

Т.Абилжанулы<sup>1\*</sup>, Д.Т.Абилжанов<sup>1</sup>, Н.М.Хамитов<sup>2</sup>, Р.М.Искаков<sup>3</sup>,  
Д.Н.Оразахын<sup>2</sup>, Е.В. Найдено<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ТОО «Научно – производственный центр Агроинженерии», г.Алматы, Казахстан,  
[abilzhanuly.kazniimesh@mail.ru](mailto:abilzhanuly.kazniimesh@mail.ru), [abilzhaly.kazniimesh@mail.ru](mailto:abilzhaly.kazniimesh@mail.ru), [lenamai@mail.ru](mailto:lenamai@mail.ru)

<sup>2</sup> Казахский национальный аграрный исследовательский университет, г. Алматы,  
Казахстан, [Nurmakh53@mail.ru](mailto:Nurmakh53@mail.ru), [darhan.suan@mail.ru](mailto:darhan.suan@mail.ru)\*

<sup>3</sup> Казахский аграрно – технический исследовательский университет им.С.Сейфуллина,  
Астана, Казахстан, [rus.iskakov79@mail.ru](mailto:rus.iskakov79@mail.ru)

## ОБОСНОВАНИЕ СКОРОСТИ НОЖА И ЛОПАТКИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ДАЛЬНОСТИ ВЫБРАСЫВАЕМОЙ МАССЫ ЧЕРЕЗ ДЕФЛЕКТОР КОРМОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА

### Аннотация

При движении кормовой массы по круговому участку дефлектора появляется сила трения, возникающая за счет центробежной силы. Составлено дифференциальное уравнение движения корма по этому участку и получено аналитическое выражение для определения скорости кормовой массы на выходе из дефлектора. При движении корма по круговому участку дефлектора происходит снижение скорости в 2,47 раза.

Рассмотрен процесс движения кормовой массы после выхода из дефлектора в горизонтальном направлении. Получено аналитическое выражение для определения дальности полета массы до снижения ее скорости до скорости витания стебельных кормов. Учитывая физико-механические свойства кукурузного стебля, проведены расчеты по определению дальности полета измельченных стеблей. Требуемое расстояние дальности полета массы в горизонтальном направлении было определено в пределах 12,0...13,0 м. Полученное расстояние соответствует скоростям выхода кормовой массы из дефлектора, имеющим значения 14...16 м/с. Данные требуемые значения скорости выхода корма из дефлектора соответствуют оптимальным значениям окружной скорости ножа и лопасти, имеющим в пределах 35...40 м/с. Эти определенные значения в результате теоретических исследований соответствуют рабочим скоростям ножа современных кормоуборочных комбайнов, что доказывает достоверность теоретических исследований.

**Ключевые слова:** кормоуборочный комбайн, дефлектор, скорость массы, дальность выброса, скорость.

### Введение

Повышение производства продукции животноводства связано с кормлением скота полнорационными кормосмесями, состоящими из измельченного сена, кукурузного силоса или сенажа, и комбикормов. Заготовка измельченного сена, кукурузного силоса и сенажа осуществляется кормоуборочными комбайнами. Около 70% фермерских хозяйств страны имеют до 100 голов крупного рогатого скота или до 700 овец. На этих фермах для заготовки стебельных кормов необходимо применять малогабаритные комбайны типа КСД-2 или машины, обеспечивающие скашивание кукурузы на 2-х рядах.

Получены аналитические выражения для определения средней длины предварительно измельченных частиц корма в зависимости от расстояния между гранями смежных ножевых рабочих органов, т. е. от шага их расположения в ряды [1]. При этом молотки с режущими кромками измельчают влажную массу, а также создают воздушный поток и работают как ускорители потока на высокой скорости.

В работе [2] отмечается, что при производстве кормовой муки особое внимание следует уделять оборудованию, сочетающему процессы сушки с одновременным измельчением и

перемешиванием кормовых частиц в одном устройстве. В то же время использование конвективной сушки позволяет эффективно перемещать частицы кормовой массы через рабочие зоны сушки-измельчения и сушки-смешивания.

В работе [3] исследуются ударные элементы кормодробилки, интенсифицирующие процесс измельчения за счет использования зубчатых поверхностей ударных элементов, что позволяет получить большее количество трещин в частицах кормовой массы. При этом движение кормовой массы происходит посредством вращающегося ротора с рядом ударных элементов. В рассматриваемой работе рассмотрен процесс транспортировки измельченной массы в дефлекторе кормоуборочного комбайна. Получены аналитические выражения для определения скорости движения частицы по стенкам дефлектора [4]. Однако в работе не получена зависимость скорости ножа от скорости движения измельченной массы.

В диссертационной работе обоснованы параметры подвижной верхней стенки дефлектора выгрузного трубопровода в зависимости от процесса загрузки кузова транспортных средств [5]. В статье приведены основные технические характеристики самоходных кормоуборочных комбайнов. Отсюда известно, что их окружные скорости измельчающих барабанов находится в пределах 32,5...39,5 м/с. В этих машинах для транспортировки массы применяются специальные ускорители потока.

