

## ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНО-КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ГРЕБЕНЧАТОГО ТИПА И РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИЕМОЧНЫХ ИСПЫТАНИЙ ГРАБЛЕЙ-ВАЛКОВАТЕЛЕЙ ГВГ-9,5

Э. В. ДЫБА, Л. И. ТРОФИМОВИЧ

РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»,  
г. Минск, Республика Беларусь, 220049

А. И. ПУНЬКО, Е.А. БЫЧКОВ

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,  
г. Минск, Республика Беларусь, 220023

(Поступила в редакцию 20.09.2024)

*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 года предусматривается достижение объемов производства молока на уровне не менее 8959,5 тыс. тонн, выращивания крупного рогатого скота – 700,7 тыс. тонн [1, 2]. Естественно производство намеченных объемов молока и мяса невысказимо без гарантированного обеспечения животных кормами, которые в структуре себестоимости продукции составляют около 55–70 % от общих затрат. Наличие кормов и их качество являются основными факторами, определяющими продуктивность животных и эффективность производства молока и мяса. Так достигнутые сегодня результаты в молочной отрасли являются следствием обеспечения дойного стада основными видами кормов – сеном, сенажом, силосом и концентрированными кормами. Вместе с тем, во многих регионах страны отмечается низкое качество кормов, особенно травяных.*

*В Республике Беларусь технологическая операция сгребания высушенной или провяленной массы выполняется с помощью граблей-валкователей ротационного или колесно-пальцевого типа. Но в процессе сгребания травяной массы происходит загрязненность массы из-за увлечения за собой камней и других инородных тел в валок. При уборке таких валков увеличивается и вероятность повреждения и выхода из строя рабочих органов кормоуборочной техники, что в свою очередь приводит к увеличению сроков уборки и потере кормов.*

*Учитывая эти недостатки, в статье предложена новая конструктивная схема машины, основанная на минимальном контакте зубьев с поверхностью почвы, представлены теоретические исследования по обоснованию основных конструктивных и кинематических параметров гребенчатых рабочих органов граблей-валкователей ГВГ-9,5, а также основные результаты проведенных государственных приемочных испытаний.*

**Ключевые слова:** теоретические исследования, грабли, роторы, рабочие органы, конструкция, параметры.

*Intensification of agricultural production based on the introduction of resource-saving technologies is a strategic direction that ensures an increase in the production volumes of all types of agricultural products. For example, in the livestock industry, it is envisaged to achieve milk production volumes of at least 8959.5 thousand tons by 2025, and cattle breeding volumes of 700.7 thousand tons. Naturally, the production of the planned volumes of milk and meat is unthinkable without a guaranteed supply of animals with feed, which in the structure of the cost of production makes up about 55–70 % of the total costs. The availability of feed and its quality are the main factors determining the productivity of animals and the efficiency of milk and meat production. Thus, the results achieved today in the dairy industry are a consequence of providing the dairy herd with the main types of feed – hay, haylage, silage and concentrated feed. At the same time, in many regions of the country, the low quality of feed, especially grass feed, is noted.*

*In the Republic of Belarus, the technological operation of raking dried or wilted mass is performed using rotary or wheel-finger rakes. However, in the process of raking the grass mass, the mass becomes contaminated due to the entrainment of stones and other foreign bodies into the swath. When harvesting such swaths, the probability of damage and failure of the working bodies of forage harvesting equipment increases, which in turn leads to an increase in harvesting time and loss of feed.*

*Taking into account these shortcomings, the article proposes a new design scheme of the machine based on minimal contact of the teeth with the soil surface, presents theoretical studies to substantiate the main design and kinematic parameters of the comb working bodies of the GVG-9.5 rake-swallers, as well as the main results of the state acceptance tests.*

**Key words:** theoretical studies, rakes, rotors, working bodies, design, parameters.

### Введение

При высоких урожаях зеленой массы в мировой практике, в частности в Западной Европе, практикуется 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 позволяет получить травяные корма кондиционной влажности в более короткие сроки. Соответственно, качество такого корма высокое, в нем максимально сохраняется каротин, протеин, углеводы и другие, питательные и витаминные комплексы, влияющие на его энергетическую ценность. Дальнейшее досуши-

вание и сохранение энергетической ценности травяных кормов во многом зависит от качества их сгребания в валки [3].

В настоящее время, технологическая операция сгребания высушенной или провяленной массы в валки выполняется в Республике Беларусь преимущественно ротационными граблями (рис. 1), которые сгребают травяные корма граблями, установленными на вращающихся роторах с шириной захвата от 4 до 7 м.



Рис. 1. Ротационные грабли-валкователи

Ротационные грабли имеют существенный технологический недостаток – в процессе сгребания травяной массы происходит ее загрязнение из-за увлечения за собой камней и других инородных тел в валок. Кроме того, высокая окружная скорость зубьев граблей (10–15 м/с) и постоянный их контакт с поверхностью почвы приводит к засорению формируемого валка землей и другими механическими включениями (особенно при работе валкователя на сложном рельефе), а также высоким потерям листьев и соцветий, особенно при многоукосной системе заготовки травяных кормов.

Одновременно с использованием ротационных граблей-валкователей применяются колесно-пальцевые грабли (рис. 2).



