

Э. В. Дыба, В. В. Микульский

РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: dibua-18@mail.ru

ОБОСНОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ГРАБЛЕЙ-ВАЛКОВАТЕЛЕЙ ГРЕБЕНЧАТОГО ТИПА ГВГ-9,5

Аннотация. В статье представлено обоснование основных параметров граблей-валкователей гребенчатого типа ГВГ-9,5.

Ключевые слова: корма, травы, кормопроизводство, влажность, технология, скашивание, ворошение, сушка, качество, грабли-валкователи, параметры, граблина, скорость, производительность.

E. V. Dyba, V. V. Mikulski

RUE "SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization"

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: dibua-18@mail.ru

SUBSTANTIATION OF BASIC PARAMETERS OF COMB-TYPE RAKE RAKES GVG-9,5

Abstract. Justification of key parameters of a rake swath collectors of edge GVG-9.5 type is presented in article.

Keywords: feed, herbs, fodder production, humidity, technology, mowing, pickling, drying, quality, rake-rolls, parameters, rake, speed, productivity.

Введение

Интенсификация сельскохозяйственного производства на основе внедрения ресурсосберегающих технологий является стратегическим направлением, обеспечивающим прирост объемов производства всех видов сельскохозяйственной продукции. Так, например, в животноводческой отрасли до 2025 г. предусматривается достижение объемов производства молока на уровне не менее 8 959,5 тыс. т, выращивания крупного рогатого скота (КРС) – 700,7 тыс. т [1]. Естественно производство намеченных объемов молока и мяса немислимо без гарантированного обеспечения животных кормами, которые в структуре себестоимости продукции составляют 55–70 % от общих затрат. Наличие кормов и их качество являются основными факторами, определяющими продуктивность животных и эффективность производства молока и мяса.

Подсчитано, что для достижения намеченных объемов производства молока на уровне 8 959,5 тыс. т и мяса КРС – 700,7 тыс. т к 2025 г. необходимо обеспечить общее производство кормов для КРС питательностью 15 101,2 тыс. т к. ед. (концентрированные корма – 4872,9 тыс. т к. ед., травяные корма – 10 228,3 тыс. т к. ед.), содержание сырого протеина – 2 255,8 тыс. т (концентрированные корма – 730,9 тыс. т, травяные корма – 1 524,9 тыс. т). Потребность в травяных кормах должна составлять: зеленые корма – 12 912,2 тыс. т (2 330, 6 тыс. т к. ед.), сено – 1 143,7 тыс. т (549,0 тыс. т к. ед.), сенаж – 14 907,7 тыс. т (4 174,2 тыс. т к. ед.), силос – 19 456,0 тыс. т (5 447,7 тыс. т к. ед.) [1].

Как известно, качество травяных кормов, получаемых из скошенных трав, зависит от множества факторов, основным из которых является скорость их сушки (проявляющаяся) до кондиционной влажности. Однако неустойчивые погодные условия, характерные для нашей республики в период сенокоса, значительно усложняют эту задачу. Так, исследованиями доказано, что при сушке в хорошую погоду общие потери сухого вещества травы колеблются от 10 до 30 %, а при неблагоприятных погодных условиях они достигают 50 % и более, при этом отмечаются значительные потери протеинов и других питательных веществ [2].

Основная часть

В настоящее время при высоких урожаях зеленой массы в мировой практике, в частности, в Западной Европе, практикуются скашивание и укладка в прокос, а не в валок, для ускорения процесса сушки, поэтому все большее количество уборочных комплексов и косилок скашивают убираемую массу в широкие прокосы с последующим их ворошением. Этот прием позволяет ускорить процесс полевой сушки на 25–35 %. В условиях республики скашивание в прокос и интенсивное ворошение прокоса позволяют получить травяные корма кондиционной влажности в более короткие сроки. Соответственно, качество такого корма высокое, в нем максимально сохраняются каротин, протеин, углеводы и другие вещества, питательные и витаминные комплексы, влияющие на его энергетическую ценность. Дальнейшее досушивание и сохранение энергетической ценности травяных кормов во многом зависит от качества их сгребания в валки [3].

