

Рабочие органы горизонтально-конвейерного типа для сгребания травяной массы

Петр Александрович Еремин¹,

научный сотрудник,

e-mail: 9153600311@mail.ru;

Владимир Васильевич Михеев¹,

кандидат технических наук, ведущий специалист;

Арсен Хасанбиевич Текушев¹,

кандидат технических наук,

старший научный сотрудник;

Михаил Юрьевич Костенко²,

доктор технических наук, профессор;

Валентин Петрович Еремин³, аспирант

¹Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация;

²Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, г. Рязань, Российская Федерация;

³Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет), Москва, Российская Федерация

Реферат. Горизонтально-конвейерные рабочие органы граблей применяют для увеличения производительности, снижения металлоемкости и улучшения качества сгребания. Такой тип рабочего органа перспективен для использования в конструкциях сеноуборочных машин (грабель, сдваивателей валков) и в подбирающих устройствах пресс-подборщиков. Провели исследования существующих конструкций граблей и с помощью 3D-модели спроектировали рабочий орган горизонтально-конвейерного типа для сгребания скошенной травы. (*Цель исследования*) Изучить конструкции граблей и получить данные по проектированию рабочего органа горизонтально-конвейерного типа для сгребания подвяленной травяной массы. (*Материалы и методы*) Применили аналитический метод с использованием компьютерного 3D-моделирования. Задачи анализа прочности решали методом конечных элементов. Провели расчет граблины на прочность и долговечность. Разработали деталь в системе автоматизированного проектирования Solid Works с помощью стандартных программ конечных элементов. (*Результаты и обсуждение*) Изучили основной элемент исходной конструкции – рабочий орган в виде бесконечного узкого клинового ремня, на кронштейнах которого закреплены граблины с пружинным основанием. Разработали и предложили специальное устройство для предотвращения сброса ремня. Проанализировали конструкцию и выявили ряд ее существенных недостатков. В ходе расчетов установили, что вблизи мест закрепления возникают максимальные напряжения, равные приблизительно 545 мегапаскалей. Максимальная упругая деформация граблины составляет 2,1 миллиметра. Предложили схему закрепления граблины на широком ремне, которая позволяет исключить применение устройства, предотвращающего сброс ремня при столкновении граблины с препятствием. Тем самым значительно упростили конструкцию сгребющего органа. Рассчитали, что вес граблины снизился на 0,6 килограмма, а общий вес рабочего органа – на 14,4 килограмма. (*Выводы*) Получили данные, на основе которых доказали, что предлагаемая разработка позволит снизить вес, энергоемкость и себестоимость производства машины.

Ключевые слова: заготовка зеленых кормов, сгребание травяной массы, горизонтально-конвейерные грабли, граблина, метод конечных элементов, оптимизация конструктивных и прочностных параметров.

■ **Для цитирования:** Еремин П.А., Михеев В.В., Текушев А.Х., Костенко М.Ю., Еремин В.П. Рабочие органы горизонтально-конвейерного типа для сгребания травяной массы // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2019. Т. 13. №1. С. 48-52. DOI 10.22314/2073-7599-2018-13-1-48-52.

Working Element of a Horizontal Conveyor Type for Grass Raking

Petr A. Eremin¹,

research engineer,

e-mail: 9153600311@mail.ru;

Vladimir V. Mikhayev¹,

Ph.D.(Eng.), key expert;

Arsen Kh. Tekushev¹,

Ph.D.(Eng.), senior research engineer;

Mikhail Yu. Kostenko²,

Dr.Sc.(Eng.), professor;

Valentin P. Eremin³, postgraduate student

¹Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation;

²Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, Ryazan, Russian Federation;

³Bauman Moscow State Technical University (National Research University), Moscow, Russian Federation