Рис. 2. Колесно-пальцевые грабли-валкователи

Отличительной особенностью колесно-пальцевых граблей от ротационных является то, что сгребание травяных кормов осуществляется с помощью вертикально вращающихся пальцев рабочих колес, расположенных под углом в 45–50° к линии движения машины. При этом, привод пальцевых колес осуществляется не от ВОМ трактора, как у ротационных, а от сил сцепления с растительной массой, расположенной на земле, что положительно отражается не только на стоимости машины, но и на качестве сгребания зеленой массы. Суть в том, что при работе колесно-пальцевых граблей 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. Кроме того, благодаря наличию в каждом рабочем колесе пружинной подвески, пальцы колес хорошо адаптируются к неровностям почвы, включая склоны и холмистые угодья, при этом, в сравнении с ротационными граблями, несколько снижая засорение формируемого валка камнями, землей, пылью и другими инородными включениями [4–13].

Однако, полностью исключить засорение формируемого валка, при использовании колесно-пальцевых граблей, не представляется возможным, так как и им присущ всё тот же недостаток, что и ротационным граблям. Понятно, что процесс волочения травяной массы колесно-пальцевыми граблями неразрывно связан с необходимостью постоянного контакта пальцев рабочих колес с поверхно-

стью почвы. Отсутствие выполнения данного условия приводит к прекращению работы пальцев колес в виду особенности их привода, а следовательно, и процесса сгребания травяной массы в валок.

Так, в результате исследований, проведенных в регионе интенсивного животноводства в Германии, доказано, что увеличение содержания примесей в сухой массе собранного урожая с 2 до 4 % приводит к снижению их энергетической ценности до 4 %, а энергия, усваиваемая коровой, сокращается – до 7,5%. Также установлено, что для достижения снижения уровня содержания примесей в кормах с 4 до 2 %, необходимо добавлять в корм концентраты на сумму около 89 евро на 1 гектар в год [5, 6, 9, 14].

Таким образом, вышеприведенные недостатки ротационных и колесно-пальцевых граблей-валкователей привели ряд зарубежных стран к изысканию нового принципа их работы, обеспечивающего получение максимально «чистого» корма. Результаты проведенного анализа технической информации по современным моделям граблей-валкователей ведущих мировых производителей («New Holland North America» (США), «Repossi Macchine Agricole S.R.L. (Италия), «Umwelttechnik» (Германия), «ELHO» (Финляндия)) показали, что конструкция машины должна обеспечивать выполнение таких функций, как минимальный контакт зубьев с поверхностью почвы, оборачивание валка со смещением, ворошение валка с одновременным формированием его обратно в валок, ворошение прокоса, сдвигание валков, сгребание прокоса в валок слева (справа) от оси трактора [15–18]. В результате такого поиска фирмами «Umwelttechnik» (Германия), «ELHO» (Финляндия) и «Repossi» (Италия) были разработаны грабли-валкователи гребенчатого типа, принцип работы которых основан на минимальном контакте зубьев с поверхностью почвы (рис. 3–5).



Рис. 3. Clementer 550 F  
фирмы «Umwelttechnik»



Рис. 4. V-Twin 950 Super  
фирмы «ELHO»



Рис. 5. 6000FP BIG  
фирмы «Repossi»

В результате исследований 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.

Таким образом, учитывая весьма убедительные достоинства новых 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 в республике.

#### Основная часть

В нашей стране существенный вклад в развитие новых технологий и средств механизации в растениеводстве и кормозаготовке внесли такие ученые как Пиуновский И. И., Лабоцкий И. М., Станкевич С. И., Клочков А. В., Привалов Ф. И. и др. [19–21]. Результаты их теоретических и экспериментальных исследований легли в основу современных машин для кормозаготовки, различных нормативных документов, рекомендаций, применяемых на практике [22], а также были использованы при обосновании параметров гребенчатых граблей-валкователей.

Для обоснования основных параметров рабочих органов граблей-валкователей гребенчатого типа проведены соответствующие конструктивно-технологические расчеты. Производительность машины определяется по формуле:

$$W_2 = 0,1 \cdot B_2 \cdot \mathcal{G}_a \cdot \eta_2,$$

где  $B_2$  – ширина захвата граблей-валкователей, м;  $\mathcal{G}_a$  – поступательная скорость агрегата, км/ч;  $\eta_2$  – коэффициент использования ширины захвата граблей-валкователей при сгребании скошенных трав.

На рис. 6 представлена схема разрабатываемых граблей-валкователей в рабочем положении. Секция рабочих органов граблей состоит из двух параллельно расположенных роторов 1, с которыми шарнирно соединены граблины 3 с пружинными зубьями 4. Из рисунка видно, что граблины 3 с плоскостью вращения роторов 1 составляют угол  $\delta$ , который меньше угла  $\pi/2$ .

