

Опади і вологість розстеленої в стрічку льоносоломи при готуванні трести росяним мочінням

З'ясовано зв'язок між абсолютною і відносною вологістю льоносоломи і досліджено її зволоження в розстелених стрічках атмосферними опадами. Проаналізовано швидкість просихання соломи в стрічках різної щільності і висвітлено вплив добової кількості опадів на вологість соломи під час готування льонотрести росяним мочінням.

Ключові слова: рошенцева льонотреста, солома, стрічка, щільність, зволоження, просихання, опади, кількість.

Суть проблеми. За комбайнового збирання льону-довгунця тресту переважно готують на льонищі методом росяного мочіння соломи. Готування рошенцевої трести відбувається за рахунок мікроорганізмів, умовою життєдіяльності яких є температура і вологість середовища та сонячне світло. Дослідженнями поставлено на мету з'ясувати деякі з питань оцінювання вологості стебел в розстелених стрічках соломи, що є одним із складових елементів проблеми енергозбереження під час виробництва волокнистої складової урожаю льону-довгунця.

Аналіз останніх досліджень та повідомлень. Одним із чинників зволоження соломи під час готування трести росяним мочінням є атмосферні опади. Й.Й. Піуновський і його співавтори [1] для визначення зміни вологості льоносоломи залежно від кількості опадів досліджували водопоглинальну здатність соломи. З'ясовано, що при намоканні у воді найбільше зростає вологість стебел у перші 4-5 год. У подальшому підвищення вологості уповільнюється, через деякий час поглинання води припиняється і вологість залишається незмінною. Швидкість сушіння стебел соломи з підвищенням щільності стрічок зменшується за лінійною залежністю і становить за щільності 600, 1800 і 4300 шт./м за відносної вологості відповідно 18, 16 і 12%/день. Проте у більш вологу і прохолодну погоду швидкість сушіння дещо вища та із збільшенням щільності стрічок зменшується інтенсивніше і за щільності 1200, 1800, 2800 і 4800 шт./м становить відповідно 23, 19, 18 і 12%/день. Залежно від кількості опадів вологість товстіших стрічок вища і після дощів стебла швидше просихають в тонких стрічках, а в товстих зі щільністю понад 2000 стебел на погонному метрі просихають повільніше. В стрічках зі щільністю більш 1500 шт./м льон просихає нерівномірно по товщині.

За А.А. Ярошевичем [2], видалення атмосферної вологи із соломи в стрічках відбувається дещо швидше з порівнянні з біологічною, а Т.П. Галімський [3] писав, що процес сушіння соломи залежить як від переміщення вологи з внутрішніх шарів стебел до поверхні, так і надходження її з поверхні в навколишнє повітря.

Н.Г. Коренський [4] вказував, що процес мацерації свіжовибраного льону складається в основному з двох етапів. Перший – це сушіння і відмирання стебел, що являє собою підготовчий етап, для належного перебігу якого необхідна суха погода. Другий етап – це власне сам процес мацерації (розм'якшення стебел соло-

ми внаслідок просочування їх водою), для здійснення якого бажані сприятливі умови за вологістю і температурою. Щодо першого етапу, то деякі елементи його протікання висвітлені в літературі.

За спостереженнями А.А. Ярошевича [2] найбільш інтенсивно стебла сохнуть в тонких стрічках і повільніше – в товстих. Швидкість сушіння стебел в стрічках щільністю 1500-1800 шт./м в погожі дні за відносної вологості сягає 18-20%/день, а зі щільністю 2000-2500 шт./м – 15%/день.

З відповідних графіків Т.П. Галімського [3] визначено, що абсолютна вологість свіжорозстелених стебел в стрічки щільністю 1400 і 3500 шт./м становила орієнтовно 160%, а на третій день вологість була близько 20% і залишалася незмінною до дев'ятого дня. Отже, за цими даними інтенсивність зменшення вологості становить 46,7%/день.