Abstract. Horizontal conveyor working elements are used to increase productivity, reduce metal consumption and improve the quality of raking. This type of working element is promising for use in the design of hay-harvesting machines (rakes and roll doublers) and pick-up devices in balers. The authors have conducted research on the existing rake designs and using a 3D-model designed a working element of a horizontal conveyor type for cut grass raking. (*Research purpose*) Studying the rake design to obtain data on the design of the working element of a horizontal conveyor type for dried grass raking. (*Materials and methods*) The authors have used the analytical method and the 3D-modelling. The tasks of strength analysis were solved using standard finite element programs. The rake strength and durability were calculated. The working element design was implemented using the Solid Works CAD system using standard finite element programs. (*Results and discussion*) The authors have studied the main element of the original structure – the working element in the form of an endless narrow V-belt with its brackets housing spring-based rakes. They have also developed and offered a special device to prevent the belt from being dropped; analyzed the design and found a number of its significant shortcomings. The calculations have shown that the maximum stresses occur near the points of attachment and they are approximately equal to 545 MPa. The maximum elastic deformation of the rake is 2.1 millimeter. The authors have proposed a design scheme of fastening the rake on a wide belt, which eliminates the use of a device that prevents the belt from being dropped when the rake is colliding with an obstacle. Thus the raking body design has been greatly simplified. The proposed development will allow to reduce the rake weight by 0.6 kilograms and the total device weight by 14.4 kilograms. (*Conclusions*) The authors have obtained data sufficient to prove that the proposed design scheme would reduce the weight, energy consumption and production cost of the machine.

Keywords: harvesting green forage, grass raking, horizontal conveyor rake, rake, finite element method, optimization of structural and strength parameters.

For citation: Eremin P.A., Mikheev V.V., Tekushev A.Kh., Kostenko M.Yu., Eremin V.P. Rabochie organy gorizonta'no-konveernogo tipa dlya sgrebaniya travyanoy massy [Working element of a horizontal conveyor type for grass raking]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2019. Vol. 13. N1. 48-52. DOI 10.22314/2073-7599-2018-13-1-48-52 (In Russian).

Применение горизонтально-конвейерных рабочих органов для сгребания травяной массы увеличивает производительность в 1,5-2 раза, вдвое снижает металлоемкость, повышает качество сгребания. Меньшая энергоёмкость позволяет использовать их даже с легкими энергосредствами типа мотоблока. Компактность конструкции делает машину удобной для работы на небольших участках и косогорах [1-4]. Один из вариантов таких устройств для мотоблока применяют, например, на сеноуборочных машинах вместо барабанного подборщика (рис. 1). В настоящее время его производит только фирма Landwirt.

Отсутствие данных по проектированию рабочего органа в значительной степени тормозит создание конструкций таких машин.

Цель исследования – изучить конструкции граблей и получить данные по проектированию рабочего органа горизонтально-конвейерного типа для сгребания подвяленной травяной массы.

Материалы и методы. Применили аналитический метод с использованием компьютерного 3D-моделирования. Задачи анализа прочности решали методом конечных элементов (МКЭ).

Результаты и обсуждение. Рабочий орган граблей выполнен в виде бесконечного узкого клинового ремня, на кронштейнах закреплены граблины с пружинным основанием.

Для предотвращения сброса ремня предусмотрено специальное устройство, показанное стрелкой на рисунке 2.



Рис. 1. Горизонтально-конвейерные грабли модели Hill Rake в агрегате с мотоблоком

Fig. 1. Horizontal conveyor rake of the Hill Rake make attached to the walking tractor

Анализ конструкции выявил ряд существенных недостатков. Были сделаны следующие выводы:

1. Верхняя часть граблины (почти половина) не участвует в сгребании (рис. 1). Следовательно, при дальнейшем проектировании можно уменьшить ее рабочую длину с 300 до 80-100 мм.

2. Граблина весом 900 г закреплена на ремне, который не является жестким элементом. В случае столкновения с препятствием ремень поглотит часть нагрузки, предназначенной граблине. Таким образом, из конструкции граблины можно исключить пружинное основание и создать более легкий кронштейн ее крепления. Указанные меры позволят значительно снизить инерционные нагрузки, возни-



Рис. 2. Граблина с пружинным основанием на кронштейне на узком ремне (стрелкой показано устройство, предотвращающее сброс ремня)

Fig. 2. A rake with a spring base fastened to the bracket with a narrow belt (the arrow indicate a device that prevents the belt from dropping)

кающие в процессе работы.

3. На рабочем органе представленной машины используют устройство, предотвращающее сброс ремня. Его применение обусловлено тем, что ремень, используемый на рабочем органе, не обладает достаточной жесткостью. Для его надежного удержания на шкивах при столкновении с препятствием или при захвате большой порции сена дополнительно возникает сила трения, которая значительно возрастает с увеличением массы вала. Решением проблемы станет применение более широкого ремня. При этом отпадает необходимость использования устройств, устраняющих сброс ремня [5].

