

УДК 620.163.45:631.363.2

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ И УСКОРЕНИЯ РЕШЕТА СЕПАРАТОРА МЕЛКОЙ ЛИСТОВОЙ ЧАСТИ ТРАВ

*Д.Т. Абилжанов, Ч.Т. Уметалиева, Т. Абилжанулы*

Разработан новый способ приготовления витаминно-травяной муки из листовой части трав без применения высокотемпературной сушки. Основной машиной, определяющей производительность линии, является сепаратор листовой части трав. Получены аналитические выражения для определения скорости и ускорения решета при различных четвертях вращения начала решета. Определена средняя скорость движения решета в горизонтальном направлении, она равна 0,23 м/с.

*Ключевые слова:* витаминно-травяная мука; безрешетный измельчитель; сепаратор листовой части трав; решето сепаратора; скорость перемещения сена по решету.

---

### ЧӨПТҮН ЖАЛБЫРАК БӨЛҮГҮНҮН СЕПАРАТОРУНУН ЭЛЕГИНИН ЫЛДАМДЫГЫН ЖАНА ЫЛДАМДАНУУСУН АНЫКТОО

*Д.Т. Абилжанов, Ч.Т. Уметалиева, Т. Абилжанулы*

Макалада жогорку температурада кургатуу ыкмасын колдонбостон, чөптүн жалбырак бөлүгүнөн витаминдүү чөп унду даярдоонун жаны ыкмасы иштелип чыккандыгы тууралуу сөз болот. Линиянын өндүрүмдүүлүгүн аныктоочу негизги машина катары чөптүн жалбырагынын сепаратору эсептелет. Электин ар түрдүү айланышында анын ылдамдыгын жана ылдамдануусун аныктоо үчүн аналитикалык туюнтма алынган. Горизонталдуу багытта электин орточо ылдамдыгы аныкталды, ал 0,23 м/с барабар.

*Түйүндүү сөздөр:* витаминдүү чөп уну; элечи жок майдалагыч; чөптүн жалбырак бөлүгүнүн сепаратору; сепаратордун элечи; электеги чөптүн ылдамдыгы.

---

### DETERMINATION OF SPEED AND ACCELERATION OF THE SEPARATOR SIEVE OF THE FINELY SHEET PART OF THE HERBS

*D.T. Abilzhanov, Ch.T. Umetalieva, T. Abilzhanuly*

The article presents the materials of the developed new method for preparing vitamin-grass meal from the leaf part of herbs without the use of high-temperature drying. Here, the main machine that determines the productivity of the line is the separator of the leaf part of the herbs. As a result of theoretical studies, analytical expressions are obtained to determine the speed and acceleration of the sieve for various quarters of rotation of the sieve. The average speed of the sieve in the horizontal direction is determined, it is 0.23 m/s.

*Keywords:* vitamin-grass meal; chopper without sieve; separator of the leaf part of the herbs; sieve of separator; speed of hay moving on the sieve.

**Введение.** Для повышения продуктивности животноводства необходимо производить кормление животных полнорационными кормосмесями. Известно, что полнорационная кормосмесь состоит из грубых кормов, силоса или

сенажа и комбикормов. В составе комбикормов основными их компонентами являются зерновые корма и витаминно-травяная мука (ВТМ).

Существующие способы для получения ВТМ являются очень дорогими, и они редко

применяются в условиях хозяйств, поэтому авторами предложен новый способ приготовления ВТМ из листовой части трав [1].

В результате финансирования МОН РК по бюджетной программе 055 на 2012–2014 гг., был разработан экспериментальный образец линии приготовления ВТМ из листовой части трав. Сущность предложенного способа, а также результаты теоретических и экспериментальных исследований по обоснованию параметров машин линии приведены в работах [2–4]. Однако ряд процессов и конструкций машин линии требуют некоторых доработок, направленных на обоснование параметров, обеспечивающих повышение производительности всей линии.

Цель работы – проведение теоретических исследований для обоснования технологических параметров сепаратора листовой части трав.

**Материалы и методы.** Для определения скорости и ускорения решета использован кинематический анализ из курса теоретической механики, который обеспечивает определение скорости перемещения измельченных частиц и сил, действующих на стебель.