Таким образом, обзор литературных данных показал, что ученые занимаются модернизацией основных узлов измельчителей, в том числе и приготовлением кормов, а также большое внимание уделяют обоснованию параметров рабочих органов измельчителей. Также из обзора следует, что работа мелющих тел и скорость их резания имеют важное значение при выполнении технологического процесса.

В процессе обоснования окружной скорости измельчающих рабочих органов во многих случаях ее значения оптимизируются в зависимости от качества измельченных кормов. С другой стороны, при транспортировке измельченного влажного корма через дефлектор также важна окружная скорость измельчающего ротора. При этом известно, что при выбрасывании кормовой массы лопастями измельчающего ротора его начальная скорость должна быть достаточной для того, чтобы кормовая масса покинула дефлектор без задержки, т. е. без забивания трубы дефлектора.

*Цель исследования* – определить рациональное значение окружной скорости лопатки измельчающего ротора в условиях транспортирования сырой измельченной кормовой массы по дефлектору кормоуборочного комбайна.

Для достижения этой цели решаются следующие задачи:

- теоретическое определение скорости кормовой массы на выходе из дефлектора;
- определение дальности выброса массы при горизонтальном ее перемещении;
- исходя из достаточной дальности выброса массы определение рационального значения окружной скорости ножа и лопатки.

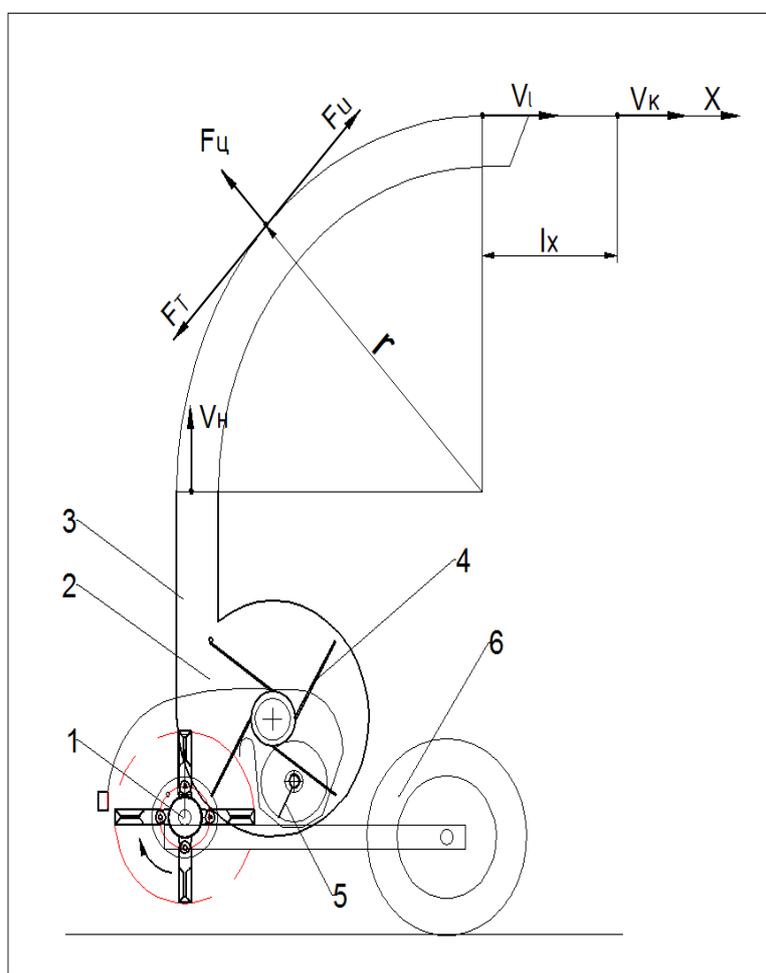
#### ***Методы и материалы***

При теоретическом решении задач по определению скорости кормовой массы на криволинейном участке дефлектора и в горизонтальном движении массы составлены дифференциальные уравнения движения массы, используя методы теоретической механики. Для определения достоверности полученных аналитических выражений использованы методы по определению физико-механических свойств сельскохозяйственных растений. В частности были определены основные физико-механические свойства кукурузных стеблей по ГОСТу 28287, ОСТ 10.8.2, ОСТ 10.23.5, которые были использованы для расчета при определении скорости движения кормовой массы по дефлектору и по горизонтали. Для определения физико-механических свойств кукурузных стеблей использовали поверенные приборы испытательной лаборатории центра: сушильный шкаф, весы MW-II Series -3000B, линейные размеры проводили по ГОСТ 26025 с помощью линейки по ГОСТ 427 и рулетки по ГОСТ 7502.

#### ***Результаты и обсуждение***

#### **Теоретическое определение скорости кормовой массы на выходе из дефлектора**

Среди существующих прицепных кормоуборочных комбайнов хорошо зарекомендовал себя на практике Российский комбайн КСД-2,0 [6]. Данный комбайн состоит из скашивающего ротора 1, измельчающего ротора 2, дефлектора 3, лопатки с ножами 4, консольного шнека 5 и ходового колеса 6 (рисунок 1).