4. Исследование распределения нагрузки, проведенное методом конечных элементов, показало, что поломка граблины чаще всего происходит в месте закрепления болта (рис. 3). Отломившаяся часть граблины, захваченная, например, подборщиком, может повредить механизмы машин на последующих операциях в поле [6-11].

В ходе проведения конструкторских работ спроектирована оригинальная конструкция граблины, не имеющая пружинного основания (рис. 4).

Чтобы установить прочностные характеристики, провели расчет граблины на прочность и долговечность с применением МКЭ. Деталь разрабатывали в системе автоматизированного проектирования Solid Works (рис. 4). При расчетах использовали стандартные компьютерные программы по методу МКЭ.

Во внимание принимали данные предварительных исследований, полученные в процессе полевых испытаний: масса вала – до 10 кг; линейная скорость сгребания – 12 м/с.

Предложили новую конструкцию сгребющего рабочего органа, изменили способ крепления граблин (рис. 5, 6). Граблина фиксируется двумя легкими прижимами и в случае поломки в опасном сечении остается на ремне.

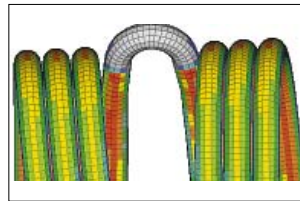


Рис. 3. Распределение нагрузки и характерная поломка за местом крепления болта

Fig. 3. Load distribution and a characteristic breakage beyond the bolt attachment point



Виртуальную модель граблины разбили на конечные элементы. Характеристика модели:

- количество элементов – 5504 шт.;
- количество узлов – 7093 шт.;

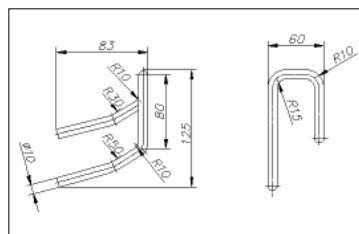


Рис. 4. Чертеж и 3D-модель граблины

Fig. 4. Drawing and 3D-model of a rake



- тип элементов – гексаэдр (шестиугольник).

Критическим условием считается разрушение граблины при столкновении с препятствием (камень, твердые слои почвы). На рисунке 6 показаны расчетная схема и места крепления граблины на

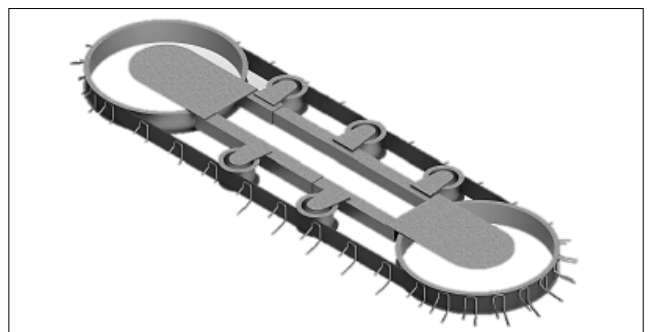


Рис. 5. 3D-модель конструкции сгребющего рабочего органа

Fig. 5. 3D-model of the raking element design

ремне (отмечены треугольниками).

Как видно на схеме, нагрузка приложена к свободным концам граблины с помощью условного элемента (показан стрелками). Для изготовления граблины выбрана сталь Ст.65Г, вес детали (по модели) – 300 г, длина развертки – 343 мм.

Характеристика стали Ст.65Г:

- предел текучести – 785 МПа;
- предел прочности – 980 МПа;
- модуль упругости – $2,13 \cdot 10^5$ МПа;
- коэффициент Пуассона – 0,3.

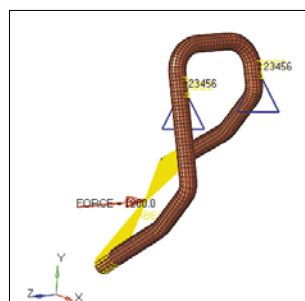
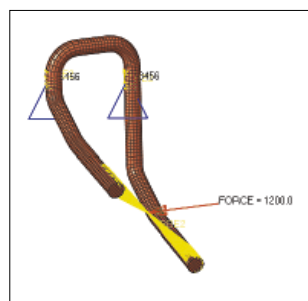


Рис. 6. Расчетная схема и места крепления граблины на ремне
Fig. 6. Design scheme and points of fastening the rake on the belt

Коэффициент запаса прочности рассчитали по формуле:

$$n = \frac{\sigma_b}{\sigma_{расч}} = 1,44, \quad (1)$$

где n – коэффициент запаса прочности;

σ_b – предел прочности стали, МПа;

$\sigma_{расч}$ – максимальное расчетное напряжение, МПа.