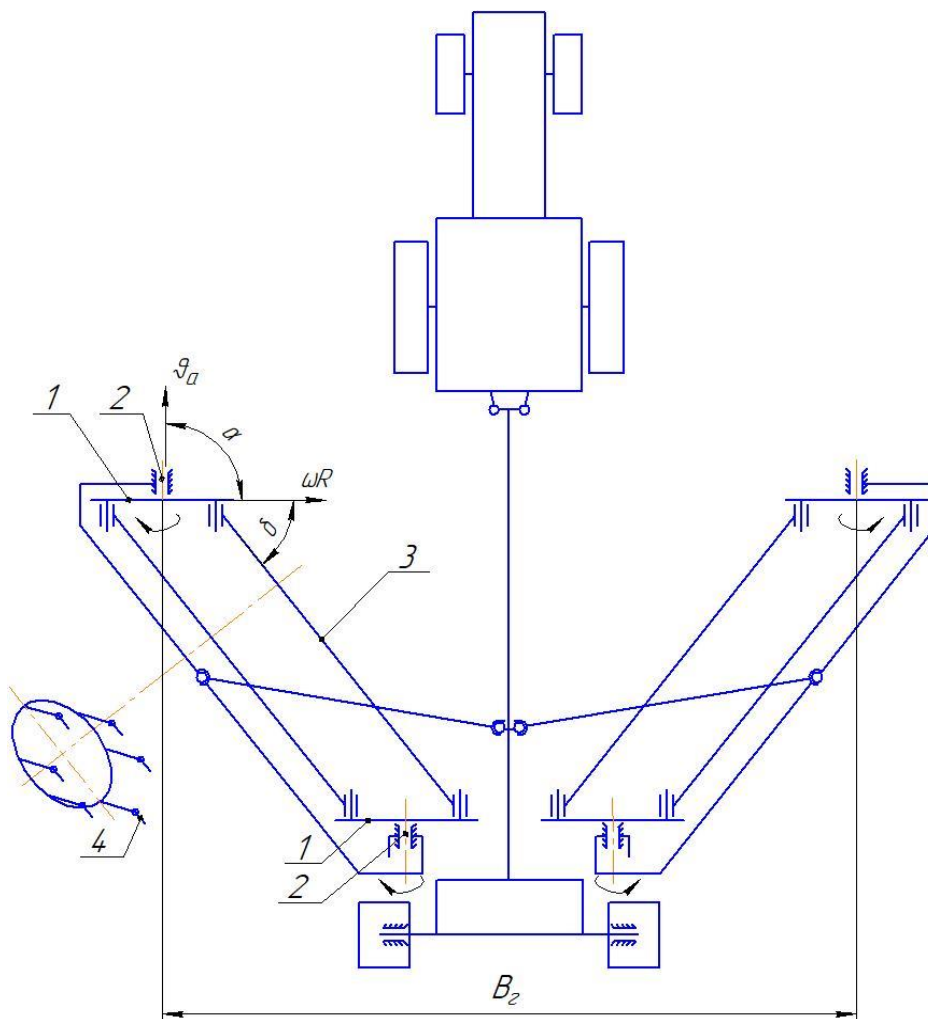


Рис. 6. Схема граблей-валкователей гребенчатых в рабочем положении:  
1 – роторы; 2 – шарниры (оси); 3 – граблины; 4 – пружинные зубья

Как известно, на качество работы гребенчатых граблей-валкователей влияют: количество сгребаемых трав гребенкой  $Q$  и максимальный путь перемещения травы  $l_{mp}$  вдоль гребёнки [5]. Чем больше значение  $Q$  и  $l_{mp}$ , тем больше потери листьев и соцветий трав при их сгребании. Поэтому при расчете технологических и конструктивных параметров разрабатываемых гребенчатых граблей-валкователей данная закономерность учитывалась. При работе граблей роторы вращаются вокруг своих осей 2 против часовой стрелки. Плоскость вращения роторов и относительная скорость  $\omega R$  зубьев при самом низком их положении с направлением поступательной скорости агрегата  $\mathcal{G}_a$  составляют угол  $\alpha$ , который, как было установлено исследованиями, может быть больше или меньше угла  $\pi/2$ .

Для определения основных конструктивных параметров гребенчатых граблей-валкователей при сгребании построена траектория движения зубьев в проекциях на вертикальную и горизонтальную плоскости (рис. 7).



$$\mathcal{G}_{ep.a} = \sqrt{\mathcal{G}_{ep.a_x}^2 + \mathcal{G}_{ep.a_y}^2 + \mathcal{G}_{ep.a_z}^2}, \quad (3)$$

где  $\mathcal{G}_{ep.a_x}^2, \mathcal{G}_{ep.a_y}^2, \mathcal{G}_{ep.a_z}^2$  – проекции абсолютной скорости зуба  $A$  на оси координат соответственно  $x, y, z$ , которые определяются по следующим выражениям:

$$\mathcal{G}_{ep.a_x}^2 = \frac{dx_A}{dt} = R\omega \cos \omega t. \quad (4)$$

$$\mathcal{G}_{ep.a_y}^2 = \frac{dy_A}{dt} = \mathcal{G}_a. \quad (5)$$

$$\mathcal{G}_{ep.a_z}^2 = \frac{dz_A}{dt} = R\omega \sin \omega t. \quad (6)$$

Тогда, подставив в формулу (3) выражения (4), (5) и (6) и выполнив математические преобразования, получим окончательную формулу для определения абсолютной скорости конца зуба  $A$  граблины  $I$ :

$$\mathcal{G}_{ep.a} = \sqrt{\mathcal{G}_a^2 + R^2 \omega^2}. \quad (7)$$

Из рис. 7 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 рисунка, равна  $z_{AC}$ . Назовем параметр  $z_{AC}$  высотой гребешка, который обуславливает собой чистоту сгребания травы. Для обеспечения минимальных потерь сгребаемой травы расстояние от вершины гребешка до поверхности земли не должно превышать высоту скашивания трав  $h$ , т.е.

$$z_{AC} = h - a, \quad (8)$$

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

Так как точке  $A_0$  граблины  $I$  соответствует угол поворота  $\varphi/2$ , то на основании третьего уравнения системы (1) получаем:

$$z_{AC} = R \left( 1 - \cos \frac{\varphi}{2} \right) = h - a. \quad (9)$$

На основании полученного выражения (9) можно определить угол поворота  $\varphi$  при котором конец зуба граблины  $I$  при сгребании скошенной травы превысит высоту  $h$

$$\varphi = 2 \cdot \arccos \left( \frac{a - h}{R} + 1 \right). \quad (10)$$

Из рис. 7 видно, что при  $t=0$  центр вращения граблины  $I$  будет находится в точке  $O$ . За время  $t_A = \varphi/2\omega$  поворота граблины  $I$  на угол  $\varphi/2$  грабли пройдут в направлении поступательной скорости агрегата  $\mathcal{G}_a$  путь:

$$O_1 O_1' = \mathcal{G}_a \cdot \frac{\varphi}{2\omega}. \quad (11)$$

В вертикальной проекции зуб  $A$  граблины  $I$  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  $B'$ .