**Результаты и их обсуждение.** По предложенному способу приготовления ВТМ основную сушку люцернового сена производили на прокесе, а окончательную сушку с влажностью 30–35 % до влажности 14–16 % осуществляли на малогабаритном подстожном канале. Высушенную массу подавали в безрешетный измельчитель грубых кормов и при предварительном измельчении сухой массы нежная листовая часть растений мелко измельчалась с длиной частиц 10–15 мм, а крупная стеблевая часть сена – на крупные частицы с размером 20 мм и более.

Предварительно измельченную массу подавали на специально разработанный сепаратор листовой части трав (рисунок 1).

На сепараторе из предварительно измельченной массы выделяли мелко измельченную листовую часть, и подавали ее в дробилку для измельчения до муки. В этом случае отсутствовала необходимость применения высокотемпературной сушки и использования очень дорогого оборудования. При этом обеспечивается снижение стоимости и удельных эксплуатационных затрат в 6–7 раз, а качество полученной муки по содержанию каротина было в 1,6 раза больше существующего государственного стандарта [5].



Рисунок 1 – Общий вид вала сепаратора листовой части трав

В составе линии имеются два измельчителя грубых кормов. Они имеют достаточно высокую производительность, а машиной, которая определяет производительность всей линии, является сепаратор листовой части трав.

Кроме того, следует отметить, что процесс сепарирования листовой части трав из предварительно измельченного сена рассматривается впервые, поэтому применяется кинематический анализ вращательного движения начала решета для определения средней скорости перемещения частиц по поверхности решета.

В результате теоретических исследований были получены аналитические выражения для определения равнодействующей силы на стебель при вращении передней части решета с радиусом [6]. Однако в этих аналитических выражениях приведены перемещения решета в горизонтальном направлении и в вертикальном направлении. При этом не были получены аналитические выражения для определения этих величин.

Угол наклона решета сепаратора от горизонтали составляет всего лишь 15°, поэтому можно считать, что перемещения концов решета примерно одинаковы (рисунок 2).

При угле поворота кривошипа  $\phi_1$  значения перемещения  $\Delta S_{01}$  определяется по формуле:

$$\Delta S_{01} = R_3 - R_3 \cdot \cos \phi_1 = R_3 (1 - \cos \phi_1). \quad (1)$$

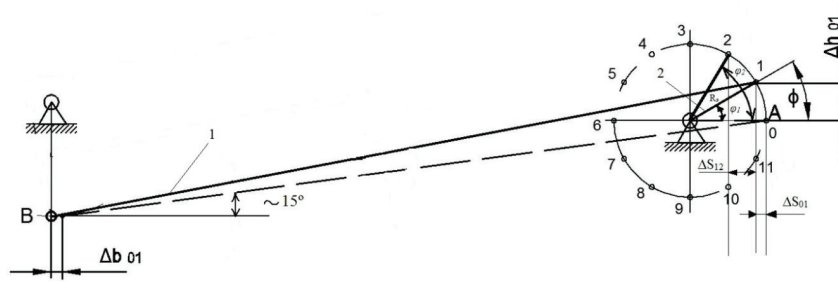


Рисунок 2 – Схема перемещения решета сепаратора мелкой листовой части трав в горизонтальном и вертикальном направлениях : 1 –решето; 2 – кривошип

Значения перемещения решета при повороте кривошипа на угол можно выразить следующим образом:

$$\Delta S_{12} = R_3 \cdot \cos \phi_1 - R_3 \cdot \cos \phi_2 = R_3 (\cos \phi_1 - \cos \phi_2). \quad (2)$$

Отсюда ясно, что в пределах поворота кривошипа в первой четверти значение перемещения конца решета в общем виде определяется по формуле:

$$\Delta S_{n-1,n} = R_3 (\cos \phi_{n-1} - \cos \phi_n). \quad (3)$$

Перемещение кривошипа в вертикальном направлении, т. е. начало решета при угле поворота определяется по формуле:

$$\Delta h_{01} = R_3 \cdot \sin \phi. \quad (4)$$

На рисунке 2 видно, что при каждом угле поворота кривошипа значение вертикального перемещения конца решета определяется как разница размеров катетов из последнего угла  $\phi_n$  с предыдущим углом поворота  $\phi_{n-1}$ :

$$\Delta h_{n-1,n} = R_3 \cdot \sin \phi_n - R_3 \cdot \sin \phi_{n-1} = R_3 (\sin \phi_n - \sin \phi_{n-1}). \quad (5)$$