Вычислили силу F , действующую на граблины, МПа [6]:

$$F = \frac{MK_d}{R}, \quad (2)$$

где M – максимальный крутящий момент, Н·м;

K_d – коэффициент динамичности;

R – радиус шкива рабочего органа, м,

то есть:

$$F = \frac{400 \cdot 1,5}{0,35} = 1200 \text{ МПа}$$

Результаты расчета представлены на рисунке 7. По результатам расчета определены максималь-

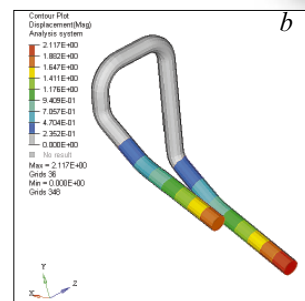
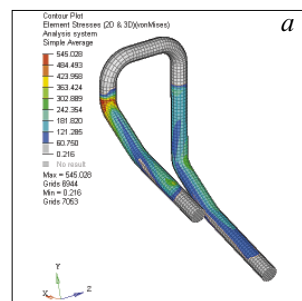


Рис. 7. Результаты расчета:

a – напряжений; b – упругой деформации детали

Fig. 7. Calculation results:

a – stresses; b – elastic deformation of the part

ные напряжения. Они возникают вблизи мест закрепления граблины и равны приблизительно 545 МПа. Максимальная упругая деформация граблины составит 2,1 мм при точности измерения 5% (Патент на полезную модель *RUS 152669*).

Расчеты показали, что вес граблины снизился на 0,6 кг, а общий вес рабочего органа – на 14,4 кг ($0,6 \cdot 24 \text{ шт.} = 14,4 \text{ кг}$).

Выводы. Предложенная конструкция граблины вполне удовлетворяет эксплуатационным требованиям к прочности и деформации.

Схема закрепления граблины на широком ремне позволяет исключить применение устройства, предотвращающего сброс ремня при столкновении граблины с препятствием, что значительно упрощает конструкцию сгребающего органа.

Разработка позволит снизить вес, энергоёмкость и себестоимость производства машины.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Сизов О.А. Технологии и технические средства для восстановления и реабилитации неиспользуемых и деградированных сельскохозяйственных земель // *Техника и оборудование для села*. 2010. N2. С. 12-14.
- Измайлов А.Ю., Елизаров В.П., Артюшин А.А., Лобачевский Я.П., Кряжков В.М., Антышев Н.М., Бабченко В.Д., Бейлис В.М., Голубкович А.В., Гришин А.П., Евтюшенков Н.Е., Жалнин Э.В., Жук А.Ф., Колесникова В.А., Левина Н.С., Личман Г.И., Марченко Н.М., Марченко Л.А., Марченко О.С., Михеев В.В. и др. Система машин и технологий для комплексной механизации и автоматизации сельскохозяйственного производства на период до 2020 года. М.: ВИМ. 2012. Т. 1. Растениеводство. 303 с.
- Измайлов А.Ю., Шогенов Ю.Х. Интенсивные машинные технологии и техника нового поколения для производства основных групп сельскохозяйственной продукции // *Техника и оборудование для села*. 2017. N7 (241). С. 2-6.
- Орсики Л.С., Ревякин Е.Л. Инновационные техноло-

гии и комплексы машин для заготовки и хранения кормов. М.: Росинформагротех. 2008. 140 с.

- Еремин П.А. Физическое моделирование процесса сгребания сена из клевера на лабораторной установке грабель ротационно-конвейерного типа // *Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института механизации сельского хозяйства*. 1989. N74. С. 9-11.
- Феодосьев В.И. Сопротивление материалов. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 1999. 592 с.
- Суркова Т.А. Грабли с центральной укладкой валка модели GA 8731 фирмы «Kuhn» // *Механизация и электрификация в растениеводстве*. 2017. N1. С. 101-103.
- Марченко О.С. Проблемы технического обеспечения кормопроизводства в России // *Кормопроизводство*. 1993. N2. С. 2-10.
- Баутин В.М., Буклагин Д.С., Артюшин А.А. Справочник инженера-механика сельскохозяйственного производства. М.: Росинформагротех. 2003. Ч. 2. 368 с.
- Yukumoto O. Japanese Agriculture and Agricultural

Machinery – Current Status and Problems. *Agricultural mechanization in Asia, Africa and Latin America: AMA*. 2011. Vol. 42. N1. 72-75.