Через промежуток времени, равный

$$t_B = \frac{\beta}{\omega}, \quad (12)$$

концы зубьев граблины  $2$  пересекут поверхность, описываемую зубьями граблины  $I$ , и займут в горизонтальной плоскости положение, совпадающее с положением граблины  $I$  (отрезок  $A_1' B_1'$ ), в котором были зубья граблины  $I$ , в момент времени  $t_A=0$ . Соответствующий зуб граблины  $2$  займет в вертикальной плоскости положение, совпадающее с точкой  $A$  граблины  $I$ , а в горизонтальной – положение  $B_1'$ . Таким образом, каждая граблина за время поворота на угол  $\beta$  будет перемещать сгребаемую траву на величину  $m = A_1' B_1'$ .

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:

$$m = \frac{y_{B'_1} - y_{A'_1}}{\sin \delta}, \quad (13)$$

где  $\delta$  – угол между плоскостью вращения зубьев и граблиной, град.

Подставив в соответствующие уравнения систем (1) и (2) значения  $t_{A'_1} = \varphi / 2\omega$  и  $t_{B'_1} = \beta / \omega$ , получим:

$$y_{A'_1} = \mathcal{G}_a \cdot \frac{\varphi}{2\omega}. \quad (14)$$

$$y_{B'_1} = \mathcal{G}_a \cdot \frac{\beta}{\omega}. \quad (15)$$

Тогда, подставив в формулу (13) формулы (14) и (15) и выполнив математические преобразования, получим окончательную формулу для определения шага расположения зубьев на граблине:

$$m = \frac{\mathcal{G}_a \cdot \left( \beta - \frac{\varphi}{2} \right)}{\sin \delta}. \quad (16)$$

Установим соотношение между угловой скоростью вращения зубьев  $\omega$  и поступательной скоростью агрегата  $\mathcal{G}_a$ . Зная координаты точек  $A'_1$  и  $B'_1$  на горизонтальной проекции, запишем следующие равенства:

$$y_{B'_1} - y_{A'_1} = (x_{A'_1} - x_{B'_1}) \cdot \operatorname{tg} \delta. \quad (17)$$

$$y_{B'_1} - y_{A'_1} = \mathcal{G}_a \cdot \left( \frac{\beta}{\omega} - \frac{\varphi}{2\omega} \right). \quad (18)$$

Тогда, подставив из уравнения систем (1) и (2) соответствующие значения, получим следующее равенство:

$$x_{A'_1} - x_{B'_1} = R \cdot \sin \frac{\varphi}{2}. \quad (19)$$

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

$$\mathcal{G}_a \cdot \left( \frac{\beta}{\omega} - \frac{\varphi}{2\omega} \right) = R \cdot \sin \frac{\varphi}{2} \cdot \operatorname{tg} \delta. \quad (20)$$

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

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

Уравнение 21 устанавливает зависимость между основными параметрами гребенчатых граблей-валкователей и углом  $\varphi$ , определяющим высоту гребешка.

Как отмечалось ранее, к факторам, влияющим на качество работы гребенчатых граблей-валкователей при сгребании, относятся максимальный путь перемещения травы  $l_{mp}$  и количество травы перед гребенкой  $Q$ . Угол  $\lambda$  между направлением переносной скорости агрегата  $\mathcal{G}_a$  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, то есть по направлению касательной к средней точке траектории зуба А (рис. 8).

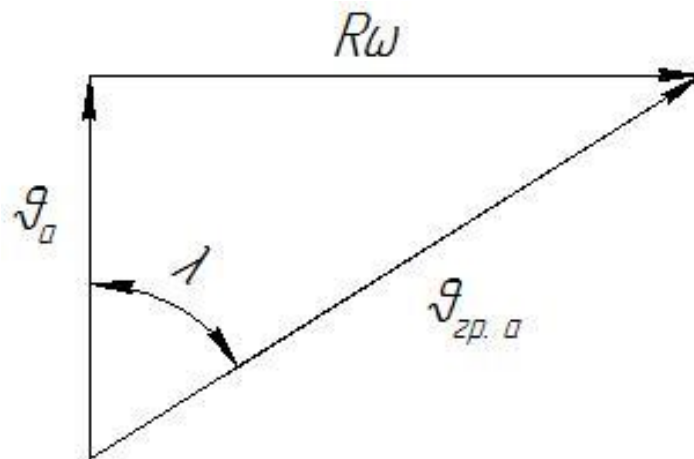


Рис. 8. Траектория скоростей зуба граблины

Угол  $\lambda$  между переносной скоростью  $g_a$  и абсолютной  $g_{zp.a}$  находится из треугольника скоростей (рис. 9)

$$\operatorname{tg} \lambda = \frac{R\omega}{g_a}. \quad (22)$$

Выразив из формулы (22) угол  $\lambda$  получим

$$\lambda = \operatorname{arctg} \frac{R\omega}{g_a}. \quad (23)$$

Тогда максимальный путь (рис. 9), проходимый травой при сгребании, определим по формуле:

$$l_{mp} = \frac{B}{\sin \lambda}, \quad (24)$$

где  $B$  – ширина захвата граблей, м.