В.М. Климчук і І.І. Дністряк [5] тресту з початковою абсолютною вологістю 17% замочували у воді до вологості 200-250% і формували стрічки зі щільністю 1,2 кг/м, 2,4 і 3,6 кг/м та в польових умовах досліджували динаміку сушіння трести. В стрічках зі щільністю 1,2 кг/м треста досягає вологості 19% через 45 год, зі щільністю 2,4 кг/м для досягнення такої вологості потрібно було понад 53 год, а в стрічках зі щільністю 3,6 кг/м через 53 год вологість знижувалася лише до 57%. За дослідженнями [5] при сушінні трести до набуття рівноважної вологості характерні три періоди. Впродовж першого періоду тривалістю до 5 год випаровується вільна волога. Для цього періоду характерна постійна швидкість сушіння. З використанням даних [5] розраховано, що інтенсивність зменшення вологості в цей період залежно від щільності розстеленої трести коливається в межах 13-33 %/год. Із збільшенням щільності стрічки від 1,2 до 3,6 кг/м інтенсивність зменшення вологості трести уповільнюється.

За дослідженнями В.І. Сизова [6], при випаданні орієнтовно 19,2 мм опадів зовнішній шар стебел трести в шатрах зволожувався до абсолютної вологості 229,7%, а при випаданні 7 мм опадів треста зволожувалася до 127% і шатри просихали впродовж 5-10 год після припинення дощу.

За даними М.Н. Бикова [7], вибрані і обчислені комбайном стебла в стрічці просихають впродовж 3-6 днів. Визначено зволоження опадами комбайнової стрічки соломи із щільністю 2090 стебел на 1 м довжини стрічки. Кількість опадів не вказана, але зазначено,

що абсолютна вологість верхніх і нижніх стебел соломи в стрічці становила відповідно 117,34 і 222,40%. У праці [7] є інформація щодо зволоження трести опадами, але знову ж таки без вказівки їх кількості. У цій же статті є інформація і щодо швидкості зниження вологості стебел соломи і трести в стрічках. Вдруге визначення вологості здійснено через 2 год, 3 год і 15 хв, 3 год і 30 хв та 5 год і 20 хв. При цьому швидкість зниження вологості коливалася в межах 3,1-19,7%/год.

Отже, оцінюючи зволоження льоносировини атмосферними опадами дослідники визначали відносну і абсолютну вологість стебел. За спостереженнями, наприклад, А.П. Андрішюнаса, Т.П. Галімського, П.К. Гудяліса, З.А. Іонушаса, Л.М. Клятїса, В.М. Любарського та ін. відносна вологість свіжовибраних і розстелених стебел соломи при збиранні льону-довгунця у фазі ранньої жовтої стиглості коливається в межах 45-68%. За даними І.П. Карпця [8], абсолютна вологість стебел залежно від фаз стиглості льону-довгунця змінюється від 34,5% (повна стиглість) до 175,8% (зелена), а за інформацією М.М. Боярченкової [9] – в негоді абсолютна вологість стебел в стрічці сягає 100-190%. Тривалість сушіння стебел в стрічці коливається від 1 до 8 днів залежно від погодних умов початкового періоду готування трести росяним мочінням. Під дією атмосферних опадів солома і треста льону-довгунця зволожуються до абсолютної вологості 222,4 і 229,7%. Після дощів стебла швидше просихають в тонких стрічках, а повільніше в стрічках зі щільністю понад 2000 стебел на 1 погонний метр. Швидкість (інтенсивність) зниження відносної вологості соломи коливається в межах 3,1-23%/год.