**Рисунок 1** - Схема кормоуборочного комбайна КСД-2,0

По технологической схеме скошенная масса консольным шнеком направляется в камеру измельчения. В камере измельчения из поступающего слоя с ножом ротора разрезается определенная порция корма, и она лопатками ротора выбрасывается в трубу дефлектора. Затем кормовая масса, выходя из дефлектора, направляется в кузов тележки или рядом движущего транспортного средства. Из-за малости длины вертикального участка дефлектора значение скорости кормовой массы в начале криволинейного участка будем считать равной окружной скорости ножа.

При движении кормовой массы по круговому участку дефлектора на нее действуют центробежная сила и сила трения. Здесь значение силы веса корма по сравнению с центробежной силой незначительное. Практические расчеты показали, что значение центробежной силы в 30 раз больше значения силы веса кормов. Кроме того, в начале участка создает сопротивление ее тангенциальная составляющая, а в конце участка сила веса не создает сопротивление, а наоборот уменьшает силу трения. Поэтому считаем, что силой веса можно пренебречь.

При работе измельчающего ротора в дефлекторе создается воздушный поток. Значение скорости потока равно 35 % от скорости по концам ножей или лопаток. Хотя вначале участка выбрасываемая масса испытывает сопротивления воздуха, и в дальнейшем скорость кормовой массы и воздушного потока выравниваются [7]. Поэтому сопротивлением воздушного потока

внутри дефлектора можно пренебречь. Рассматривая движение кормовой массы по круговому участку дефлектора, составляем дифференциальное уравнение движения кормовой массы [7]:

$$\frac{mvdv}{dl} = \frac{mv^2}{r} f, \quad (1)$$

где  $m$  – масса корма, выбрасываемого лопатками измельчающего ротора, кг;

$v$  – скорость движения массы, м/с;

$l$  – путь движения корма по круговому участку дефлектора, м;

$r$  – радиус кривизны внешней стенки дефлектора, м;

При решении данного уравнения необходимо определить значение скорости движения массы в конце кругового участка дефлектора. Для ее определения необходимо интегрировать уравнения (1). При этом, скорость движения корма в начале участка равна скорости движения ножа и в конце дефлектора равная  $v_l$ , а длина пути движения корма в начале  $l=0$  и в конце равна длине четверти окружности с радиусом  $r$ . Из формулы (1), разделив переменные, получим

$$\frac{vdv}{v^2} = -\frac{f}{r} dl, \quad (2)$$

Интегрируя данное уравнение, получим:

$$\frac{1}{2} \int_{v_H}^{v_l} \frac{2v}{v^2} dv = -\frac{f}{r} \int_0^{\frac{\pi r}{2}} dl,$$

После преобразования, получим:

$$\frac{1}{2} (\ln v^2) \Big|_{v_H}^{v_l} = -\frac{f}{r} (l) \Big|_0^{\frac{\pi r}{2}},$$

Дальнейшее преобразование позволяет получить логарифмическое уравнение:

$$\ln v_l^2 - \ln v_H^2 = -\frac{2f}{R} \frac{\pi R}{2},$$

$$\ln v_H^2 = f\pi. \quad (3)$$

Полученное логарифмическое выражение можно представить в следующем виде:

$$\frac{v_l^2}{v_H^2} = e^{-f\pi} = \frac{1}{e^{\pi}},$$

Преобразуя данное уравнение, получим:

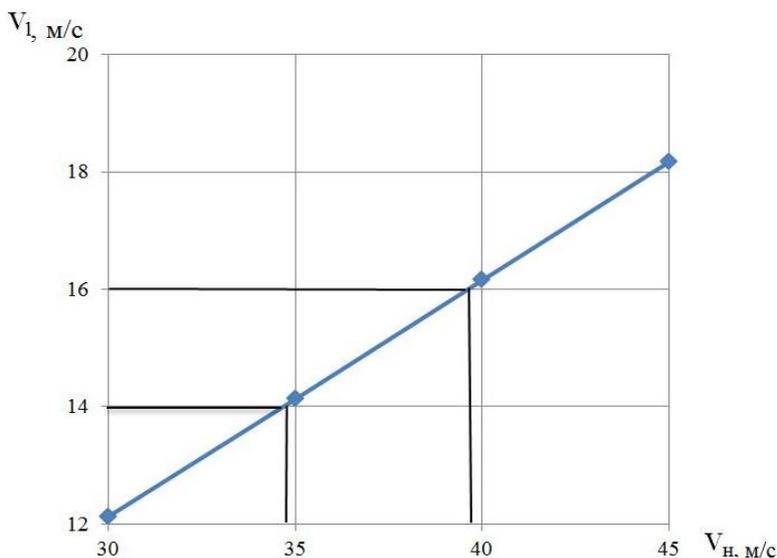
$$v_l^2 = \frac{v_H^2}{e^{f\pi}}.$$

После преобразования, получим формулу для определения скорости движения кормовой массы на выходе из дефлектора:

$$v_l = \sqrt{\frac{v_H^2}{e^{f\pi}}}. \quad (4)$$

Таким образом, получено аналитическое выражение для определения скорости массы на выходе из дефлектора. Учитывая, что окружная скорость ножей и лопастей кормоуборочного

комбайна КСД-2,0 в рабочем режиме варьируется в пределах 38...45 м/с, на этих окружных скоростях ножа были проведены расчеты по полученной формуле (3) для определения скорости корма на выходе из дефлектора. При этом экспериментально определено, что значение коэффициента трения кормовой массы  $f=0,5774$ . Результаты расчета приведены на рисунке 2.



