

УДК 631.353

ОБҐРУНТУВАННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ ГРАБЛІВ - ВОРУШИЛОК З ВІДЦЕНТРОВИМИ РОБОЧИМИ ОРГАНАМИ

Кондратюк Д. Г

Григоришен В. М

Дмитренко В. П

Вінницький національний аграрний університет

Kondratiuk D.

Hryhoryshen V.

Dmitrenco V.

Vinnitsia National Agrarian University

Анотація: основний недолік граблів-ворушилок з відцентровими робочими органами – значне оббивання листків і суцвіть в процесі ворущіння або згрібання прив'ялених рослин конюшини лучної. З метою визначення раціональних режимів роботи зазначених машин проведені дослідження з використанням методу планування багатofакторних експериментів.

Встановлено, що при ворущінні або згрібанні конюшини лучної колова швидкість робочих органів не повинна перевищувати 7,4 м/с, якщо вологість трави становить 60...50 % і 6 м/с при вологості 40...30 %. Поступальна швидкість граблів-ворушилок може бути більшою 1,3, але меншою 4 м/с, якщо вологість конюшини рівна 60...50 % і не повинна перевищувати 2,3 м/с при вологості 40 % та - 1,15 м/с при вологості 30 %.

Ключові слова: конюшина лучна, ворущіння, згрібання, листки, суцвіття, оббивання.

Проблема

Серед машин, призначених для ворущіння та згрібання скошених трав, особливе місце займають граблі-ворушилки з відцентровими граблями. Ротори цих машин виконані у вигляді коліс, на трубчатому ободі яких встановлені граблини (подвійні пружинні зуби). При нерухомому роторі вони знаходяться у вертикальному положенні, а при обертанні ротора, під дією відцентрової сили, переводяться в робоче. Звідки і назва граблі – ворушилки з відцентровими граблями. Ці машини за конструктивним виконанням найпростіші, мають в порівнянні з іншими типами граблів-ворушилок найнижчу металоємкість. Вони забезпечують рівномірне розпушення трави при ворущінні, а при згрібанні формують рівномірний за масою валок. Це підвищує якість сіна і дозволяє раціонально використовувати машини на послідуочих операціях.

Однак, застосування їх для інтенсифікації сушіння трав призводить до значних механічних втрат. Особливо це проявляється при обробі бобових трав, коли вони мають вологість меншу 60 %. Механічні втрати не тільки зменшують збір сіна, але й суттєво впливають на його кормову цінність, тому що листки містять в 2...3 рази більше поживних речовин, ніж стебла [1]. Це свідчить про необхідність проведення досліджень з вибору раціональних режимів роботи граблів-ворушилок з відцентровими робочими органами при ворущінні та згрібанні конюшини лучної.

Мета досліджень

Отримання математичної моделі, яка б адекватно описувала процес оббивання вегетативних органів рослин при ворушінні або згрібанні прив'яленої конюшини лучної. З допомогою такої моделі можлива оптимізація процесу роботи граблів-ворушилок з відцентровими робочими органами.

Результати досліджень

Обґрунтування режимів роботи здійснювалось з використанням методу планування багатofакторних експериментів.

Досліди проводилися на ворушінні та згрібанні скошеної конюшини лучної першого укусу макетним зразком граблів - ворушилки, який був виготовлений з використанням ротора граблів RH-420 (Фінляндія). Агрегатували зразок з трактором МТЗ-80.

Для оптимізації процесу за вихідну змінну було вибрано виражений у відсотках коефіцієнт оббивання вегетативних частин рослин, який визначали так. Перед проведенням кожного дослідження відбирали не менше п'яти зразків трави, які укладали в поліетиленові пакети і розміщали їх під і над прокосом по місцю проходження макетного зразка. Після закінчення дослідження зразки розбирали з виділенням оббитих частин рослин, які висушували до абсолютно сухого стану.

Коефіцієнт оббивання визначали за формулою:

$$C = 10^4 G_{обб} / M(100 - W), \quad (1)$$

де $G_{обб}$ – маса сухої речовини оббитих частин рослин, кг; M – маса зразка трави, кг; W – відносна вологість зразка трави, %.