Мета дослідження полягає у з'ясуванні впливу добової кількості атмосферних опадів на зволоження соломи в розстелених стеблах льону-довгунця під час готування рошенцевої льонотрести. **Завдання дослідження:** 1) вивчити зв'язок абсолютної і відносної вологості розстеленої в стрічку соломи при її росяному мочінні; 2) дослідити зміну відносної вологості соломи й інтенсивності її зниження в нижньому шарі розстелених стрічок залежно від їх щільності та з урахуванням добової кількості опадів; 3) проаналізувати зміну абсолютної вологості верхнього шару розстелених стрічок соломи залежно від добової кількості опадів; 4) оцінити статистичний розподіл добової кількості опадів в календарний період брання льону-довгунця і готування трести росяним мочінням в Поліссі України.

Об'єкт і методика дослідження.

Об'єктом дослідження був технологічний процес готування рошенцевої трести за комбайнового збирання льону-довгунця з оцінюванням зволоження соломи в розстелених стрічках під дією атмосферних опадів. Стрічки зі щільністю розстелених стебел в межах 500-4000 шт./м формували з використанням виробничих стрічок, що утворені льонозбиральним комбайном ЛК-4Т, і розстеляли вручну на полі в с. Грозіно Коростенського району Житомирської області. Під стрічками був трав'яний покрив зі

щільністю в середньому 967 г/м² за вологості трави 67,9%. Термоваговим методом визначали абсолютну і відносну вологість соломи в нижніх і верхньому шарі розстелених стрічок. При оцінюванні зволоження стебел атмосферними опадами враховували напрацювання П.Н. Федосеева [10]. Інформацію щодо добової кількості опадів та погодинний їх розподіл впродовж доби вибирали з даних їх обліку Коростенською метеостанцією. Обробка зібраних даних здійснена з використанням методів теорії ймовірностей і математичної статистики [11, 12] та стандартних комп'ютерних програм.

Результати досліджень. В статистичних дослідженнях з визначення зміни абсолютної вологості соломи льону-довгунця в залежності від вологості відносної використано експериментальні дані з оцінювання зволоження льоносировини під дією атмосферних опадів та інших чинників впродовж 1971-1975 рр. під час готування трести росяним мочінням. В цих дослідженнях факторіальною ознакою була відносна вологість соломи, а результативною – абсолютна. Двомірний варіаційний ряд щодо з'ясування зв'язку між абсолютною і відотною вологістю соломи включав 755 пар досліджуваних ознак. Розмах варіювання відносної вологості соломи становив 4-68,6%, а абсолютної – 4,1-220,2%. На підставі побудови й аналізу кореляційних таблиць визначали середні групові значення факторіальної ознаки та відповідні їм середньозважені значення результативної ознаки (див. рис. 1).

На рис. 1, а зроблена спроба згруповані експериментальні дані їх вирівняти за прямолінійною та деякими криволінійними залежностями. Ступінь наближення апроксимуючих залежностей до експериментальних даних оцінювали з використанням R^2 -коефіцієнта. У разі вирівнювання за прямолінійною залежністю $W_{ac} = 2,866 W_{bc} - 28,073$ R^2 -коефіцієнт дорівнював 0,931. Проте краще наближення до експериментальних даних забезпечувало вирівнювання за експоненціальною ($R^2 = 0,967$) та степеневою ($R^2 = 0,981$) функціями, графічне зображення яких наведено на рис. 1, а. З рисунка видно, що із збільшенням відносної вологості понад 50% вітки апроксимуючих кривих дещо відхиляються від експериментальних даних.

Подальший аналіз вказав на доцільність апроксимації експериментальних даних двома відрізками (рис. 1, б), з яких перший (позиція «3») графічно опи-