**Рисунок 2-** Значение скорости корма на выходе из дефлектора в зависимости от скорости ножа измельчающего ротора

Из рисунка 2 видно, что в процессе движения по круговому участку кормовая масса снижает свою скорость в 2,47 раза и эта скорость соответствует скорости воздушного потока, выходящего из дефлектора. Это показывает сходимость теоретических результатов к действительным значениям скорости выходящего потока из дефлектора.

#### **Определение дальности выброса массы при ее горизонтальном перемещении**

Из расчета стало известно, что кормовая масса при выходе из дефлектора в зависимости от скорости ножа имеет различную скорость. При этом, кормовая масса должна долететь до заднего борта тележки, т. е. данное расстояние составляет около 6-ти метров. В данном случае в конце пути движения кормовая масса должна иметь определенную скорость. Значение скорости корма около заднего борта тележки должно быть равно скорости витания измельченных стебельных кормов. Данное утверждение связано с тем, что когда скорость корма станет меньше скорости витания, и в тот момент она будет падать вниз. Кормовые материалы имеют скорость витания в пределах 6,0...9,5 м/с [9]. Поэтому кормовая масса около заднего борта тележки должна иметь скорость 8,0 м/с. В зависимости от скорости выхода из дефлектора кормовая масса до снижения скорости 8,0 м/с проходит определенное расстояние. Известно, что значение данного расстояния зависит от скорости выхода массы из дефлектора или от скорости ножа и лопасти измельчающего ротора. С другой стороны данное расстояние должно быть в пределах 6,0...8,0 метров. Отсюда ясно, что получить теоретическую зависимость является решением актуальной задачи, обеспечивающей определение рационального значения окружной скорости ножа и лопатки измельчающего ротора.

При перемещении кормовой массы в горизонтальном направлении на него действуют силы инерции и сопротивления воздуха, и это выражается дифференциальным уравнением [20] (рисунок 1):

$$mv_x \frac{dv_x}{dx} = -\frac{c_x \rho S v_x^2}{2}, \quad (5)$$

где  $v_x$  – скорость движения кормовой массы по оси  $x$ , м/с;

$c_x$ – коэффициент лобового сопротивления воздуха;

$\rho$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;

$S$  – площадь проекции частицы на плоскость перпендикулярную направлению движения частицы, м<sup>2</sup>.

После разделения переменных:

$$m \frac{v_x dv_x}{v_x^2} = -\frac{c_x \rho S}{2} dx,$$

После преобразования уравнение (5) имеет вид:

$$\frac{dv_x}{v_x} = -\frac{c_x \rho S}{2m} dx. \quad (6)$$

Учитывая значения начальной ( $v_l$ ) конечной ( $v_k$ ) скорости движения кормовой массы и считая, что в начале  $x=0$ , а в конце пути движения кормовой массы  $x=l$  и интегрируя уравнение (6), получим:

$$\int_{v_l}^{v_k} \frac{dv_x}{v_x} = -\frac{c_x \rho S}{2m} \int_0^{l_x} dx,$$

После преобразования имеем:

$$\ln v_k - \ln v_l = -\frac{c_x \rho S}{2m} l_x$$

Далее, преобразуя исходное уравнение, получим:

$$\frac{c_x \rho S}{2m} l_x = -(\ln v_k - \ln v_l) = \ln v_l - \ln v_k = \ln \frac{v_l}{v_k}.$$

Преобразуя приведенное выше уравнение, получим формулу для определения длины пути движения кормовой массы:

$$l_x = \frac{2m}{c_x \rho S} \ln \frac{v_l}{v_k}. \quad (7)$$

Таким образом, получено аналитическое выражение для определения длины пути движения кормовой массы до снижения скорости  $v_k = 8,0$  м/с.

Известно, что для проведения расчета необходимо выбрать вид кормовой массы и должны быть некоторые ее физико-механические показатели. Кроме того, при работе кормоуборочного комбайна основным энергоемким процессом является процесс заготовки кукурузного силоса. Поэтому были определены некоторые физико-механические показатели кукурузных стеблей сорта Алтай 319, выращиваемых на поле крестьянского хозяйства «Адал» Карасайского района, Алматинской области.

**Таблица 1** - Физико – механические показатели кукурузных стеблей во время их уборки на силос.

Вид корма	Средняя высота, м	Средний диаметр, м	Средняя масса, кг	Количество стеблей на 1 м длины ряда, шт.	Влажность стеблей, %
Кукуруза	2,43	0,0258	1,35	4	80,84

Для расчета выбираем основные параметры кормоуборочного комбайна КСД-2,0 и они следующие: радиус измельчающего ротора по концам ножей –0,45 м; частота вращения измельчающего ротора – 800 мин<sup>-1</sup>; количество ножей на роторе– 6 шт.; диаметр консольного

шнека– 0,3 м; шаг витка шнека– 0,3м; частота вращения шнека – 400 мин<sup>-1</sup>; скорость движения агрегата – 1,0 м/с.