Для вивчення процесу було вибрано наступні фактори: вологість трави $X_1(W, \%)$, колова швидкість робочих органів $X_2(R\omega, \text{м/с})$, тут R – радіус ротора, м; ω – кутова швидкість, с^{-1}), поступальна швидкість агрегату $X_3(V, \text{м/с})$ і подача трави $X_4(M, \text{кг/с})$. Рівні варіювання факторів були наступними (спочатку записаний нульовий рівень фактора, а після інтервал варіювання) $X_1(40; 20 \%)$; $X_2(13; 7 \text{ м/с})$; $X_3(2,5; 1,5 \text{ м/с})$; $X_4(6; 4 \text{ кг/с})$.

Перед відшукуванням рівняння регресії проводилась перевірка виконання основних передумов регресійного аналізу. Здійснювали це відповідно до вимог, викладених в [2].

В результаті розрахунків коефіцієнтів регресії і статистичного аналізу рівняння регресії була одержана наступна адекватна модель досліджуваного процесу (розрахункове значення критерію Фішера $F_{роз} = 1,56$, табличне значення – $F_T = 1,84$).

$$C = 7,71 - 3,44X_1 + 3,73X_2 + 0,41X_3 - 1,78X_4 - 1,96X_1X_3 + 0,51X_1X_4 - 1,21X_2X_3 - 0,76X_2X_4 + 3,59 X_1^2 - 2,01 X_2^2 + 0,44 X_3^2 + 1,59 X_4^2. \quad (2)$$

В цьому рівнянні змінні приведені в закодованій формі. Для одержання рівняння регресії із змінними в натуральному масштабі можна використати наступні співвідношення: $X_1 = (W - 40)/20$; $X_2 = (R\omega - 13)/7$; $X_3 = (V - 2,5)/1,5$; $X_4 = (M - 9)/7$.

Загальні втрати сіна, тобто втрати від недостатнього згрібання і оббивання вегетативних частин рослин, при ворушінні або згрібанні трав не повинні перевищувати 2,5 % [3]. Втрати від недостатнього згрібання у граблів-ворушилок з відцентровими робочими органами не перевищують 0,5 %. Відтак можна вважати, що основні втрати відбуваються за рахунок оббивання вегетативних частин рослин. Тому саме це значення показника втрат і було вибрано за допустиме значення коефіцієнта оббивання при оптимізації.

Задачею оптимізації процесу ворушіння та згрібання прив'язленої конюшини було знаходження, в залежності від зміни вологості трави, фактор X_1 , таких значень факторів: X_2 , X_3 і X_4 , які забезпечують значення коефіцієнта оббивання меншого за допустиме.

Оптимізацію здійснювали методом перебору варіантів. Для цього факторний простір з кроком 0,1 по кожній координаті розбивався сіткою. В вузлах сітки вираховувались значення вихідної змінної. Якщо вираховані значення задовольняли допустимим, то координати такої точки разом із значенням коефіцієнта оббивання виводилось ЕОМ до друку.

Щоб отримати наочне уявлення про поверхню відгуку в оптимальній зоні використовували метод двомірних перетинів.

Визначимо оптимальні режими роботи при умові, що вологість трави $W = 60\%$, тобто $X_1 = 1$. Тоді рівняння регресії (2) набуде такий вигляд

$$C = 7,86 + 3,73X_2 - 1,55X_3 - 1,36X_4 - 1,21X_2X_3 - 0,76X_2X_4 - 2,01X_2^2 - 0,44X_3^2 + 1,59X_4^2 \quad (3)$$

Перебором варіантів встановлено, що при $X_1=1$ мінімальне значення коефіцієнта оббивання $C = 2,06\%$ будемо мати при наступних умовах: $X_2 = -1$; $X_3=0,5$ і $X_4=0$.