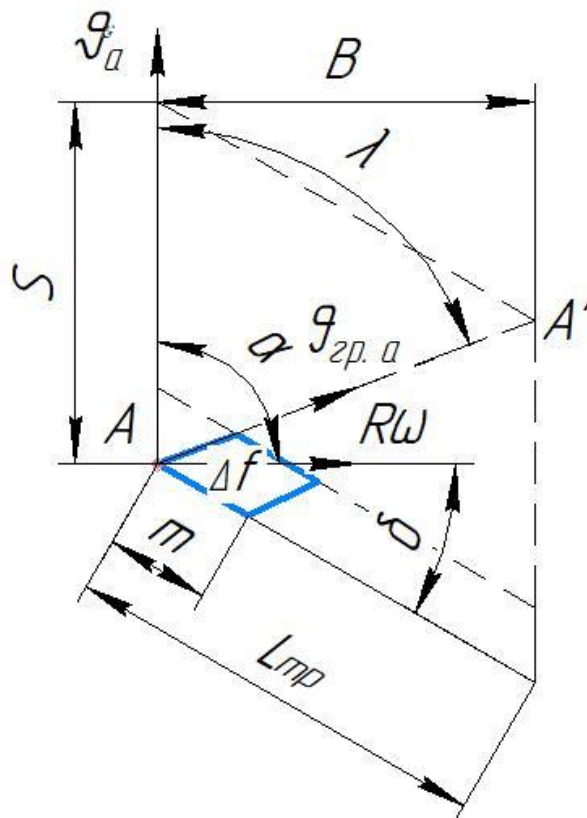


Рис. 9. Схема перемещения травы зубьями граблин

За поворот граблины на угол  $\beta$  участок граблины  $m$  сгребает траву с площади  $\Delta f$  (рис. 10). За это время граблина переместится на расстояние  $\mathcal{G}_a \cdot \beta / \omega$ . Площадка  $\Delta f$  представляет собой параллелограмм с основанием и высотой  $H$ , которую можно определить по выражению:

$$H = \mathcal{G}_a \cdot \frac{\beta}{\omega} \cdot \sin(\alpha + \delta). \quad (25)$$

Тогда площадь сгребания травы за поворот граблины на угол  $\beta$  можно определить по формуле:

$$\Delta f = m \cdot \mathcal{G}_a \cdot \frac{\beta}{\omega} \cdot \sin(\alpha + \delta). \quad (26)$$

Трава, расположенная перед граблиной, перемещается зубьями под углом к направлению поступательной скорости (рис. 9). Процесс работы граблей установится, когда первая порция травы с площадки, расположенной в начале граблины, сойдёт с конца граблины. Так как граблины за каждый поворот на угол смещаются относительно порции травы, собранной с площадок  $\Delta f$ , на величину  $m$ , то для схода первой порции травы с конца граблины потребуется число перемещений, которое можно определить по формуле:

$$k = \frac{L}{m} = \frac{L \cdot \omega \cdot \sin \delta}{\mathcal{G}_a \cdot \left( \beta - \frac{\varphi}{2} \right)}, \quad (27)$$

где  $L$  – длина граблины, м.

Так как, длину граблины можно определить по формуле:

$$L = \frac{B}{\sin(\alpha + \delta)}, \quad (28)$$

тогда с учетом формулы (28) окончательно число перемещений получим по выражению:

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

$$Q = \frac{L^2 \cdot \beta \cdot \sin \delta \cdot \sin(\alpha + \delta)}{2 \cdot \left(\beta - \frac{\varphi}{2}\right)} \cdot q. \quad (33)$$

Результаты расчетов позволили получить следующие значения основных конструктивных и кинематических параметров рабочих органов граблей-валкователей гребенчатых: ширина захвата одной секции рабочих органов – 3,48 м; радиус граблин – 0,43 м; угол между поступательной скоростью агрегат и плоскостью вращения роторов – 90°; угол между плоскостью вращения зубьев и граблиной – 27,5°; высота установки зубьев над землей – 0,05 м; количество граблин в секции – 6; шаг расстановки зубьев граблин – 0,27 м; частота вращения ротора граблин – 61-121,6 мин<sup>-1</sup> (в зависимости от рабочей скорости агрегата 1,67–3,33 м/с).

На основе проведенных теоретических исследований по обоснованию основных конструктивных и кинематических параметров граблей-валкователей гребенчатого типа разработанная конструктивная схема граблей. Грабли состоят из рамы 1, дышла 2, двух стрел (поворотных) 3, двух секций (с гребенчатыми роторами) 4, двух колес (ходовых) 5, навески 6, двух талрепов 7, кронштейнов 8, гидрооборудования 9, электрооборудования 10, тормозной системы 11. (рис. 10),