Анализ материалов, опубликованных в отечественной и зарубежной патентной и научно-технической литературе, показывает, что технологическая операция сгребания высушенной или провяленной массы выполняется с помощью граблей-валкователей ротационного (рис. 1) или колесно-пальцевого (рис. 2) типа. В настоящее время в нашей стране и за рубежом наибольшее распространение получили ротационные грабли, которые сгребают траву граблями, установленными на вращающихся роторах. Данные грабли имеют один, два, четыре или шесть роторов. Лидерами в области их производства являются зарубежные фирмы – Claas, Krone, Stoll (Германия), Kuhn (Франция), Pöttinger (Австрия), SIP (Словения) и другие; отечественные производители – ОАО «Управляющая компания холдинга «Боруйскагромаш», ОАО «Лидагропромаш».

Основное преимущество ротационных граблей-валкователей перед колесно-пальцевыми – минимальная чувствительность рабочих органов к засорению и препятствиям в виде камней, плотной растительности, кустарников, что и явилось основанием столь широкого их распространения. Однако несмотря на это ротационные грабли-валкователи имеют существенный технологический недостаток, который заключается в принципе работы самой машины.

Дело в том, что процесс сгребания травяной массы ротационными граблями-валкователями происходит путем волочения их по поверхности поля, в результате чего увеличивается вероятность увлечения за собой камней и других инородных тел в валок. При уборке таких валков увеличивается вероятность повреждения и выхода из строя рабочих органов кормоуборочной техники, что в свою очередь приводит к увеличению сроков уборки и потере кормов. Кроме того, высокая окружная скорость зубьев граблей (10–15 м/с) и постоянный их контакт с поверхностью почвы приводят к увеличению засорения формируемого валка землей и пылью (особенно при работе валкователя на сложном рельефе), а также к высоким потерям листьев и соцветий (особенно при многоукосной системе заготовки кормов) вследствие их интенсивного обивания. Все это влечет и потери энергетической ценности кормов.

Отличительной особенностью колесно-пальцевых граблей-валкователей от ротационных является то, что сгребание скошенной травы осуществляется с помощью вертикально вращающихся пальцевых рабочих колес, расположенных под углом в 45°–50° к линии движения машины.



Рис. 1. Ротационные грабли-валкователи Swadro фирмы KRONE



Рис. 2. Колесно-пальцевые грабли-валкователи QR 10 фирмы Sitrex S.P.A.

При этом привод пальцевых колес осуществляется не от вала отбора мощности трактора, как у ротационных машин, а от сил трения с растительной массой, расположенной на земле, что положительно отражается не только на стоимости машины, но и на технологическом процессе сгребания зеленой массы. Дело в том, что при работе колесно-пальцевых граблей-валкователей окружная скорость пальцев рабочих колес в несколько раз ниже, чем у зубьев ротационных граблей, благодаря чему режимы работы колесно-пальцевых граблей являются щадящими, а следовательно, их можно применять для валкования бобовых трав и бобово-злаковых смесей с многоукосной системой их заготовки [4].

Однако полное исключение засорения формируемого валка известными колесно-пальцевыми граблями-валкователями не представляется возможным, так как им присущ все тот же недостаток, что и ротационным граблям, заключающийся в принципе их работы – волочении.

В результате такого поиска фирмами Umwelttechnik (Германия), ELHO (Финляндия), Bergima Engineering (США), Repossi Macchine Agricole S.R.L. (Италия), New Holland North America (США) и другими были разработаны грабли-валкователи гребенчатого типа, принцип работы которых основан на минимальном контакте зубьев с поверхностью почвы (рис. 3).

Исследованиями данных фирм установлено, что именно благодаря минимальному контакту зубьев с поверхностью почвы земля и камни не поднимаются и не оседают на валке, что снижает риск повреждения рабочих органов кормоуборочного комбайна или пресс-подборщика, а также обеспечивает получение более высокого качества корма в сравнении с роторными или колесно-пальцевыми граблями-валкователями и схожие показатели в сравнении с ленточными валкователями. При этом стоимость граблей-валкователей гребенчатого типа в 2 раза ниже ленточных, что делает их более экономически эффективными.