Дослідимо двомірний переріз поверхні відгуку, який характеризує процес оббивання в залежності від поступальної швидкості агрегату V і подачі M . Для одержання цього перерізу підставимо значення $X_2=-1$ в (3). В результаті отримаємо

$$C = 2,12 - 0,34X_3 - 0,60X_4 + 0,44X_3^2 + 1,59X_4^2 \quad (4)$$

Після диференціювання (4) і розв'язку системи рівнянь були отримані наступні координати центру поверхні відгуку $X_{3S} = 0,39$; $X_{4S} = 0,19$ при значенні коефіцієнта оббивання в центрі поверхні $C_S = 2\%$.

При $X_1=+1$ і $X_2=-1$ рівняння регресії в канонічній формі має вигляд

$$C - 2,0 = 0,44X_3^2 + 1,59X_4^2 \quad (5)$$

Підставляючи неоднакові значення коефіцієнта оббивання в (5), одержимо сімейство відповідних контурних кривих, які характеризують процес оббивання в залежності від зміни швидкості переміщення агрегату V і подачі M . Результати розрахунків зображені на рис. 1, з якого видно, що мінімальне значення коефіцієнта оббивання вегетативних частин рослин при факторах $X_1=1(W=60\%)$ і $X_2=-1(R\omega=6 \text{ м/с})$ становить $2,0\%$ і спостерігається при швидкості переміщення агрегату біля $3,1 \text{ м/с}$ і подачі рівній $10,3 \text{ кг/с}$. На основі цього рисунку можливо зробити висновок, що коефіцієнт оббивання не буде перевищувати допустимого значення, коли швидкість агрегування знаходиться в межах $2,3...4 \text{ м/с}$, а подача – $7...14 \text{ кг/с}$.

Визначимо оптимальні значення факторів при умові, що вологість трави становить 50% ($X_1 = 0,5$). Перебором

варіантів встановлено, що при вказаній вологості мінімальне значення коефіцієнта оббивання $C = 0,9\%$ буде мати при наступних умовах: $X_2 = -1$; $X_3 = -0,5$ і $X_4=0,5$.

Підставивши значення факторів $X_1 = 0,5$ і $X_2 = -1$ в (2), одержимо

$$C = 1,15 + 0,66X_3 - 0,85X_4 + 0,44X_3^2 + 1,59X_4^2 \quad (6)$$

Координати центру поверхні $X_{3S} = -0,75$; $X_{4S} = 0,27$; $C_S = 0,8$.

Рівняння регресії в канонічній формі буде таким

$$C - 0,8 = 0,44X_3^2 + 1,59X_4^2 \quad (7)$$

Після підстановки в (7) неоднакових значень критерію оптимізації було побудовано систему контурних кривих рис. 2,а. Аналіз цього двомірного перерізу показує, що спільна взаємодія факторів X_3 та X_4 , при вище вказаній умові має екстремальне значення $C_s = 0,8 \%$ при $V = 1,3$ м/с і $M = 10,9$ кг/с. Причому коефіцієнт оббивання не буде перевищувати допустимого значення, коли ці фактори будуть знаходитись в межах $V = 1,0 \dots 4,0$ м/с, а $M = 7,5 \dots 14,0$ кг/с.

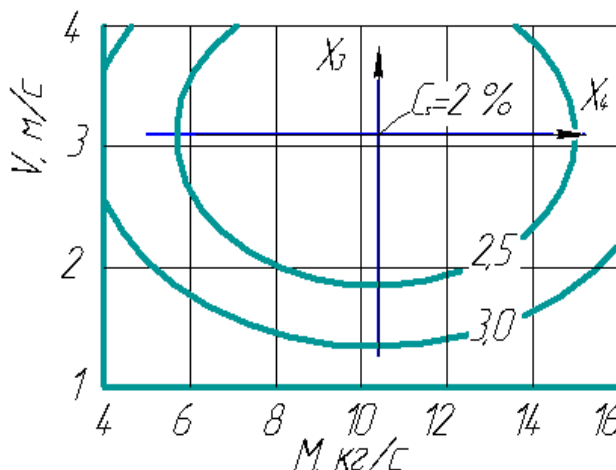


Рис. 1. Переріз поверхні відгуку, яка характеризує оббивання вегетативних частин рослин конюшини лучної при $W = 60 \%$ ($X_1=1$); $R\omega = 6$ м/с ($X_2 = -1$)