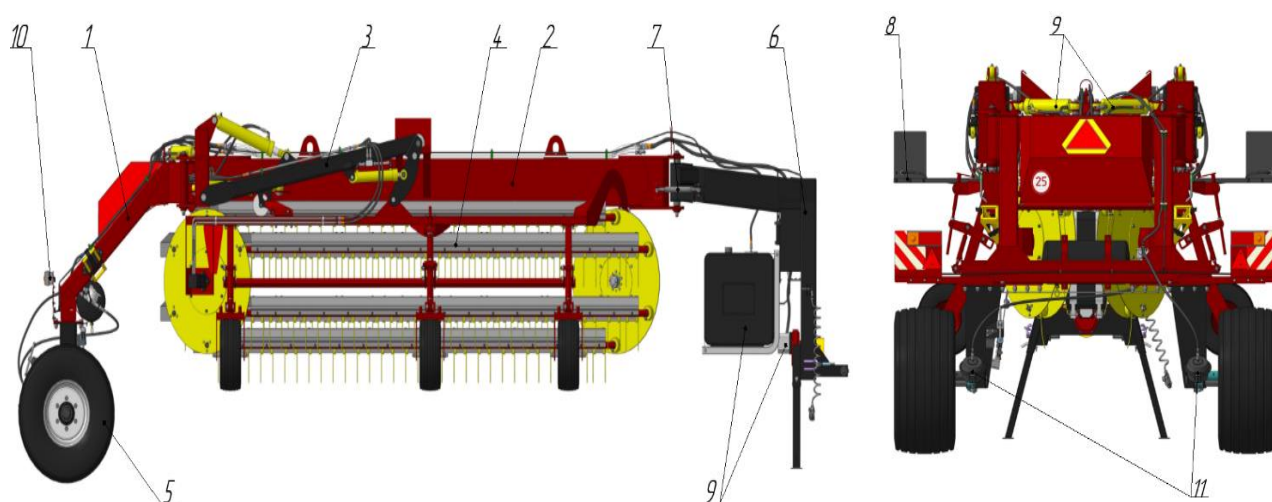


Рис. 10. Грабли-валкователи гребенчатые ГВГ-9,5:

- 1 – рама; 2 – дышло; 3 – стрела (поворотная); 4 – секция (с гребенчатым ротором); 5 – колесо (ходовое); 6 – навеска;  
7 – талреп; 8 – кронштейн; 9 – гидрооборудование; 10 – электрооборудование; 11 – тормозная система

Привод рабочих секций граблей-валкователей осуществляется от гидромоторов, расположенных на осях гребенчатых роторов. Подача рабочей жидкости к гидромоторам осуществляется от насосной станции, расположенной на поворотной навеске, приводимой от вала отбора мощности трактора, через карданную передачу.

Процесс сгребания (валкообразования) скошенной растительной массы осуществляется следующим образом. При движении граблей по проколу роторы с гребенками правой и левой рабочих секций, вращаясь от привода гидромоторов, под углом к направлению движения подхватывают скошенную массу. Благодаря параллелограммному механизму рабочих секций зубья гребенок, совершая поступательное движение, перемещают подхваченную массу вдоль рабочей зоны, не давая ей при этом соприкоснуться с почвой до тех пор, пока масса не переместится в зону формирования валка. В процессе перемещения растительной массы в зону формирования валка рабочие органы граблей осуществляют их активное вспушивание и отделение от примесей (земли, камней и т.д.), обеспечивая таким образом «чистый» и хорошо продуваемый валок (рис.11).



Рис. 11. Грабли-валкователи гребенчатые ГВГ-9,5

Опытный образец граблей-валкователей гребенчатых ГВГ-9,5 в рамках проведения государственных приемочных испытаний эксплуатировался в ГП «Экспериментальная база «Зазерье» Пуховичского района Минской области в период с 11 мая по 15 сентября 2023 года. За период эксплуатации опытным образцом ГВГ-9,5 отработано суммарно 368 ч (1340 га) на валковании посевов злаковых и бобовых трав, а также травосмесей. Результаты приемочных испытаний изложены в протоколе испытаний ГУ «Белорусская машиноиспытательная станция» от 15.09.2023 № 030-1/3-2023 [23].

Определение эксплуатационно-технологических и функциональных показателей граблей проводилось при рабочей скорости движения агрегата 8,1 км/ч, 10,0 км/ч и 12,5 км/ч (по ТЗ 7,0–12,0 км/ч) в сравнении с колесно-пальцевыми граблями ГРЛ-9,6 аналогичного назначения и ширины захвата с трактором «БЕЛАРУС-82.1» на сгребании провяленной травы урожайностью 17,6–19,2 т/га и влажностью 71,9–78,0 % из прокосов в валки.

В результате функциональной оценки установлено:

- фактическая ширина захвата граблей ГВГ-9,5 составила 9,6–9,4 м (по ТЗ  $9,5 \pm 0,2$  м), а у граблей ГРЛ-9,6 при рабочей скорости движения агрегата 7,2 км/ч, 9,7 км/ч и 12,2 км/ч составляла 8,4 м, 7,8 м и 7,7 м соответственно;

- линейная плотность валка после сгребания граблями ГВГ-9,5 составила 11,4 кг/м, 11,9 кг/м, 11,8 кг/м (по ТЗ 10,0–12,0 кг/м) соответственно рабочим скоростям, а у граблей ГРЛ-9,6 при рабочей скорости движения агрегата 7,2 км/ч, 9,7 км/ч и 12,2 км/ч составляла 10,5 м, 11,9 м и 11,2 м соответственно;

- общие потери в процентах к урожаю после сгребания граблями ГВГ-9,5 составили 0,85 %, 1,10 % и 1,22 % (по ТЗ не более 2,00 %) соответственно рабочим скоростям, а у граблей ГРЛ-9,6 при рабочей скорости движения агрегата 7,2 км/ч, 9,7 км/ч и 12,2 км/ч составляла 1,15 %, 1,36 % и 1,64 % соответственно;

- загрязненность травы почвой после сгребания граблями ГВГ-9,5 отсутствовала (по ТЗ не допускается). Следует отметить, что загрязненность травы почвой после сгребания граблями ГРЛ-9,6 составила 0,3, 0,4 и 0,8 %.