а



б



в

Рис. 3. Грабли-валкователи гребенчатого типа: *а* – Clementer 550 F фирмы Umwelttechnik (Германия); *б* – 6000FP BIG фирмы Repossi Macchine Agricole S.R.L. (Италия); *в* – V-Twin 950 Super фирмы ELHO (Финляндия)

Кроме того, к преимуществам граблей-валкователей гребенчатого типа перед роторными можно отнести:

- отсутствие дорогостоящих кулачковых редукторов и карданного привода рабочих органов валкователя, что значительно снижает стоимость машины и сокращает энергопотребление на выполнение процесса сгребания в валок;

- обеспечение вспушивания трав, а следовательно, более высокой скорости их сушки в валке;
- возможность оборачивания валков и перемещения их на новое место.

Таким образом, учитывая весьма убедительные достоинства граблей-валкователей гребенчатого типа перед ротационными и колесно-пальцевыми, приведенный экономический эффект от снижения количества примесей в кормах, становится абсолютно очевидной актуальность создания и освоения производства отечественного аналога, внедрение которого обеспечит повышение качества основных видов кормов, а значит, приблизит выполнение планов в отрасли кормопроизводства Республики Беларусь.

Исходными данными для обоснования основных параметров гребенчатых граблей-валкователей являются качественный сбор скошенных трав без потерь, а также их производительность, которая определяется по формуле

$$W_{\Gamma} = B_{\Gamma} v_a \eta_{\Gamma}, \quad (1)$$

где B_{Γ} – ширина захвата граблей-валкователей, м; v_a – поступательная скорость агрегата, км/ч; η_{Γ} – коэффициент использования ширины захвата граблей-валкователей при сгребании скошенных трав.

Как известно, на качество работы гребенчатых граблей-валкователей влияют количество сгребаемых трав гребенкой Q и максимальный путь перемещения травы $l_{\text{тр}}$ вдоль гребенки [14]. Чем больше значение Q и $l_{\text{тр}}$, тем больше потери листьев и соцветий трав при их сгребании. Поэтому при расчете технологических и конструктивных параметров разрабатываемых гребенчатых граблей-валкователей ГВГ-9,5 данную закономерность обязательно необходимо учитывать.

На рис. 4 представлена схема разрабатываемых граблей-валкователей ГВГ-9,5 в рабочем положении. Секция рабочих органов граблей состоит из двух параллельно расположенных роторов 1, с которыми шарнирно соединены граблины 3 с пружинными зубьями 4. Граблины 3 с плоскостью вращения роторов 1 составляют угол δ , который меньше угла $\pi/2$. При работе граблей роторы вращаются вокруг своих осей 2 против часовой стрелки. Плоскость вращения роторов и относительная скорость зубьев ωR при самом низком их положении с направлением поступательной скорости агрегата ϑ_a составляют угол α , который, как было установлено исследованиями, может быть больше или меньше угла $\pi/2$.

Для установления зависимости между основными параметрами гребенчатых граблей-валкователей при сгребании построена траектория движения зубьев в проекциях на вертикальную и горизонтальную плоскости (рис. 5).

За начало координат принята точка A (граблина 1). Ось x расположена горизонтально в плоскости вращения роторов, ось y – параллельно оси вращения роторов, ось z – вертикально.

При отсчете углов от вертикальной оси против часовой стрелки уравнения движения концов зубьев граблин 1 и 2 соответственно имеют вид

$$\begin{cases} x_A = R \sin \omega t, \\ y_A = \vartheta_a t, \\ z_A = R(1 - \cos \omega t); \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} x_B = 0, \\ y_B = \vartheta_a t, \\ z_B = R[1 - \cos(\omega t - \beta)], \end{cases} \quad (3)$$

где R – радиус вращения граблин ($R = OA = OB$), м; ω – угловая скорость вращения ротора, с^{-1} ; β – угол между граблинами, град.