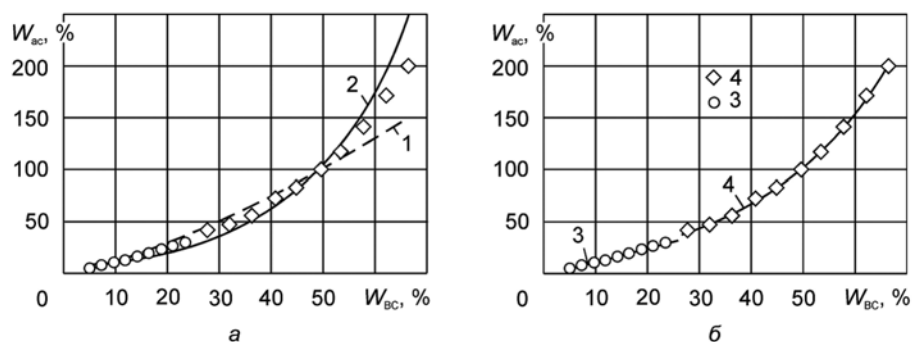


Рис. 1 – Статистичний зв'язок між абсолютною W_{ac} і відотною W_{bc} вологістю соломи в розстелених стрічках: 1 – графічний опис зміни за степеневою залежністю; 2 – те саме за експоненціальною залежністю; 3 – при зміні W_{bc} в межах 4-24,6%; 4 – при зміні W_{bc} в межах 23,5-68,6%

сує зміну абсолютної вологості соломи залежно від відносної в межах її зміни від 4 до 24,6%). Другий відрізок (позиція «4») графічно визначає зростання W_{ac} залежно від W_{bc} при зміні останньої в межах 23,5...68,6%. У разі апроксимації зміни W_{ac} залежно від W_{bc} прямою ($R^2 = 0,996$) при збільшенні відносної вологості від 4 до 24,6% абсолютна вологість зростає на 1,32% на кожен відсоток збільшення відносної вологості. При зміні відносної вологості соломи в межах 23,5...68,6% та апроксимації зміни абсолютної вологості за рівнянням прямої ($R^2 = 0,956$) збільшення відносної вологості на 1% викликає зростання абсолютної на 4,02%. Проте більш точно зміну абсолютної вологості залежно від збільшення відносної на першому відрізку доцільно описати рівнянням степеневі функції ($R^2 = 0,997$), а на другому – експоненціальної ($R^2 = 0,998$):

$$W_{ac} = \begin{cases} 0,948 W_{bc}^{1,086}, & \text{якщо } W_{bc} = 4 \dots 24,6\%, \\ 13,0456 \exp(0,0412 W_{bc}), & \text{якщо } W_{bc} = 23,5 \dots 68,6\%. \end{cases} \quad (1)$$

Зволоження соломи в розстелених стрічках під дією атмосферних опадів та характер зменшення вологості за інтенсивністю її зниження залежно від щільності розстелених стрічок наведені на рис. 2. Значення вологості соломи та інтенсивності її зниження, що відкладені по осі ординат на рис. 2 і відповідають абсцисі $n_{cm} = 500$ шт./м, характеризують середню вологість стебел у верхньому шарі всіх розстелених стрічок незалежно від їх щільності. Значення відповідних ординат на рис. 2, що відповідають $n_{cm} = 1000 \dots 4000$ шт./м, характеризують зміну вологості соломи в нижніх шарах розстелених стрічок.

На рис. 2, а вологість, що позначена кривою «1», визначена 15.08.1973 р. впродовж часу від 16 год 10 хв до 16 год 45 хв. Крива «2» характеризує вологість соломи під дією атмосферних опадів 16.08.1973 р., коли від 3 год і 48 хв до 5 год 12 хв випало 0,4 мм дощу, а потім від 14 год і 36 хв до 15 год і 18 хв ще 2,5 мм і після дощу стало сонячно та були взяті проби соломи для визначення її вологості. Крива «3» характеризує вологість соломи, проби для визначення якої були взяті 17.08.1973 р. впродовж часу від 15 год і 30 хв до

15 год 45 хв. За різницею вологостей, що описані кривими 2 і 3, та тривалістю підсушування соломи (близько 20 год) визначена швидкість (інтенсивність) зниження вологості соломи $I_{зв}$, яка показана у вигляді кривої «4» на рис. 2, а.