Із (2) випливає, що на оббивання нижніх частин рослин сильніше від інших впливає колова швидкість робочих органів (фактор X_2). В зв'язку з цим дослідимо вплив цього фактора на оббивання. Прийmemo, що $X_1 = 0,5$, а $X_2 = 0$. Підставивши ці значення факторів в рівняння (2), одержимо

$$C = 6,89 - 0,57X_3 - 1,6X_4 + 0,44 X_3^2 + 1,59 X_4^2. \quad (8)$$

Диференціювання (8) дало наступні координати поверхні: $X_{3S} = 0,65$; $X_{4S} = 0,52$. Показник коефіцієнта оббивання в центрі поверхні $C_s = 6,3 \%$. Рівняння регресії в канонічній формі буде таким

$$C - 6,3 = 0,44 X_3^2 + 1,59 X_4^2. \quad (9)$$

На основі отриманих даних побудований двомірний переріз поверхні відгуку (рис. 2, б). Із цього рисунку випливає, що взаємодія факторів X_3 і X_4 при умові збільшення фактору X_2 до нульового рівня в межах експерименту має екстремум $C = 6,3 \%$ при значенні факторів $V = 3,48$ м/с і $M = 12,64$ кг/с. Отже, збільшення колової швидкості від 6 м/с ($X_2 = -1$) до 13 м/с ($X_2 = 0$) спонукає зростання коефіцієнта оббивання. Причому мінімальне значення коефіцієнта оббивання, яке спостерігається в центрі поверхні перевищує допустиме більше, ніж у 2,5 рази.

Визначимо максимальну колову швидкість робочих органів, при якій коефіцієнт оббивання не перевищує допустимого значення. Для цього підставимо в (2) наступні значення факторів: $X_1 = 0,5$; $X_2 = -0,8$. Тоді рівняння регресії набуває вигляду

$$C = 2,62 + 0,4X_3 - X_4 + 0,44 X_3^2 + 1,59 X_4^2. \quad (10)$$

Координати центру поверхні: $X_{3S} = -0,45$; $X_{4S} = 0,31$, $C_s = 2,4 \%$. Отже, рівняння регресії в канонічній формі буде наступним

$$C - 2,4 = 0,44 X_3^2 + 1,59 X_4^2. \quad (11)$$

На основі одержаного канонічного рівняння побудовано двомірний переріз поверхні відгуку рис. 2, в. Із цього рисунка випливає, що спільна дія факторів X_3 і X_4 , при умові: $X_1 = 0,5$; $X_2 = 0,8$, має екстремум $C_S = 2,4$ % при наступних значеннях факторів $V = 1,83$ м/с і $M = 11,17$ кг/с, а коефіцієнт оббивання не буде перевищувати допустимого значення тоді, коли фактори знаходяться в межах: $V = 1,3 \dots 2,3$ м/с; $M = 10,0 \dots 12,5$ кг/с. Отже, при вологості трави 50 % колова швидкість робочих органів не повинна перевищувати 7,4 м/с. В протилежному випадку коефіцієнт оббивання перевищує допустиме значення.