При выбранной частоте ротора скорость по концам ножей лопатки равна 37,68 м/с и скорость перемещения кормовой массы с консольным шнеком равна – 2,0 м/с. Считая, что кукурузное поле высокоурожайное, поэтому скашивание кукурузы будет осуществлено в двух рядах. Известно, что на одном метре в двух рядах имеется 8 стеблей с массой 10,8 кг. При этом скорость перемещения массы шнеком в 2,0 раза быстрее по сравнению со скоростью движения агрегата. Поэтому кормовая масса в камеру измельчения со шнеком будет подаваться с производительностью 5,4 кг/с. Определяем значение времени, затрачиваемое на поворот ротора на угол, имеющийся между рядами ножей, и оно определяется по формуле:

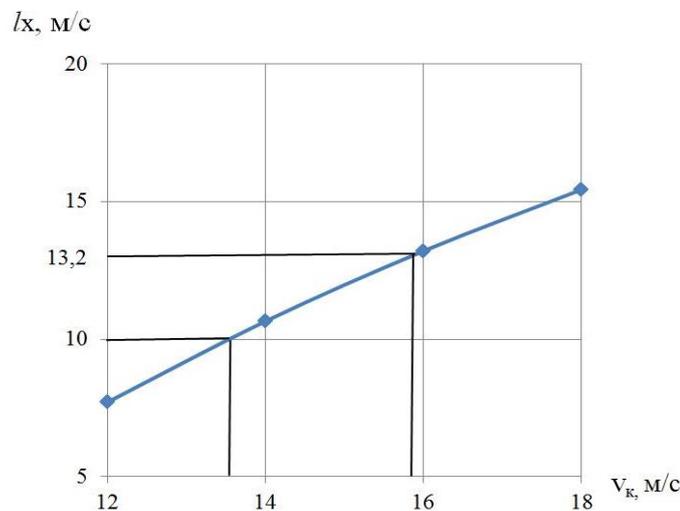
$$t_k = \frac{60}{nk} = \frac{60}{800 * 6} = 0,0125 \text{ с.} \quad (8)$$

где  $n$  – частота вращения измельчающего ротора, мин<sup>-1</sup>;  
 $k$  – количество ножей измельчающего ротора, шт.

Если шнек подает кормовую массу в камеру измельчения с производительностью  $Q=5,4$  кг/с, то масса корма, выделенного одним ножом, определяется по формуле:

$$m_k = Q t_k = 5,4 * 0,0125 = 0,0675 \text{ кг.} \quad (9)$$

Когда известны средние значения массы и длины одного стебля, то можно определить удельную массу стеблей, и она равна 0,555 кг/м. Теперь массу, выделенную одним ножом ротора, представим как отрезок кукурузного стебля, имеющий длину 0,122 метра, а ширину данного отрезка можно представить как ширину сплющенного стебля, равную половине длины окружности от среднего диаметра стеблей, и она равна 0,0405 м. Зная параметры отрезка стебля, можно определить площадь его миделевого сечения, т.е.  $s=0,122*0,0405=0,005$  м<sup>3</sup>. Для определения дальности выброса массы до снижения ее скорости и до скорости витания стебельных кормов необходимы значения коэффициента лобового сопротивления и плотности воздуха. При этом, для плоских тел значение коэффициента равно 1,1, а плотность воздуха – 1,29 кг/м<sup>3</sup> [10,11]. Учитывая, что скорость при ее выходе из дефлектора находилась в пределах 12...18 м/с и при этих скоростях по полученной формуле определены значения длины пути движения массы. Результаты расчета приведены на рисунке 3. Из рисунка видно, что при скорости выхода корма из дефлектора 12 м/с значение пути движения корма 7,0 метров, то данное расстояние соответствует максимальному значению требуемой длины. Однако, кормовая масса достигала до заднего борта тележки без задержки, то наверняка рациональным значением данной длины является  $l=10...13$  м.



**Рисунок 3** -Влияние скорости выхода корма из дефлектора на значение длины выброса массы

**Определение рационального значения окружной скорости ножа и лопатки.** Для того, чтобы выбрасываемая масса из дефлектора достигала заднего борта тележки со скоростью чуть больше скорости витания корма, необходимая дальность выброса влажных стебельных кормов должна быть в пределах 10... 13 метров, а из рисунка 3 видно, что вышеуказанные дальности выброса массы соответствуют значениям скорости выхода массы из дефлектора, которые равны 14...16 м/с. Из рисунка 2 видно, что полученные рациональные значения скорости выхода влажных стебельных кормов соответствуют окружным скоростям ножа в пределах 35...40 м/с. Эти полученные значения скорости ножа соответствуют оптимальным скоростям ножа современных прицепных комбайнов КСД-2,0 и КПК-2,1 «Булат». Это показывает достоверность полученных аналитических выражений и их практическую значимость, которые обеспечивают определение оптимальных значений окружной скорости ножа в зависимости от вида стебельных кормов.