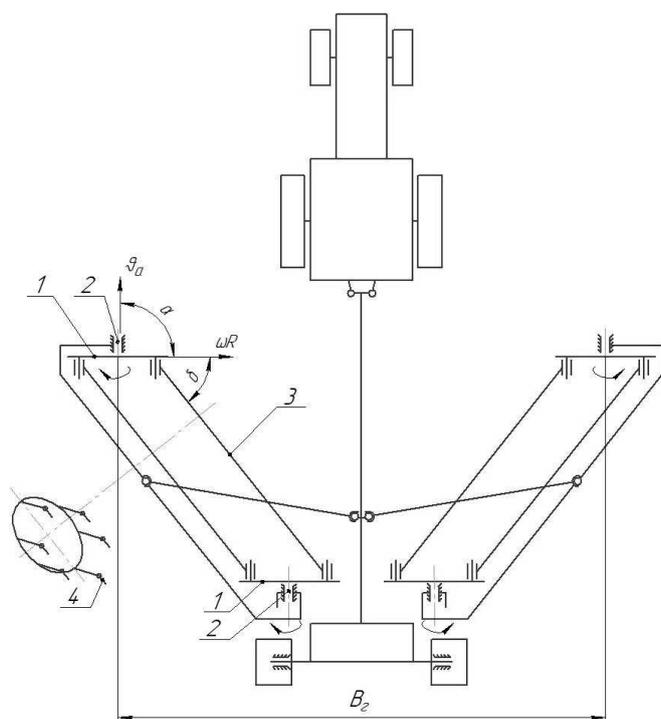


Рис. 4. Схема граблей-валкователей ГВГ-9,5 в рабочем положении:
1 – роторы; 2 – оси; 3 – граблины; 4 – зубья

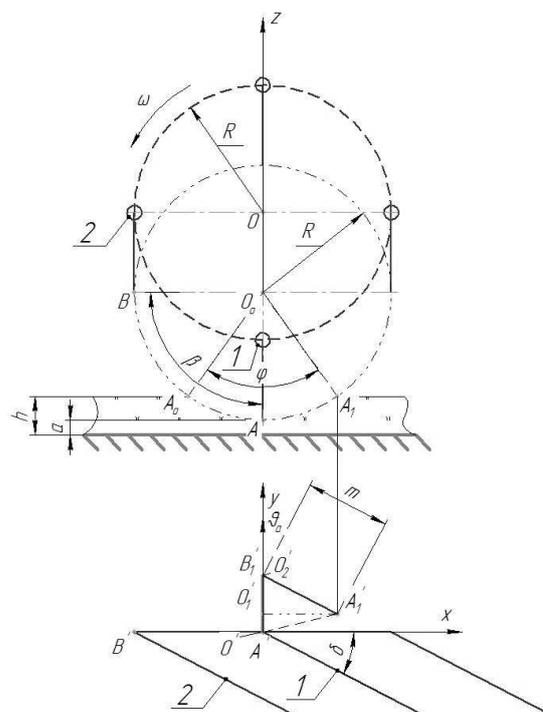


Рис. 5. Схема граблей-валкователей ГВГ-9,5 в рабочем положении: 1, 2 – граблины

Проанализировав системы уравнений (2) и (3) можно сделать вывод, что данные уравнения описывают винтовые линии, а значит, абсолютную скорость конца зуба A граблины 1 можно определить по формуле

$$\vartheta_{гр.а} = \sqrt{\vartheta_{гр.аx}^2 + \vartheta_{гр.аy}^2 + \vartheta_{гр.аз}^2}, \quad (4)$$

где $\vartheta_{гр.аx}^2$, $\vartheta_{гр.аy}^2$, $\vartheta_{гр.аз}^2$ – проекции абсолютной скорости зуба A на оси координат x , y , z соответственно, которые определяются по следующим выражениям:

$$\vartheta_{гр.аx}^2 = \frac{dx_A}{dt} = R\omega \cdot \cos \omega t; \quad (5)$$

$$\vartheta_{гр.аy}^2 = \frac{dy_A}{dt} = \vartheta_a; \quad (6)$$

$$\vartheta_{гр.аз}^2 = \frac{dz_A}{dt} = R\omega \cdot \sin \omega t. \quad (7)$$

Тогда, подставив в формулу (4) выражения (5)–(7) и выполнив математические преобразования, получим окончательную формулу для определения абсолютной скорости конца зуба A граблины 1:

$$\vartheta_{гр.а} = \sqrt{\vartheta_a^2 + R^2 \omega^2}. \quad (8)$$

Из рис. 5, видно, что прямая линия, соединяющая концы зубьев, расположенных на одной граблине, описывает при его вращении от ротора в пространстве поверхность, которая пересекается с такими же поверхностями, описываемыми концами зубьев впереди и позади идущих граблин, на некоторой высоте от самого низкого положения зубьев. Эта высота, как видно из рис. 5, равна z_{AO} . Назовем z_{AO} высотой гребешка. Она обуславливает собой чистоту сгребания травы.