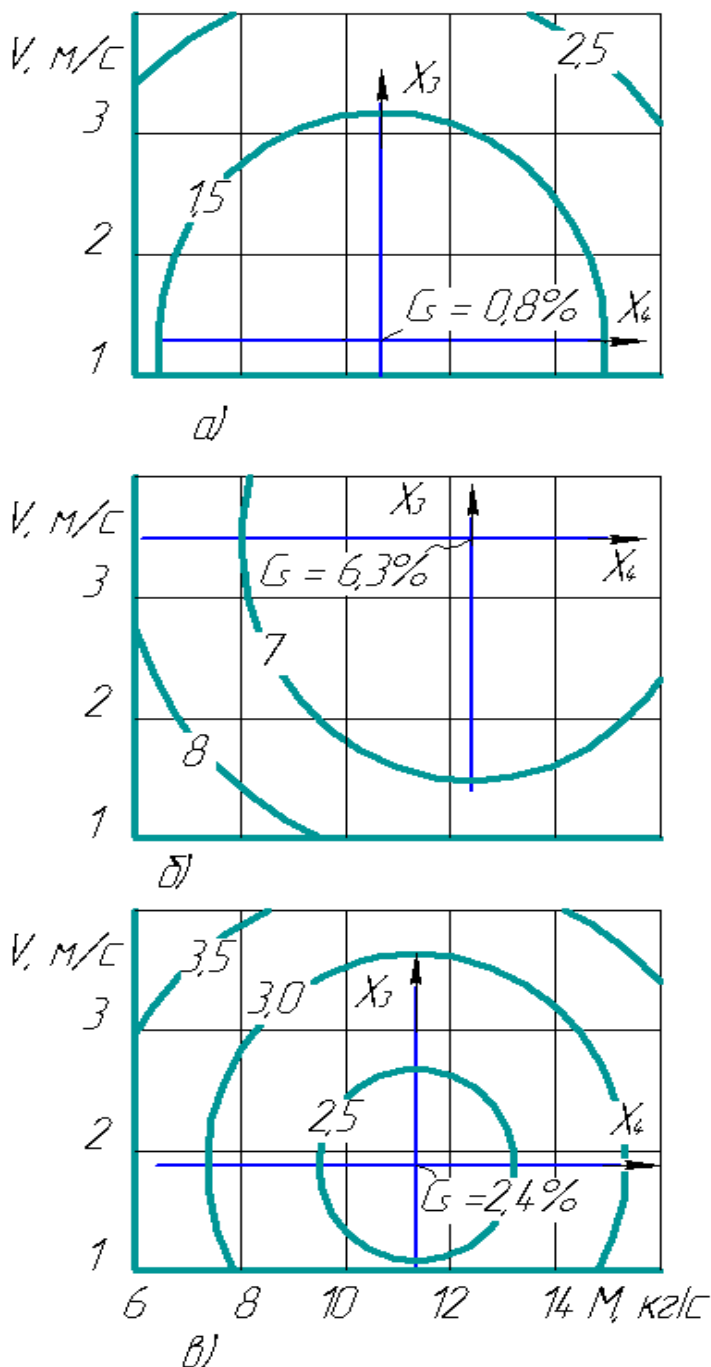


Рис. 2. Перетини поверхні відгуку, які характеризують оббивання вегетативних частин конюшини при $W = 50$ % ($X_1=0,5$): а) - $R\omega = 6$ м/с ($X_2=-1$); б) - $R\omega=13$ м/с ($X_2=0$); в) - $R\omega = 7,4$ м/с ($X_2=-0,8$)

Визначимо оптимальну комбінацію факторів для конюшини лучної вологістю 40 %. Методом перебору варіантів встановлено, що при цій умові мінімальне значення коефіцієнта оббивання $C = 1,12$ % буде тоді, коли інші фактори мають наступні значення: $X_2 = -1$; $X_3 = -0,5$; $X_4 = 0,5$. Прийемо, що $X_1 = 0$; $X_2 = -1$. Підставивши значення цих факторів в (2), одержимо

$$C = 1,97 + 1,62X_3 - 1,11X_4 + 0,44 X_3^2 + 1,59 X_4^2. \quad (12)$$

Координати центру поверхні: $X_{3S} = -1,84$; $X_{4S} = 0,36$; $C_S = 0,3$ %. На основі одержаних даних побудований двомірний переріз поверхні відгуку (рис. 3, а). Із цього рисунку випливає, що коефіцієнт оббивання не буде перевищувати допустимого значення тоді, коли $V \leq 2,5$ м/с, а $M = 8 \dots 15$ кг/с.

Визначимо максимальне значення колової швидкості ротора при умові, що $X_1 = 0$ ($W = 40$ %). Прийемо $X_1 = 0$; $X_2 =$

$= -0,8$. Підставивши значення цих факторів в (2), одержимо

$$C = 3,44 + 1,38X_3 - 1,26X_4 + 0,44 X_3^2 + 1,59 X_4^2 .$$

Координати центру поверхні: $X_{3S} = -1,57$; $X_{4S} = 0,4$, $C_S = 2,1$ %.

