общетехнических дисциплин и охраны труда Винницкого национального аграрного университета: г. Винница, ул. Солнечная 3, ВНАУ, 21008, e-mail: [igor\\_tverdokhlib@yahoo.com](mailto:igor_tverdokhlib@yahoo.com).

**Спирин Анатолий Владимирович** - кандидат технических наук, доцент кафедры общетехнических дисциплин и охраны труда Винницкого национального аграрного университета: г. Винница, ул. Солнечная 3, ВНАУ, 21008, e-mail: [spirinanatoly16@gmail.com](mailto:spirinanatoly16@gmail.com).

**Tverdokhlib Igor** – candidate of technical sciences, associate professor of the department of general technical disciplines and occupational safety, Vinnytsia National Agrarian University: Vinnytsia, st. Sonyachna 3, VNAU, 21008, e-mail: [igor\\_tverdokhlib@yahoo.com](mailto:igor_tverdokhlib@yahoo.com).

**Spirin Anatoly** - candidate of technical sciences, associate professor of the department of general technical disciplines and occupational safety, Vinnytsia National Agrarian University: Vinnytsia, st. Sonyachna 3, VNAU, 21008, e-mail: [spirinanatoly16@gmail.com](mailto:spirinanatoly16@gmail.com).