Для обеспечения минимальных потерь сгребаемой травы расстояние от вершины гребешка до поверхности земли не должно превышать высоту прокоса скошенных трав h :

$$z_{AO} = h - a, \quad (9)$$

где a – минимальное расстояние от концов зубьев до поверхности земли (высота установки зубьев), м.

Так как точке A_0 граблины l соответствует угол поворота $\varphi/2$, то на основании третьего уравнения системы (5.2) получаем

$$z_{AO} = R \left(1 - \cos \frac{\varphi}{2} \right) = h - a. \quad (10)$$

На основании полученного выражения (10) можно определить угол поворота φ , при котором конец зуба граблины l при сгребании скошенной травы превысит высоту h :

$$\varphi = 2 \cdot \arccos \left(\frac{a - h}{R} + 1 \right). \quad (11)$$

Из рис. 5 видно, что при $t = 0$ центр вращения граблины l будет находиться в точке O . За время $t_A = \varphi/2\omega$ поворота граблины l на угол $\varphi/2$ грабли пройдут в направлении поступательной скорости агрегата ϑ_a путь

$$O_1O'_1 = \vartheta_a \frac{\varphi}{2\omega}. \quad (12)$$

В вертикальной проекции зуб A граблины l за это время переместится в точку A_1 , а в горизонтальной проекции – из точки A' в точку A'_1 . В момент времени $t = 0$ первый зуб граблины 2 занимал в вертикальной плоскости положение B , а в горизонтальной плоскости – положение B' . Через промежуток времени

$$t_B = \frac{\beta}{\omega} \quad (13)$$

концы зубьев граблины 2 пересекут поверхность, описываемую зубьями граблины l , и займут в горизонтальной плоскости положение, совпадающее с положением граблины l (отрезок $A'_1B'_1$), в котором были зубья граблины l , в момент времени $t_A = 0$. Соответствующий зуб граблины 2 займет в вертикальной плоскости положение, совпадающее с точкой A граблины l , а в горизонтальной плоскости – положение B'_1 . Таким образом, каждая граблина за время поворота на угол β будет перемещать сгребаемую траву на величину $m = A'_1B'_1$.

При условии размещения зубьев на граблинах с шагом, равным m , точки входа зубьев позади идущих граблин будут совпадать с точками выхода зубьев впереди идущих граблин, как бы продолжая линии их движения при сгребании. Из этих соображений шаг расположения зубьев на граблине может быть определен по формуле

$$m = \frac{y_{B'_1} - y_{A'_1}}{\sin \delta}, \quad (14)$$

где δ – угол между плоскостью вращения зубьев и граблиной, град.

Подставив в соответствующие уравнения систем (2) и (3) значения $t_{A'_1} = \varphi/2\omega$ и $t_{B'_1} = \beta/\omega$, получим

$$y_{A'_1} = \vartheta_a \frac{\varphi}{2\omega}; \quad (15)$$

$$y_{B'_1} = \vartheta_a \frac{\beta}{\omega}. \quad (16)$$

Тогда, подставив в формулу (14) формулы (15) и (16) и выполнив математические преобразования, получим окончательную формулу для определения шага расположения зубьев на граблине:

$$m = \frac{\vartheta_a \left(\beta - \frac{\varphi}{2} \right)}{\omega \cdot \sin \delta}. \quad (17)$$

Установим соотношение между угловой скоростью вращения зубьев ω и поступательной скоростью агрегата ϑ_a . Зная координаты точек A'_1 и B'_1 на горизонтальной проекции, запишем следующие равенства:

$$y_{B'_1} - y_{A'_1} = (x_{A'_1} - x_{B'_1}) \cdot \operatorname{tg} \delta; \quad (18)$$

$$y_{B'_1} - y_{A'_1} = \vartheta_a \left(\frac{\beta}{\omega} - \frac{\varphi}{2\omega} \right). \quad (19)$$