В результате эксплуатационно-технологической оценки установлено:

- производительность за час основного времени при работе граблей ГВГ-9,5 со скоростью 10,0 км/ч составила 9,60 га, со скоростью 12,5 км/ч – 11,75 га (по ТЗ – 6,65–11,4 га/ч). У граблей ГРЛ-9,6 при работе со скоростью 9,7 км/ч производительность за час основного времени составила 7,57 га, со скоростью 12,2 км/ч – 9,39 га;

- производительность за час сменного времени со скоростью 10,0 км/ч составила 7,20 га, со скоростью 12,5 км/ч – 8,81 га (по ТЗ – 4,79–8,21 га/ч). У граблей ГРЛ-9,6 при работе со скоростью 9,7 км/ч составила 5,68 га, со скоростью 12,2 км/ч – 7,04 га;

- удельный расход топлива граблей ГВГ-9,5 за час сменного времени составил 1,36 кг/га (по ТЗ – не более 1,55 кг/га), у граблей ГРЛ-9,6 составил 1,22 кг/га.

В результате расчета экономических показателей использования граблей ГВГ-9,5 в сравнении с импортным аналогом V-Twin 950 Super фирмы «ELHO» (Финляндия) установлено, что годовая экономия себестоимости механизированных работ составила 25160,40 руб., что предполагает снижение прямых эксплуатационных затрат при использовании граблей ГВГ-9,5 на 47,7 %. Годовой приведенный экономический эффект составил 45857,70 руб. Абсолютные капитальные вложения граблей

ГВГ-9,5 окупаються через 3,4 роки. Капіталізована вартість граблей ГВГ-9,5 становила 209952,86 руб.

В результаті прийомних випробувань граблей невідповідності вимогам ТЗ і діючих ТНПА не виявлено. Отримані значення показувачів порівняльної економічної ефективності використання граблей ГВГ-9,5 відповідають даним, представленим в ТЗ.

### **Заключення**

По результатах проведених теоретичних досліджень отримані залежності, що дозволяють визначити основні геометричні, кінематичні і технологічні параметри гребенчатих граблей-валкователів, при яких буде забезпечено якісне, без втрат, сгребання скошеної трави в валок: ширина захопту однієї секції робочих органів – 3,48 м; радіус граблін – 0,43 м; кут між поступальною швидкістю агрегату і площиною обертання роторів – 90°; кут між площиною обертання зубів і грабліною – 27,5°; висота установки зубів над землею – 0,05 м; кількість граблін в секції – 6; крок розстановки зубів граблін – 0,27 м; частота обертання ротора граблін – 61–121,6  $\text{min}^{-1}$  (в залежності від робочої швидкості агрегату 1,67–3,33 м/с), кількість трави перед грабліною не більше – 43,7 кг.

Проведені теоретичні дослідження по обґрунтуванню основних конструктивних і кінематичних параметрів граблей-валкователів гребенчатого типу лягли в основу розробленої конструктивної схеми гребенчатих граблей-валкователів ГВГ-9,5. Також дані дослідження можуть бути використані при розробках нових конструкцій машин для кормозаготовки.

В результаті прийомних випробувань граблей невідповідності вимогам ТЗ і діючим ТНПА не виявлено, що підтверджує достовірність проведених теоретичних досліджень. Отримані значення показувачів порівняльної економічної ефективності використання граблей ГВГ-9,5 відповідають даним, представленим в ТЗ.

### *ЛИТЕРАТУРА*

1. Государственная программа «Аграрный бизнес» на 2021–2025 годы [Электронный ресурс]: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 1 февр. 2021 г., № 59 // КонсультантПлюс. Беларусь / «ООО ЮрСпектр», Нац центр. правовой информ. Республики Беларусь. – Минск, 2024.

2. 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.

3. Особенности технологий и технического обеспечение заготовки кормов из трав и силосных культур // РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – URL: <https://belagromech.by/news/osobennosti-tehnologij-i-tehnicheskoe-obespechenie-zagotovki-kormov-iz-trav-isilosnyhkul-tur> (дата обращения: 11.02.2024).

4. Техническое обеспечение кормоуборочных работ. Состояние и перспективы / И. М. Лабоцкий [и др.] // Механизация и электрификация сельского хозяйства: Межведомственный тематический сборник РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». В 2-х томах. – Минск, 2013. – Вып. 46. – Т. 2. – С. 3–10.

5. Обзор и анализ конструкции граблей-валкователів гребенчатого типа / Э. В. Дыба [и др.] // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2023. – Вып. 56. – С. 188 – 196.

6. Дыба, Э. В. Результаты проведения экспериментальных исследований процесса валкования травяных кормов колесно-пальцевыми граблями с рабочими органами сдвоенного типа / Э. В. Дыба, Л. И. Трофимович, В. В. Микульский // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы Международной научно-технической конф., посвященной 95-летию со дня рождения академика С. И. Назарова (Минск, 19–20 октября 2023 г.) / редкол.: П. П. Казакевич [и др.]. – Минск: Беларуская навука, 2023. – С. 194–200.