11. Shibusawa S. New Stage of Agriculture Mechanization Research in Japan. *Agricultural mechanization in Asia, Africa and Latin America: AMA*. 2011. Vol. 42. N1. 79-82.

REFERENCES

1. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P., Sizov O.A. Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva dlya vosstanovleniya i reabilitatsii neispol'zuemykh i degradirovannykh sel'khozugodiy [Technologies and technical means for the rehabilitation and restoration of unused and degraded farmland]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2010. N2. 12-14 (In Russian).
2. Izmaylov A.Yu., Elizarov V.P., Artyushin A.A., Lobachevskiy Ya.P., Kryazhkov V.M., Antyshev N.M., Babchenko V.D., Beylis V.M., Golubkovich A.V., Grishin A.P., Evtyushenkov N.E., Zhalnin E.V., Zhuk A.F., Kolesnikova V.A., Levina N.S., Lichman G.I., Marchenko N.M., Marchenko L.A., Marchenko O.S., Mikheev V.V., et al. Sistema mashin i tekhnologiy dlya kompleksnoy mekhanizatsii i avtomatizatsii sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva na period do 2020 goda [System of machines and technologies for the comprehensive mechanization and automation of agricultural production for the period up to 2020]. Moscow: VIM. 2012. Vol. 1. *Rasteniyevodstvo*. 303 (In Russian).
3. Izmaylov A.Yu., Shogenov Yu.Kh. Intensivnye mashinnye tekhnologii i tekhnika novogo pokoleniya dlya proizvodstva osnovnykh grupp sel'skokhozyaystvennoy produktsii [Intensive machine technologies and new generation equipment for the production of main agricultural products]. *Tekhnika i oborudovaniye dlya sela*. 2017. N7(241). 2-6 (In Russian).
4. Orsik L.S., Revyakin E.L. Innovatsionnyye tekhnologii i komplekсы mashin dlya zagotovki i khraneniya kormov [Innovative technologies and machine complexes for feed preparation and storage]. Moscow: Rosinformagrotekh. 2008. 140 (In Russian).
5. Eremin P.A. Fizicheskoe modelirovanie protsessa sgrebaniya sena iz klevera na laboratornoy ustanovke grabel' rotatsionno-konveernogo tipa [Physical modeling of clover hay raking on a laboratory installation of a rotary conveyor rake device]. *Nauchno-tekhnicheskiiy byulleten' Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mekhanizatsii sel'skogo khozyaystva*. 1989. N74. 9-11 (In Russian).
6. Feodos'ev V.I. Soprotivlenie materialov [Strength of materials]. Moscow: Izd-vo MGTU im. N.E. Baumana. 1999. 592 (In Russian).
7. Surkova T.A. Grabli s tsentral'noy ukladkoy valka modeli GA 8731 firmy "Kuhn" [Rake with central roll laying of GA 8731 model made by the "Kuhn" company]. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya v rasteniyevodstve*. 2017. N1. 101-103 (In Russian).
8. Marchenko O.S. Problemy tekhnicheskogo obespecheniya kormoproizvodstva v Rossii [Problems of technical support of forage production in Russia]. *Kormoproizvodstvo*. 1993. N2. 2-10 (In Russian).
9. Bautin V.M., Buklagin D.S., Artyushin A.A. Spravochnik inzhenera-mekhanika sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva [Reference book of agricultural engineer]. Moscow: Rosinformagrotekh. Part 2. 2003. 368 (In Russian).
10. Yukumoto O. Japanese Agriculture and Agricultural Machinery – Current Status and Problems. *Agricultural mechanization in Asia, Africa and Latin America: AMA*. 2011. Vol. 42. N1. 72-75 (In English).
11. Shibusawa S. New Stage of Agriculture Mechanization Research in Japan. *Agricultural mechanization in Asia, Africa and Latin America: AMA*. 2011. Vol. 42. N1. 79-82 (In English).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 19.12.2018
The paper was submitted
to the Editorial Office on 19.12.2018

Статья принята к публикации 08.02.2019
The paper was accepted
for publication on 08.02.2019