На рис. 2, б вологість, що позначена кривою «1», визначена 18.08.1973 р. впродовж часу від 15 год 30 хв до 16⁰⁰. 20 серпня 1973 р. від 15 год 48 хв до 19 год 36 хв випало 9,3 мм опадів. Потім вночі від 23 год 18 хв впродовж 48 хв випало 0,5 мм дощу. Проби для визначення зволоження соломи були взяті 21.08.1973 р. впродовж часу від 7 год 50 хв до 8 год 30 хв. Зміна вологості соломи під дією вказаної кількості дощу у вигляді кривої «2» наведена на рис. 2, б. 21 серпня 1973 р. впродовж часу від 16 год 15 хв до 17.00 були взяті проби для визначення вологості соломи, яка характеризувала б динаміку її сушіння після зволоження відповідною кількістю дощу через орієнтовно 9 год. Зміна цієї вологості у вигляді кривої «3» показана на рис. 2, б. Потім визначили швидкість (інтенсивність) сушіння соломи (зниження вологості) після її зволоження атмосферними опадами з кількістю 9,8 мм. Ця інтенсивність $I_{зв}$ у вигляді кривої «4» наведена на рис. 2, б.

Перед випаданням дощу з кількістю 2,9 мм (рис. 2, а) відносна вологість соломи верхнього шару розстелених стрічок становила 6,4%, а в нижньому шарі у міру збільшення щільності розстелених стрічок дещо зростає і за щільності 4000 стебел на 1 погонному метрі становила 8,1%. Зміну відносної вологості соломи у зазначених шарах розстелених стрічок залежно від їх щільності можна описати рівнянням степеневі функції:

$$W_{bc} = 3,148 \cdot n_{cm}^{0,118} \quad \text{при } R^2 = 0,637, \quad (2)$$

за яким побудована крива «1», що наведена на рис. 2, а.

Після зволоження опадами з кількістю 2,9 мм відносна вологість соломи верхнього шару стрічок становила 47,8%. Нижній шар стрічок був зволожений менше і, наприклад, відносна вологість соломи в нижньому шарі стрічки щільністю 4000 шт./м становила 22,2%. Зміну відносної вологості соломи після зволоження під дією опадів у нижніх шарах стрічок залежно від їх щільності можна подати степеневі функцією з від'ємним показником степеня щільності стрічок:

$$W_{bc} = 445,69695 \cdot n_{cm}^{-0,3562} \quad \text{при } R^2 = 0,696. \quad (3)$$

Крива, що побудована за рівнянням (3), на рис. 2, а зображена суцільною лінією під номером «2». Пунктирна крива «2» характеризує опис зміни W_{bc} залежно від n_{cm} логарифмічною кривою $W_{bc} = 122,6 - 12,00 \ln n_{cm}$, ступінь наближення якої до експериментальних даних оцінюється R^2 -коефіцієнтом, що дорівнює 0,767.

Після підсихання соломи в стрічках відносна вологість стебел знизилася з урахуванням щільності стрічок в межах 6,5-10,1%. При цьому характер зміни цієї вологості залежно від щільності розстелених стрічок допустимо описати рівнянням степеневі функції вигляду:

$$W_{bc} = 1,699 \cdot n_{cm}^{0,215} \quad \text{при } R^2 = 0,952. \quad (4)$$

За рівнянням (4) побудована крива 3, що наведена на рис. 2, а.