Канонічне рівняння регресії

$$C - 2,1 = 0,44X_3^2 + 1,59 X_4^2 .$$

На основі цього рівняння побудований двомірний переріз поверхні відгуку (рис. 3, б). Із цього рисунку випливає, що при умові, коли фактори $X_1 = 0$ ($W = 40$ %), а $X_2 = -0,8$ ($R\omega = 7,4$ м/с) коефіцієнт оббивання не буде перевищувати допустимого значення тоді коли швидкість переміщення машини буде меншою 1,3 м/с, а подача трави буде становити 10...13 кг/с.

При визначенні оптимальних значень факторів при обробітку прив'язаної конюшини вологістю $W = 30$ %, ($X_1 = -0,5$) і коловій швидкості робочих органів $R\omega = 6$ м/с було встановлено, що допустиме значення коефіцієнта оббивання пересохлих частин рослин спостерігається в тому випадку, коли інших два фактори знаходяться в межах $V \leq 1,15$ м/с, а $M = 10,5...13,0$ кг/с. Причому при зазначеній вологості конюшини збільшення колової швидкості робочих органів з 6,0 до 6,35 м/с спонукає зростання коефіцієнта оббивання з 2,5 до 3,0 %, тобто зростання колової швидкості на 5,8 % спричиняє збільшення на 20 % механічних втрат.

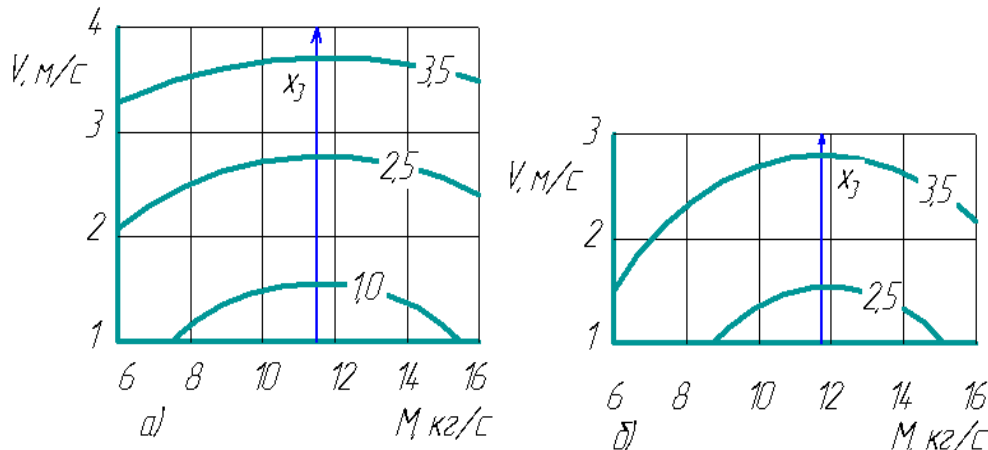


Рис . 3. Двомірні перетини поверхні відгуку при $W = 40$ %: а) - $R\omega = 6$ м/с ($X_2 = -1$); б) - $R\omega = 7,4$ м/с ($X_2 = -0,8$)

Опираючись на проведенні дослідження, можна стверджувати, що нижньою межею вологості конюшини при її ворушінні або згрібанні є вологість $W = 30$ %, тому що обробіток конюшини меншої вологості супроводжується значним оббиванням нижніх частин рослин. При цьому колова швидкість робочих органів не повинна перевищувати 6 м/с. В протилежному випадку це також призводить до збільшення можливих втрат. Одержані дані співпадають із рекомендацією А.М. Дравінікаса із співавторами [4], які стверджують, що з метою зменшення механічних втрат при заготівлі сіна не допустимими є ворушіння трави вологістю менше, ніж 30 %.