**Анализ результатов исследований по обоснованию скорости ножа и лопатки в зависимости от условия выгрузки кормовой массы через дефлектор комбайна.** В результате теоретических исследований получены формулы для определения скорости выхода массы из дефлектора в зависимости от скорости ножа и дальности полета корма в горизонтальном направлении. Полученные выражения дают возможность определения оптимального значения окружной скорости ножа и лопатки комбайна по новой методике. При этом, вначале выбирается самый трудный технологический процесс работы комбайна. С учетом предела варьирования скорости ножа и физико-механических свойств корма по формуле вычисляются значения скорости выхода массы из дефлектора, затем при этих скоростях определяется дальность полета корма в горизонтальном направлении. С учетом параметров прицепных устройств определяется требуемая дальность выброса массы. Используя требуемую дальность полета массы, определяется значение требуемой скорости выхода массы из дефлектора. Далее значение требуемой скорости выхода массы из дефлектора дает возможность определения оптимального значения окружной скорости ножа и лопатки измельчающего ротора. В работе рассмотрен процесс движения кормовой массы по криволинейному дефлектору. Однако в теоретических исследованиях не получено аналитическое выражение для определения скорости выхода массы из дефлектора. В исследованиях рассмотрен процесс загрузки кормов в кузов транспортных средств. Здесь рассмотрены процессы загрузки кормов в различные места кузова транспортных средств. В данной работе также не получены аналитические выражения для определения скорости выхода массы из дефлектора и дальности ее полета в горизонтальном направлении. Анализ литературных источников показал, что нами не обнаружена подобная методика определения окружной скорости ножа комбайна. При использовании полученных выражений для расчета скорости ножа при обработке различных материалов особых ограничений нет. В проведенных исследованиях, как недостаток, можно отметить, что при определении скорости массы на выходе из дефлектора не рассмотрена сила тяжести корма. В данном случае для исключения силы тяжести из рассмотрения имеются несколько причин. Во-первых, значение силы тяжести более 30 раз меньше центробежной силы циркулируемого корма. Во-вторых, сопротивление движению создает тангенциальная составляющая силы тяжести и при подъеме массы постоянно снижается, а в верхней части дефлектора она стремится к нулю. Нормальная составляющая силы тяжести снижает силу трения. Поэтому можно считать, что сопротивление к циркулирующей массе от силы тяжести очень незначительное, поэтому ею можно пренебречь. Кроме того, исключение из рассмотрения силы тяжести облегчает решение дифференциального уравнения.

**Выводы**

1. Известно, что при движении кормовой массы по круговому участку дефлектора появляется сила трения, возникающая за счет центробежной силы. Составлено дифференциальное уравнение движение корма по этому участку и получено аналитическое

выражение для определения скорости кормовой массы на выходе из дефлектора. Проведены расчёты по полученной формуле и при значениях скорости ножа 30...45 м/с, а скорость выхода кормовой массы из дефлектора варьировалась в пределах 12,12...18,17 м/с. При движении корма по круговому участку дефлектора происходит снижение скорости в 2,47 раза.

2. Рассмотрен процесс движения кормовой массы после выхода из дефлектора в горизонтальном направлении. Получено аналитическое выражение для определения дальности полета массы до снижения ее скорости до скорости витания стебельных кормов. Учитывая физико-механические свойства кукурузного стебля, проведены расчеты по определению дальности полета измельченных стеблей кукурузы сорта Алтай 319. Результаты расчета показали, что при значениях скорости выхода массы из дефлектора от 12 до 18 м/с дальность полета измельченных стеблей находилась в пределах 7,71...15,43 м.

3. Учитываем расстояние от конца дефлектора до заднего борта транспортных средств, которое равно 6,0...8,0 метров. Поэтому, как требуемое расстояние дальности полета массы в горизонтальном направлении, было определено в пределах 12,0...13,0 м. Полученное расстояние соответствует скоростям выхода кормовой массы из дефлектора, имеющим значения 14...16 м/с. Данные требуемые значения скорости выхода корма из дефлектора соответствуют оптимальным значениям окружной скорости ножа и лопасти, имеющим в пределах 35...40 м/с. Эти определенные значения в результате теоретических исследований соответствуют рабочим скоростям ножа современных кормоуборочных комбайнов, что доказывает достоверность теоретических исследований.

Статья оформлена в результате теоретических исследований, проведенных при выполнении плана работ по реализации проекта №АР 19687816 «Разработка малогабаритного кормоуборочного комбайна, снабженного устройством, ориентирующим по длине стеблей» по грантовому финансированию Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.