7. Дыба, Э. В. Анализ полученных результатов экспериментальных исследований процесса валкования травяных кормов колесно-пальцевыми граблями с рабочими органами сдвоенного типа / Э. В. Дыба, Л. И. Трофимович, В. В. Микульский // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы Международной научно-технической конф., посвященной 95-летию со дня рождения академика С.И. Назарова (Минск, 19–20 октября 2023 г.) / редкол.: П. П. Казакевич [и др.]. – Минск: Беларуская навука, 2023. – С. 201–208.

8. Дыба, Э. В. Рекомендации по применению рабочих органов сдвоенного типа для валкования травяных кормов / Э. В. Дыба, Л. И. Трофимович, В. В. Микульский // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы Международной научно-технической конф., посвященной 95-летию со дня рождения академика С. И. Назарова (Минск, 19–20 октября 2023 г.) / редкол.: П. П. Казакевич [и др.]. – Минск: Беларуская навука, 2023. – С. 209–213.

9. Спосіб заготовки проявлених трав / Э. В. Дыба [и др.] // Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених (Мелітополь, 01–25 лютого 2022 р.) / ТДАТУ: ред. кол. В. М. Кюрчев, В. Т. Надикто, О. Г. Скляр [та ін.]. – Мелітополь: ТДАТУ, 2022. – С. 52–54.

10. Дыба, Э. В. Анализ известных граблей-валкователів / Э. В. Дыба [и др.] // Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених (Мелітополь, 01–25 лютого 2022 р.) / ТДАТУ: ред. кол. В.М. Кюрчев, В.Т. Надикто, О.Г. Скляр [та ін.]. – Мелітополь: ТДАТУ, 2022. – С. 116–120.

11. Обзор технических средств для сушки трав в поле / Э. В. Дыба [и др.] // Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених (Меліто-

- поль, 01–25 лютого 2022 р.) / ТДАТУ: ред. кол. В. М. Кюрчев, В. Т. Надикто, О. Г. Скляр [та ін.]. – Мелітополь: ТДАТУ, 2022. – С. 139–141.
12. Дыба, Э. В. Технологические приемы ускоряющие процесс сушки трав / Э. В. Дыба, Г. И. Кошля и Н. Д. Янцов // Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених (Мелітополь, 01–25 лютого 2022 р.) / ТДАТУ: ред. кол. В. М. Кюрчев, В. Т. Надикто, О. Г. Скляр [та ін.]. – Мелітополь: ТДАТУ, 2022. – С. 155–157.
13. Дыба, Э. В. Макетная установка граблей колесно-пальцевых с рабочими органами сдвоенного типа / Э. В. Дыба, Л. И. Трофимович, П. В. Яровенко, В. В. Микульский // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы Международной научно-технической конф., посвященный 75-летию образования РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» (Минск, 20–21 октября 2022 г.) / редкол.: П. П. Казакевич [и др.]. – Минск: Белорусская наука, 2022. – С. 267–270.
14. Тройные комбинации дисковых косилок // Проспект фирмы KUHN (Франция). – Саверн, 2017. – 20 с.
15. Грабли-валкователи RAKES 230 // New Holland North America. – URL: <https://agriculture.newholland.com/nar/enus/equipment/products/haytools-spreaders/rolabar-rakes/features/model-230-twin-basket-rake> (дата обращения: 22.09.2024).
16. Каталог продукции для сенокосов фирмы // Repossi Macchine Agricole S.R.L. – URL: <https://www.repossi.it/en/fam/hay-machines/comb-side-delivery-rakes/>. (дата обращения : 22.01.2024).
17. Грабли-валкователи Clementer 300F/550F/750 F. / BV-Umwelttechnik. – URL: [https://xndoppelmessermhwerk-xtb.de/wp-content/uploads/2022/02/GV\\_Brochure\\_Clementer\\_2022-02.pdf](https://xndoppelmessermhwerk-xtb.de/wp-content/uploads/2022/02/GV_Brochure_Clementer_2022-02.pdf) (дата обращения: 22.09.2024).
18. Валкообразователи ELHO V-Twin // Профи-Агропарк Групп. – URL: <https://profi-agropark.deal.by/p122564024-valkoobrazovateli-elho-tvin.html>. –(дата обращения: 24.01.2024).
19. Пиуновский, И. И. Машины для уборки трав и силосных культур (теория и расчет рабочих органов) / И. И. Пиуновский, В. Р. Петровец, Н. И. Дудко. – Горки: БГСХА, 2016. – 325 с.
20. Механизация полевой сушки трав: пути совершенствования / П. П. Казакевич, С. Г. Яковчик, И. М. Лабозкий, Л. И. Трофимович // Вес. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2018. – Т. 56, №4. – С. 481–491.
21. Станкевич, С. И. Современные технологии заготовки кормов: рекомендации / С. И. Станкевич, С. И. Холдеев. – Горки: БГСХА, 2016. – 29 с.
22. Технологический регламент, техническое обеспечение и технологические карты выращивания и заготовки кормов из трав: Регламент // Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, РУП «НПЦ НАН Беларуси по земледелию», РУП «НПЦ НАН Беларуси по животноводству», РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», РНДУП «Институт мелиорации». – Минск, 2011.
23. Протокол приемочных испытаний граблей-валкователей гребенчатых ГВГ-9,5 №030/-1/3-2023 от 15 сентября 2023 года. Введ. 15.09.2023 / ГУ «Белорусская МИС». Привольный, 2023. – 95 с.