Тогда, подставив из уравнения систем (2) и (3) соответствующие значения, получим следующее равенство:

$$x_{A'_1} x_{B'_1} = R \cdot \sin \frac{\varphi}{2}. \quad (20)$$

Подставляя полученные выражения (19) и (20) в выражение (18), получим

$$\vartheta_a \left(\frac{\beta}{\omega} - \frac{\varphi}{2\omega} \right) = R \cdot \sin \frac{\varphi}{2} \cdot \operatorname{tg} \delta. \quad (21)$$

Перенесем правую часть уравнения в левую, и, преобразовав, получим окончательную формулу для определения угловой скорости вращения концов зубьев граблин:

$$\omega = \frac{\vartheta_a \left(\beta - \frac{\varphi}{2} \right)}{R \cdot \sin \frac{\varphi}{2} \cdot \operatorname{tg} \delta}. \quad (22)$$

Уравнение (22) устанавливает зависимость между основными параметрами гребенчатых граблей-валкователей и углом φ , определяющим высоту гребешка $h - a$.

Как ранее отмечалось, к факторам, влияющим на качество работы гребенчатых граблей-валкователей при сгребании, относятся максимальный путь перемещения травы $l_{\text{тр}}$ и количество травы перед гребенкой Q . Угол λ между направлением переносной скорости агрегата ϑ_a и направлением перемещения сгребаемой травы по проколу можно с достаточной степенью точности определить, если принять, что сгребание травы происходит по направлению абсолютной скорости зубьев, находящихся в самом низком положении, т. е. по направлению касательной к средней точке траектории зуба A . Угол λ между переносной скоростью ϑ_a и абсолютной скоростью $\vartheta_{\text{гр.а}}$ находится из треугольника скоростей (рис. 6):

$$\operatorname{tg} \lambda = \frac{R\omega}{\vartheta_a}. \quad (23)$$

Выразив из формулы (23) угол λ получим

$$\lambda = \operatorname{arctg} \frac{R\omega}{\vartheta_a}. \quad (24)$$

Тогда максимальный путь, проходимый травой при сгребании (рис. 7), определим по формуле

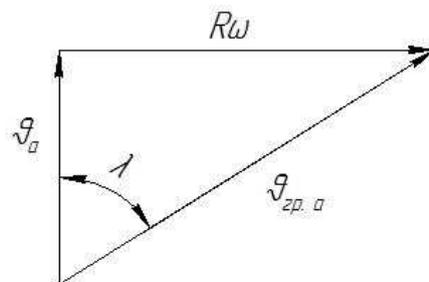


Рис. 6. Траектория скоростей зуба граблины

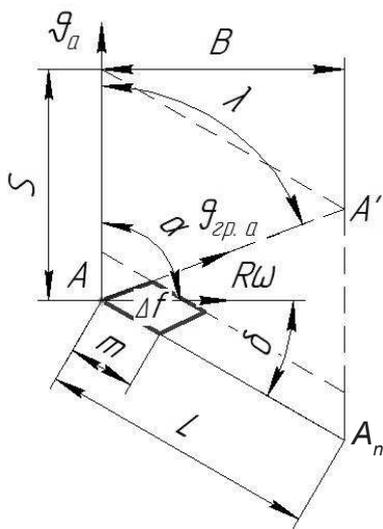


Рис. 7. Схема перемещения травы зубьями граблей

$$l_{\text{тр}} = \frac{B}{\sin \lambda}, \quad (25)$$

где B – ширина захвата граблей, м.

За поворот граблины на угол β участок граблины m сгребают траву с площади Δf (рис. 7). За это время граблина переместится на расстояние $\vartheta_a \beta / \omega$. Площадка Δf представляет собой параллелограмм с основанием m и высотой H , которую можно определить по формуле

$$H = \vartheta_a \frac{\beta}{\omega} \cdot \sin(\alpha + \delta). \quad (26)$$

Тогда площадь сгребания травы за поворот граблины на угол β можно определить по формуле

$$\Delta f = m \vartheta_a \frac{\beta}{\omega} \cdot \sin(\alpha + \delta). \quad (27)$$

Трава, расположенная перед граблиной, перемещается зубьями под углом к направлению поступательной скорости (см. рис. 7).