#### Список источников

1. Abilzhanuly, T., Iskakov, R., Abilzhanov, D. and Darkhan, O. 2023. Determination of the Average Size of Preliminary Grinded Wet Feed Particles in Hammer Grinders. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1(1 (121), 34–43. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.268519>.
2. Iskakov, R., Sugirbay, A. 2023. Technologies for the Rational Use of Animal Waste: A Review. Sustainability, 15(3): <https://doi.org/10.3390/su15032278>.
3. Iskakov, R.M., Mamirbaeva, I.K., Gulyarenko, A.A., Silaev, M.Y., Gusev, A.S. 2022. Improved Hammers for Crushers in Feed Production. Russian Engineering Research, 42(10), pp. 987–992. <https://doi.org/10.3103/S1068798X22100124>.
4. Козлов В. М. Оптимизация процесса транспортировки измельченной массы в роторном кормоуборочном комбайне: автореф. дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук.– Москва, 2005.–22 с.
5. Марына А. А. Повышение эффективности процесса загрузки транспортных средств кормоуборочным комбайном путем оптимизации конструктивно–режимных параметров дефлектора: автореферат дисс. На соискание ученой степени канд. техн. наук.– Саратов, 2007.–22 с.
- 6.[Электронный ресурс] URL: [https://www.selhoz-ufa02.ru/goods/124690026-kombayn\\_kormouborochny\\_pritsepnou\\_sterh\\_xd\\_2\\_0](https://www.selhoz-ufa02.ru/goods/124690026-kombayn_kormouborochny_pritsepnou_sterh_xd_2_0).
7. Абилжанулы Т. Кормоприготовительные машины для крестьянских хозяйств и других агроформирований.– Астана: АО КазАТУ им С. Сейфуллина, 2007. –200 с.
8. Тарг, С.М. 1986. Краткий курс теоретической механики. Москва: Высшая школа, 416 с.
9. Справочник конструктора сельскохозяйственных машин: в двух томах /под редакцией инж. Красниченко А. В. – Том 1.– М., 1960.– 656 с.
10. Стрелков С.П. Механика.– Москва: Наука, 1975.– 560 с.

11. Детлаф, А.А. 1973. Курс физики. – Москва: Высшая школа, 384 с.

### References

1. Abilzhanuly, T., Iskakov, R., Abilzhanov, D. and Darkhan, O. 2023. Determination of the Average Size of Preliminary Grinded Wet Feed Particles in Hammer Grinders. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1(1) (121), 34–43. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.268519>.
2. Iskakov, R., Sugirbay, A. 2023. Technologies for the Rational Use of Animal Waste: A Review. Sustainability, 15(3): <https://doi.org/10.3390/su15032278>.
3. Iskakov, R.M., Mamirbaeva, I.K., Gulyarenko, A.A., Silaev, M.Y., Gusev, A.S. 2022. Improved Hammers for Crushers in Feed Production. Russian Engineering Research, 42(10), pp. 987–992. <https://doi.org/10.3103/S1068798X22100124>.
4. Kozlov V. M. Optimizatsiya protsessa transportirovri izmel'chennoj massy v ro-tornom kormoborochnom kombajne: avtoref. diss. na soiskanie uchenoj stepeni kand. tehn. nauk.– Moskva, 2005.–22 s.
5. Maryna A. A. Povyshenie `effektivnosti protsessa zagruzki transportnyh sredstv kormoborochnym kombajnom putem optimizatsii konstruktivno–rezhimnyh para-metrov deflektora: avtoreferat diss. Na soiskanie uchenoj stepeni kand. tehn. nauk.– Sa-ratov, 2007.–22 s.
- 6.[Elektronnyi resurs] URL: [https://www.selhoz-ufa02.ru/goods/124690026-kombayn\\_kormoborochny\\_pritsepnoy\\_sterh\\_xd\\_2\\_0](https://www.selhoz-ufa02.ru/goods/124690026-kombayn_kormoborochny_pritsepnoy_sterh_xd_2_0).
7. Abilzhanuly T. Kormoprigitovitel'nye mashiny dlja krest'janskikh hoz'jajstv i drugih agroformirovanij.– Astana: AO KazATU im S. Sejfullina, 2007. –200 s.
8. Targ, S.M. 1986. Kratkij kurs teoreticheskoy mehaniki. Moskva: Vysshaja shkola, 416s.
9. Spravochnik konstruktora sel'skohoz'jajstvennyh mashin: v dvuh tomah /pod redak-tsiej inzh. Krasnichenko A. V. – Tom 1.– M., 1960.– 656 s.
10. Strelkov S.P. Mehanika.– Moskva: Nauka, 1975.– 560 s.
11. Detlaf, A.A. 1973. Kurs fiziki. – Moskva: Vysshaja shkola, 384 s.

**Т.Әбілжанұлы<sup>1</sup>\*, Д.Т. Әбілжанов<sup>1</sup>, Н.М. Хамитов<sup>2</sup>, Р. М. Ысқақов<sup>3</sup>,  
Д.Н.Оразахын<sup>2</sup>, Е.В. Найдено<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> «Агроинженерия ғылыми – өндірістік орталығы» ЖШС, Алматы қаласы, Қазақстан Республикасы, [abilzhanuly.kazniimesh@mail.ru](mailto:abilzhanuly.kazniimesh@mail.ru), [abilzhaly.kazniimesh@mail.ru](mailto:abilzhaly.kazniimesh@mail.ru), [lenamai@mail.ru](mailto:lenamai@mail.ru)

<sup>2</sup> Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, Алматы қаласы, Қазақстан Республикасы, [Nurmakh53@mail.ru](mailto:Nurmakh53@mail.ru), [darhan.suan@mail.ru](mailto:darhan.suan@mail.ru)\*