Висновки

В результаті проведених досліджень встановлено, що при ворушінні або згрібанні конюшини лучної граблями-ворушилками з відцентровими робочими органами колова швидкість робочих органів не повинна перевищувати 7,4 м/с, якщо вологість трави

становить 60...50 % і 6 м/с при вологості 40...30 %. Поступальна швидкість граблів-ворушилок може бути більшою 1,3, але меншою 4 м/с, якщо вологість конюшини рівна 60...50 % і не повинна перевищувати 2,3 м/с при вологості 40 % та - 1,15 м/с при вологості 30 %. Оптимальне значення подачі прив'язаної конюшини лучної для граблів-ворушилок з відцентровими робочими органами знаходиться в межах 3,5... 5,2 кг/с на метр ширини захвату.

Список літератури

1. Сергеев П. П. Культура клевера на корм и семена /П. П. Сергеев, Г. Д. Харьков, А. С. Новоселова. - М.: Колос, 1973. - 288 с.
2. Бондарь А.Г. Планирование эксперимента при оптимизации процессов химической технологии /алгоритмы и примеры/: Учебн. пособие /А. Г. Бондарь, Г. А. Статюха, И. А. Потяженко. - К.: Вища школа, 1980. - 264 с.
3. Орманджи К. С. Операционная технология заготовки кормов /К. С. Орманджи, Г. И. Барабаш. - М.: Россельхозиздат, 1981. - 319 с.
4. Механизация заготовки кормов. Опыт хозяйств Литовской ССР /А. М. Дравиникас, В. М. Любарский, А. А. Прапуолянис и др. - М.: Колос, 1983. - 192 с.

Spisok literatury

1. Sergeyev P. P. Kul'tura klevera na korm i semena /P. P. Sergeyev, G. D. Khar'kov, A. S. Novoselova. - M.: Kolos, 1973. - 288 s.
2. Bondar' A.G. Planirovaniye eksperimenta pri optimizatsii protsessov khimicheskoy tekhnologii / algoritmy i primery / : Uchebn . posobiye / A. G. Bondar', G. A. Statyukha, I. A. Potyazhenko. - M. : Vysshaya shkola, 1980. - 264 s.
3. Ormandzhi K.S. Operatsionnaya tekhnologiya zagotovki kormov / K. S. Ormandzhi, G. I. Barabash. - M.: Rossel'khozizdat, 1981. - 319 s.
4. Mekhanizatsiya zagotovki kormov. Opyt khozyaystv Litovskoy SSSR / A. M. Dravinikas, V. M. Lyubarskiy, A.A. Prapuolyanis i dr. - M.: Kolos, 1983. - 192 s.

ОБОСНОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ГРАБЛЕЙ - ВОРУШИЛОК С ЦЕНТРОБЕЖНЫМ РАБОЧИМ ОРГАНАМИ

Аннотация: главный недостаток граблей – ворошителей с центробежными рабочими органами – существенное обивание листьев и соцветий вовремя ворошения или сгребания провяленных растений клевера лугового. С целью определения рациональных режимов работы этих машин проведены исследования с использованием метода планирования многофакторных экспериментов.

Определено, что при ворошении или сгребании клевера лугового окружная скорость рабочих органов не должна превышать 7,4 м/с, если влажность травы составляет 60...50 % и 6 м/с при влажности 40-30 %. Скорость перемещения граблей – ворошителей может быть большей 1,3, но меньше 4 м/с, если влажность клевера составляет 60...50 % и не должна превышать 2,3 м/с при влажности 40 % и 1,15 м/с при влажности 30 %.

Ключевые слова: клевер луговой, ворошение, сгребание, листья, соцветия, обивание.

JUSTIFICATION MODES RAKES-TEDDERS WITH CENTRIFUGAL WORKING BODIES

Summari: the main drawback of the rake - tedders with centrifugal working bodies - a significant studding leaves and inflorescences time agitating or raking of dried plant clover. In order to determine the rational modes of operation of these machines studied by the method of planning multifactor experiments.

It was determined that during the tedding or raking red clover peripheral speed of the workers must not exceed 7.4 m / s if the dampness of the grass is 60 ... 50% and 6 m / s at a humidity of 40-30%. Conveying speed rake - tedders can be greater than 1.3 but less than 4 m / s, if the humidity of clover is 60 ... 50% and should not exceed 2.3 m / s at 40% moisture and 1.15 m / s humidity 30%.

Keywords: clover, tedding, raking leaves, inflorescence, studding.