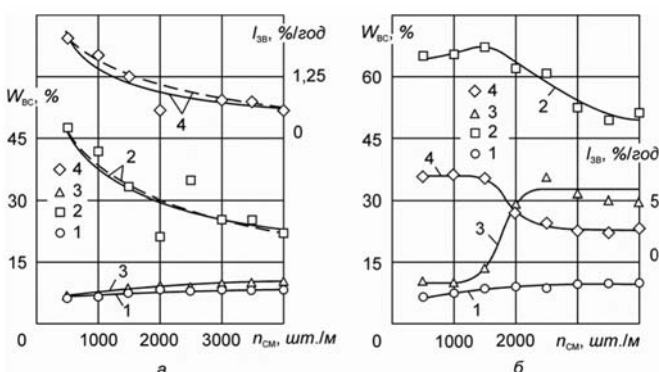


Рис. 2 – Відносна вологість соломи W_{bc} і інтенсивність її зниження $I_{зв}$ з урахуванням добової кількості опадів (а – 2,9 мм; б – 9,8 мм) залежно від щільності стрічок розстелених стебел n_{cm} : 1 – до зволоження; 2 – після зволоження; 3 – після усихання; 4 – інтенсивність (швидкість) зниження вологості соломи $I_{зв}$

Інтенсивність зниження вологості соломи у верхніх шарах розстелених стрічок через 20 год від їх зволоження опадами з кількістю 2,9 мм становила 2,06%/год. Досліджуваний показник, що характеризував просушувальність соломи в нижніх шарах розстелених стрічок, із збільшенням щільності останніх зменшувався. Наприклад, інтенсивність зниження вологості соломи в нижньому шарі стрічок зі щільністю 3500 і 4000 стебел на одному погонному метрі становила відповідно 0,77 і 0,60%/год. Вирівнювання експериментальних значень інтенсивності зниження вологості соломи за прямою з від'ємним кутовим коефіцієнтом, експоненціальною та логарифмічною і степеневою функціями показало краще наближення експериментальних даних до логарифмічної кривої вигляду:

$$I_{зв} = 6,349 - 0,69 \cdot \ln n_{см} \quad \text{при } R^2 = 0,797. \quad (5)$$

У разі вирівнювання за степеневою кривою вигляду

$$I_{зв} = 72,84518 \cdot n_{см}^{-0,5642} \quad (6)$$

R^2 -коефіцієнт дорівнював 0,700.

Криві, що побудовані за залежностями (5) і (6), наведені на рис. 2, а відповідно пунктирною і суцільною лініями.

Дещо інакше проходило зволоження і просушування соломи в стрічках різної щільності у випадку випадання дощу з кількістю 9,8 мм (рис. 2, б). Переддощова вологість соломи в стрічках характеризується кривою 1, яка ідентична відповідному оцінному стану вологості соломи, що описується кривою 1, зображеною на рис. 2, а. Характер зміни вологості соломи після дощу в стрічках різної щільності описаний кривою 2 на рис. 2, б. Дещо меншу вологість соломи у верхньому шарі розстелених стрічок, що дорівнює 65%, можна пояснити «обтіканням води з поверхні стебел» [5]. Найбільша відносна вологість, що становить 67,2%, зафіксована в нижньому шарі стрічки зі щільністю 1500 стебел на 1 погонному метрі. З подальшим збільшенням щільності стрічок зволоження нижніх шарів соломи в них уповільнюється і становить, наприклад, в стрічках зі щільністю 3000 і 4000 шт./м відповідно 52,5 і 51,6%. Математично зміну вологості соломи в нижніх шарах стрічок при збільшенні їх щільності від 1000 до 4000 стебел в розрахунку на 1 погонний метр можна подати рівнянням степеневої функції

$$W_{вс} = 689,3430 \cdot n_{см}^{-0,3170} \quad \text{при } R^2 = 0,898. \quad (7)$$

Дещо кращим було б вирівнювання експериментальних даних відносної вологості логарифмічною функцією

$$W_{вс} = 201,991 - 18,3932 \cdot \ln n_{см}, \quad (8)$$

за якого $R^2 = 0,909$.