В данном случае при каждом повороте кривошипа в пределах угла  $\Delta \phi$  в первой четверти, скорость движения решета в горизонтальном направлении определяется по формуле:

$$g'_{r_{n-1,n}} = \frac{\Delta S_{n-1,n}}{\Delta t_{\phi}}, \quad (6)$$

где  $\Delta t_{\phi}$  – время, затраченное на поворот эксцентрика на угол  $\Delta \phi$ , оно определяется по формуле:

$$\Delta t_{\phi} = \frac{\Delta \phi}{6n_3} \quad (7)$$

где  $n_3$  – частота вращения кривошипа, мин<sup>-1</sup>.

Подставляя значения  $\Delta S_{n-1,n}$  и  $\Delta t_{\phi}$  в формулу (6), получим:

$$g'_{r_{n-1,n}} = \frac{6n_3 R_3 (\cos \phi_{n-1} - \cos \phi_n)}{\Delta \phi}. \quad (8)$$

При этом скорость движения решета в вертикальном направлении также можно определить по формуле:

$$g'_{B_{n-1,n}} = \frac{\Delta h_{n-1,n}}{\Delta t_{\phi}} = \frac{6n_3 R_3 (\sin \phi_n - \sin \phi_{n-1})}{\Delta \phi}. \quad (9)$$

Скорость конца решета в горизонтальном направлении в начале его перемещения в одном направлении, т. е. скорость движения решета в первой четверти поворота кривошипа  $v'_{r01}$  от точки 0 до точки 1, определяется по формуле:

$$g'_{r01} = \frac{\Delta S_{01}}{\Delta t_{\phi}} = \frac{6n_3 R_3 (1 - \cos \phi_1)}{\Delta \phi}. \quad (10)$$

На данном участке ускорение решета определяется по формуле:

$$a'_{r01} = \frac{g'_{2_{0,1}} - g'_{2_0}}{\Delta t_{\phi}} = \frac{36n_3^2 R_3 (1 - \cos \phi_1)}{\Delta \phi^2}. \quad (11)$$

Ускорение конца решета при каждом повороте кривошипа  $\Delta \phi$  можно определить по формуле:

$$\begin{aligned} a'_{r_{n-1,n}} &= \frac{g'_{2_{n-1,n}} - g'_{2_{n-1,n-2}}}{\Delta t_{\phi}} = \\ &= \frac{6n_3 R_3 (\cos \phi_{n-1} - \cos \phi_n) - 6n_3 R_3 (\cos \phi_{n-2} - \cos \phi_{n-1})}{\Delta \phi \Delta \phi} = \\ &= \frac{6n_3 R_3 (\cos \phi_{n-1} - \cos \phi_n - \cos \phi_{n-2} + \cos \phi_{n-1})}{\Delta \phi \Delta t_{\phi}} = \\ &= \frac{36n_3^2 R_3 (2 \cos \phi_{n-1} - \cos \phi_n - \cos \phi_{n-2})}{\Delta \phi^2}. \end{aligned} \quad (12)$$

Таким образом, можно определить ускорение конца решета в вертикальном направлении по формуле:

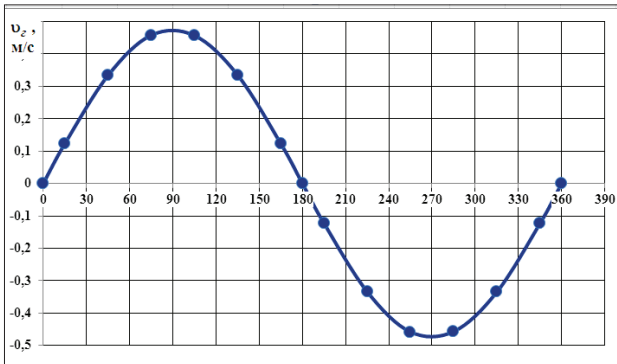


Рисунок 3 – Значения скорости начала решета сепаратора в горизонтальном направлении