Процесс работы граблей установится, когда первая порция травы с площадки, расположенной в начале граблины, сойдет с конца граблины. Так как граблины за каждый поворот на угол β смещаются относительно порции травы, собранной с площадок Δf , на величину m , то для схода первой порции травы с конца граблины потребуется число перемещений, которое можно определить по формуле

$$k = \frac{L}{m} = \frac{L \omega \cdot \sin \delta}{\vartheta_a \left(\beta - \frac{\varphi}{2} \right)}, \quad (28)$$

где L – длина граблины, м.

Так как длину граблины можно определить по формуле

$$L = \frac{B}{\sin(\alpha + \delta)}, \quad (29)$$

то с учетом формулы (28) окончательное число перемещений получим по выражению

$$k = \frac{B \cdot \sin \delta}{R \cdot \sin \frac{\varphi}{2} \cdot \sin(\alpha + \delta) \cdot \text{tg } \delta}. \quad (30)$$

Так как за одно перемещение грабли проходят путь $\vartheta_a \beta / \omega$, то за число перемещений k грабли переместятся на величину

$$S = \frac{L \beta \cdot \sin \delta}{\beta - \frac{\varphi}{2}}. \quad (31)$$

В конце установившегося процесса трава с площади треугольника $AA_n A'$ (см. рис. 7) будет смещена за пределы прямой $A_n A'$. Следовательно, перед граблиной будет постоянно находиться количество травы

$$Q = S \frac{B}{2} q. \quad (32)$$

где q – урожайность травы, кг/м².

Поскольку из рис. 7 ширину захвата граблей можно будет определить по формуле

$$B = L \cdot \sin(\alpha + \delta), \quad (33)$$

то, подставляя в формулу (32) формулы (31) и (33), получим окончательную формулу для определения количества травы перед граблиной гребенчатых граблей-валкователей:

$$Q = \frac{L^2 \beta \cdot \sin \delta \cdot \sin(\alpha + \delta)}{2 \left(\beta - \frac{\Phi}{2} \right)} q. \quad (34)$$

Таким образом, полученные формулы позволяют определить основные геометрические, кинематические и технологические параметры гребенчатых граблей-валкователей, при которых будет обеспечено качественное, без потерь, сгребание скошенных трав в валок.

Заключение

Так, математические расчеты показали, что при известных начальных данных разрабатываемых граблей-валкователей ГВГ-9,5 (ширина захвата одной секции рабочих органов $B = 3,48$ м, поступательная скорость агрегата $\mathfrak{V}_a = 1,67-3,33$ м/с, урожайность травы $q = 3$ кг/м², высота прокоса $h = 0,12$ м, радиус граблин $R = 0,43$ м, угол между поступательной скоростью агрегата и плоскостью вращения роторов $\alpha = 90^\circ$, угол между плоскостью вращения зубьев и граблиной $\delta = 27,5^\circ$, высота установки зубьев над землей $a = 0,05$ м, количество граблин в секции $z = 6$ шт.) шаг расстановки зубьев граблин должен быть равен $m = 0,27$ м, частота вращения ротора граблин – $n = 61-121,6$ мин⁻¹ (в зависимости от рабочей скорости агрегата); количество травы перед граблиной – $Q \leq 43,7$ кг.

Список использованных источников

1. Программный комплекс мер по развитию кормопроизводства на 2021–2025 годы, утвержденный Заместителем Премьер-министра Республики Беларусь от 16 марта 2021 г. № 06/217-261/220.
2. Маклахов, А. В. Совершенствование технологии заготовки сена в рулонах / А. В. Маклахов, В. К. Углин, В. Е. Никифоров // Владимирский земледелец. – 2017. – № 4 (82). – С. 28–30.
3. Особенности технологий и техническое обеспечение заготовки кормов из трав и силосных культур [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа: <https://belagromech.by/news/osobennosti-tehnologij-i-tehnicheskoe-obespechenie-zagotovki-kormov-iz-trav-i-silosnyh-kultur>. – Дата доступа: 11.06.2021.
4. Техническое обеспечение кормоуборочных работ. Состояние и перспективы / И. М. Лабоцкий [и др.] // Механизация и электрификация сельского хозяйства : межвед. темат. сб. : в 2 т. / Нац. акад. наук Беларуси, Науч.-практ. центр по механизации сел. хоз-ва. – Минск, 2013. – Вып. 46, т. 2. – С. 3–10.