<sup>3</sup> С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қаласы, Қазақстан Республикасы, [rus.iskakov79@mail.ru](mailto:rus.iskakov79@mail.ru)

### **ЖЕМШӨП ЖИНАЙТЫН КОМБАЙННІҢ ДЕФЛЕКТОРЫ АРҚЫЛЫ ШЫҒАРЫЛАТЫН МАССАНЫҢ АЛЫСТЫҒЫНА БАЙЛАНЫСТЫ ПЫШАҚ ПЕН ҚАЛАҚШАНЫҢ ЖЫЛДАМДЫҒЫН НЕГІЗДЕУ**

#### **Аңдатпа**

Азықтың массаның дефлектордың дөңгелек бөлігі бойымен қозғалуы кезінде центрифугалық күштің әсерінен пайда болатын үйкеліс күші пайда болады. Осы учаске бойынша жем қозғалысының дифференциалдық теңдеуі жасалды және дефлектордан шыққан кезде жем массасының жылдамдығын анықтау үшін аналитикалық өрнек алынды. Дефлектордың дөңгелек учаскесінде жем қозғалғанда жылдамдық 2,47 есе төмендейді.

Дефлектордан көлденең бағытта шыққаннан кейін жем массасының қозғалысы қарастырылады. Массаның ұшу қашықтығын оның жылдамдығын сабақтың қоректену жылдамдығына дейін төмендеткенге дейін анықтау үшін аналитикалық өрнек алынды. Жүгері сабағының физика-механикалық қасиеттерін ескере отырып, ұсақталған сабақтардың ұшу қашықтығын анықтау үшін есептеулер жүргізілді.

Көлденең бағытта массаның ұшу қашықтығының қажетті қашықтығы 12,0...13,0 м

шегінде анықталды. Алынған қашықтық 14...16 м/с мәндері бар дефлектордан жем массасының шығу жылдамдығына сәйкес келеді. Дефлектордан жем шығару жылдамдығының қажетті мәндері 35...40 м/с шегінде болатын пышақ пен пышақтың айналмалы жылдамдығының оңтайлы мәндеріне сәйкес келеді. Теориялық зерттеулердің нәтижесінде бұл белгілі бір мәндер қазіргі заманғы жем-шөп жинайтын комбайндардың пышағының жұмыс жылдамдығына сәйкес келеді. Сондықтан бұл орындалған теориялық зерттеулердің дұрыстығын дәлелдейді.

**Кілт сөздер:** жемшөп жинайтын комбайн, дефлектор, масса жылдамдығы, шығару қашықтығы, пышақ жылдамдығы.

*T.Abilzhanuly<sup>1</sup>\*, D.T.Abilzhanuly<sup>1</sup>, N.M.Khamitov<sup>2</sup>, R.M.Iskakov<sup>3</sup>,  
D.N.Orazakhyn<sup>2</sup>, E.V. Naidenko<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> "Scientific and Production Center Agroengineering" LLP, Almaty, Republic of Kazakhstan, [abilzhanuly.kazniimesh@mail.ru](mailto:abilzhanuly.kazniimesh@mail.ru), [abilzhaly.kazniimesh@mail.ru](mailto:abilzhaly.kazniimesh@mail.ru), [lenamai@mail.ru](mailto:lenamai@mail.ru)

<sup>2</sup> Kazakh national agrarian research university, Almaty, Republic of Kazakhstan, [Nurmakh53@mail.ru](mailto:Nurmakh53@mail.ru), [darhan.suan@mail.ru](mailto:darhan.suan@mail.ru)\*

<sup>3</sup> "Kazakh Agrotechnical Research University named after Saken Seifullin", Astana, Republic of Kazakhstan, [rus.iskakov79@mail.ru](mailto:rus.iskakov79@mail.ru)

### **JUSTIFICATION FOR THE SPEED OF A KNIFE AND BLADE DEPENDING ON THE RANGE OF THE EJECTABLE MASS THROUGH THE DEFLECTOR OF A FORAGE HARVESTER**

#### **Abstract**

As the aft mass moves along the circular section of the deflector, a friction force arises due to centrifugal force. A differential equation has been drawn up for the movement of the feed along this section and an analytical expression has been obtained for determining the speed of the aft mass at the outlet from the deflector. When the feed moves along the circular section of the deflector, the speed decreases by 2.47 times.

The process of movement of the aft mass after exit from the deflector in a horizontal direction is considered. An analytical expression for determining the range of flight of a mass before reducing its speed to the speed of vital of stem feeds is obtained. Taking into account the physical-mechanical properties of the corn stem, calculations were made to determine the range of the crushed stems.

The required distance of the mass range in the horizontal direction has been determined within 12.0... 13.0 m. The distance obtained corresponds to the exhaust velocities of the aft mass from the deflector of 14... 16 m/s. These required values of the feed exit rate from the deflector correspond to the optimal values of the circumferential speed of the knife and blade having within 35... 40 m/s. These definite values as a result of theoretical research correspond to the working speeds of the knife of modern forage harvesters, which proves the validity of theoretical research.

**Key words:** forage harvester, deflector, mass speed, discharge range, speed