Характер зміни вологості соломи в розстелених стрічках залежно від їх щільності після просушування впродовж дев'яти годин зображений у вигляді кривої 3 на рис. 2, б. В стрічках зі щільністю 500, 1000 і 1500 стебел на 1 погонний метр за вказаний час вологість соломи знизилася на 54,1-55,2%. В стрічці зі щільністю 2000 шт./м вологість знизилася на 33,4%, а зі щільністю 3500 стебел – на 19,8%. З рис. 2, б видно,

що зміна вологості соломи в стрічках залежно від їх щільності за вказаний інтервал часу просушування відбувається за S-подібною кривою, що має спрямлені кінці, які наближено паралельні до осі абсцис. Інтенсивність зниження вологості ізв (крива 4) описується залежністю, що обернена S-подібній кривій, точка симетрії якої по осі абсцис орієнтовно припадає на щільність стрічки, що дорівнює 2000 стебел на 1 погонний метр. Інтенсивність зниження вологості в стрічках щільністю 500-1500 стебел знаходиться в межах 7%/год. З підвищенням щільності до 2000 стебел інтенсивність зниження вологості зменшується до 4%/год, а з наступним підвищенням щільності до 3000...4000 стебел зменшується до 2,5%/год.

22 серпня 1973 р. від 1-ї до 6-ї години випало 1,7 мм дощу. О 7 год 10 хв з'явилось сонце, хмари розійшлися і був сонячний день. 23 і 24 серпня були сонячні дні. 24 серпня впродовж від 16 год 25 хв до 17 год 10 хв були взяті проби на вологість соломи, яка залежно від щільності розстелених стрічок коливалася в межах 6,6-8,9%.

На рис. 3 наведена абсолютна вологість соломи і трести, що характеризує зволоження

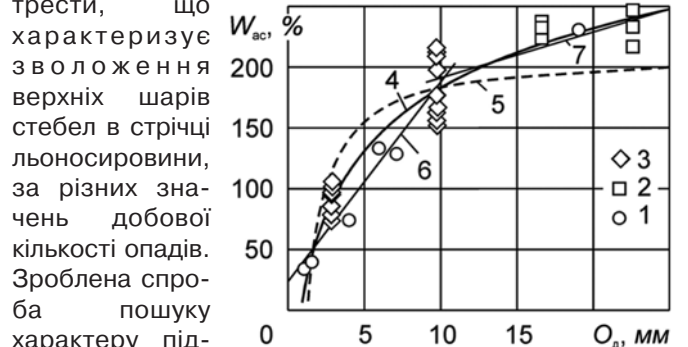


Рис. 3 – Зволоження соломи льондовгунця (її абсолютна вологість $W_{ас1}$) при готуванні трести росіяним мочінням залежно від добової кількості опадів $O_{д}$: 1 – за даними В.І. Сизова (зовнішній шар стебел в шатрах при товщині їх стінок, що відповідає 5-6 кг трести на 1 м за стандартної її вологості 25%) [6]; 2 – дані автора (1971 р.); 3 – те саме (1973 р.) [верхні шари розстелених стрічок соломи за їх щільності 500-4000 шт./м]; 4 – крива степеневої залежності; 5 – гіперболічна крива; 6 і 7 – відрізки кусково-лінійної апроксимації зміни абсолютної вологості льоносолами залежно від добової кількості опадів

($R^2=0,798$), експоненціальної ($R^2 = 0,673$), гіперболічної ($R^2 = 0,692$), логарифмічної ($R^2 = 0,909$) та степеневої ($R^2 = 0,912$) функцій. З рівняння прямої лінійної зміни абсолютної вологості соломи залежно від добової кількості опадів за кутовим коефіцієнтом з'ясовано, що з підвищенням добової кількості на 1 мм вологість соломи зростає на 8,7%. З рівняння гіперболічної зміни абсолютної вологості соломи залежно від добової кількості опадів випливає, що зволоження соломи з підвищенням добової кількості опадів сягає свого асимптотичного значення, яке становить 209%.

Продовження статті в наступному номері.