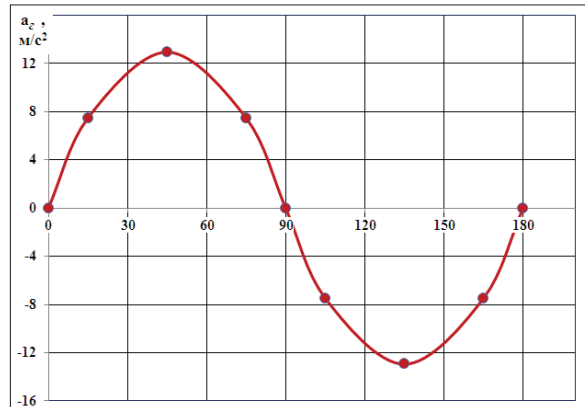


Рисунок 4 – Значения ускорения начала решета сепаратора в горизонтальном направлении

$$\begin{aligned}
 a_{b_{n-1,n}} &= \frac{\vartheta'_{b_{n-1,n}} - \vartheta'_{b_{n-2,n-1}}}{\Delta t_{\vartheta\phi}} = \\
 &= \frac{6n_3 R_3 (\sin \phi_n - \sin \phi_{n-1}) - 6n_3 R_3 (\sin \phi_{n-1} - \sin \phi_{n-2})}{\Delta \phi} = \\
 &= \frac{36n_3^2 R_3 (\sin \phi_n - \sin \phi_{n-1}) - (\sin \phi_{n-1} - \sin \phi_{n-2})}{\Delta \phi^2} = \\
 &= \frac{36n_3^2 R_3 (\sin \phi_n - 2\sin \phi_{n-1} + \sin \phi_{n-1})}{\Delta \phi^2}.
 \end{aligned} \quad (13)$$

При вращении кривошипа во второй четверти, значение горизонтального перемещения решета на угол  $\phi_n$  можно определить как разницу катетов треугольников, построенных при угле повороте  $\phi_n$  и  $\phi_{n-1}$ :

$$\vartheta''_{n-1,n} = \frac{6n_3 R_3}{\Delta \phi} (\sin \phi_n - \sin \phi_{n-1}), \quad (14)$$

Отсюда следует, что полученная формула одинакова с формулой (9), т. е. в данном случае значение скорости равно значению скорости в первой четверти в вертикальном направлении; значение скорости в вертикальном направлении во второй четверти определяется по формуле (8).

Для определения ускорения начала решета во второй четверти в горизонтальном направлении ( $a''_{z_{n-1,n}}$ ) применяется формула (13), а ускорение решета во второй четверти в вертикальном направлении ( $a''_{b_{n-1,n}}$ ) определяется по формуле (12).

Кроме того, следует отметить, что определение ускорения во второй четверти в начале участка, т. е. определение ускорения на кривошипе при его повороте от точки 3 до точки 4 вычисляется по формуле:

$$a''_{2.3,4} = \frac{36n_3^2 R_3}{\Delta \phi^2} (\sin \phi_4 - \sin \phi_3) - (\cos \phi_2 - \cos \phi_3). \quad (15)$$

Таким образом, получены аналитические выражения для определения скорости и ускорения начала решета сепаратора мелкой листовой части трав. Это оправдано тем, что интенсивная сепарация происходит в начале решета. Кроме того, зная среднюю скорость перемещения частиц по поверхности решета, можно определить время схода массы с поверхности решета, т. е. можно определить оптимальную подачу предварительно измельченной массы на поверхность решета сепаратора.

В результате теоретических и экспериментальных исследований определены оптимальные значения основных параметров сепаратора мелкой листовой части [2, 7]:

- длина решета – 1150 мм;
- ширина решета – 650 мм;
- потайные отверстия: диаметр верхнего основания – 13 мм; диаметр нижнего основания – 9 мм;
- амплитуда колебаний – 30 мм;
- частота вращения эксцентрика вала – 305 мин;
- угол наклона решета – 15°.

Учитывая эти оптимальные значения параметров, по полученным аналитическим выражениям были определены значения скорости и ускорения решета сепаратора.

Вычисленные значения скорости и ускорения начала решета сепаратора в горизонтальном направлении приведены на рисунках 3, 4.

На рисунке 3 приведены значения скорости решета при полном обороте кривошипа. Для лучшего представления изменения скорости решета в горизонтальном направлении, окружность вращения кривошипа разделена на 12 участков, т. е. через каждые  $30^\circ$ . На рисунке видно, что максимальное значение скорости  $v_k = 0,4575$  м/с достигается на участке поворота кривошипа  $75-105^\circ$ , т. е. на данном участке скорость перемещения решета постоянная, а ускорение решета равно нулю (рисунок 4).

При перемещении решета в одном направлении средняя скорость решета равна 0,23 м/с. При этом расчеты показали, что значения скорости и ускорения решета в вертикальном направлении соответствуют значениям в горизонтальном направлении.

Если предварительно измельченная масса будет двигаться со средней скоростью 0,23 м/с, то сход массы с решета происходит за 5 с. Результаты экспериментальных исследований показали, что в действительности перемещение массы по поверхности решета происходит за 5 с, т. е. это подтверждает достоверность выполненных теоретических исследований.

Все это указывает на то, что скорость перемещения измельченного сена по поверхности решета равна средней скорости движения самого решета в горизонтальном направлении, т. е. в результате теоретических исследований получены аналитические выражения для определения скорости перемещения сена на поверхности решета.

Кроме того, полученные аналитические выражения обеспечивают определение скорости и ускорения решета при полном обороте кривошипа. При этом можно определить значения действующих сил на стебель при перемещении его на поверхность решета. Аналитические выражения для определения этих сил получены в ранее проведенных исследованиях [6].

**Выводы.** Получены аналитические выражения для определения скорости и ускорения решета сепаратора листовой части трав

в горизонтальном и вертикальном направлениях. Скорость перемещения измельченного сена по поверхности решета равна средней скорости движения самого решета в горизонтальном направлении, т. е. в результате теоретических исследований получены аналитические выражения для определения скорости перемещения сена на поверхности решета. Достоверность полученных выражений определили результаты экспериментальных исследований. При этом полученные выражения обеспечивают определение действующих сил на стебель при его перемещении по поверхности решета.

### Литература

1. Патент 30197 Республики Казахстан: МПК А23К 1/14 (2006.01). Способ приготовления витаминно-травяной муки / Т. Абилжанулы, О.Ж. Жортуылов, В.Т. Солдагов, В.Л. Утешев, Д.Т. Абилжанов, К.К. Нурлыбаев, А.С. Альшурина; заявитель и патентообладатель ТОО "Казахский научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства". 2013/0545.1; заявл. 23.04.2013; опубл. 17.08.2015; бюл. № 8.
2. Абилжанов Д.Т. Обоснование параметров сепаратора мелкой листовой части трав / Д.Т. Абилжанов, Т. Абилжанулы // Тракторы и сельхозмашины. 2014. № 8. С. 16–18.
3. Әбілжанұлы Т. Кішігірім шөп кептіргіш қондырғының параметрлерін оңтайландыру / Т. Әбілжанұлы, Д.Т. Әбілжанов, К.Н. Нұрлыбаев, А. Бақыт // Жаршы. 2014. № 2. Б. 47–51.
4. Абилжанов Д.Т. Определение качества витаминно-травяной муки из листовой части трав / Д.Т. Абилжанов, Ы.Д. Осмонов // Известия вузов Кыргызстана. 2018. № 4. С. 32–38.
5. Абилжанов Д.Т. Разработка технологии и линии приготовления витаминно-травяной муки из листовой части трав / Д.Т. Абилжанов, Т. Абилжанулы // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 2. С. 32–35.
6. Абилжанов Д.Т. Теоретическое обоснование кинематического режима сепаратора мелкой листовой части трав / Д.Т. Абилжанов // Тракторы и сельхозмашины. 2014. № 7. С. 32–35.
7. Абилжанов Д.Т. Обоснование диаметра отверстий решета сепаратора листовой части трав / Д.Т. Абилжанов, Т. Абилжанулы, В.Я. Гольяпин, Б.А. Оразов // Техника и оборудование для села. 2017. № 8 (242).