

ОПТИМИЗАЦИЯ ИЗМЕЛЬЧАЮЩЕГО АППАРАТА КОРМОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Ганцевский В.М., Орловский П.А., Папша А.Ю., Пигенко В.А., Сергеев С.А.

Ростсельмаш, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Аннотация. В статье дан обзор основных функциональных систем кормоуборочных комбайнов, описан способ повышения производительности комбайна, за счет оптимизации параметров конструкции измельчающего аппарата. В работе проанализирована конструкция измельчающего барабана из состава измельчающего аппарата, определены ключевые параметры, влияющие на энергоэффективность технологического процесса, разработаны и применены меры по повышению энергоэффективности конструкции измельчающего аппарата.

Ключевые слова. Имитационное моделирование, кормоуборочный комбайн, измельчающий аппарат, усилие резания, момент сопротивления резанию

FORAGE HARVESTER CHOPPING MECHANISM OPTIMIZATION USING SIMULATION TECHNIQUES

Gantsevskii V.M., Orlovskii P.A., Papsha A.IU., Pigenko V.A., Sergeev S.A.

Rostselmash, Rostov-on-Don, Russian Federation

Abstract. The article gives an overview of the main functional systems of forage harvesters, describes the way to increase the productivity of the harvester by optimizing the design parameters of the chopping mechanism. The article contains an analysis of the design of the cutterhead as a part of the chopping mechanism, defines key parameters influencing the energy efficiency of the technological process, develops and applies measures to improve the energy efficiency of the chopping mechanism design.

Keywords. Simulation modeling, forage harvester, chopping mechanism, cutting force, cutting resistance moment

По мере развития сельского хозяйства, к технике предъявляют новые требования, соответствующая которым, возможно достичь прогресса в наиболее важной отрасли экономики страны. За период с 2008 по 2018 год, в стране стали интенсивно образовываться крестьянские подворья и в результате, объем производимых товаров увеличился более, чем в 4 раза. Учитывая темпы роста производимой продукции, возникает необходимость в развитии новой техники, которая будет не только соответствовать актуальным требованиям, но и способствовать дальнейшему улучшению [1]. Существующие кормоуборочные комбайны «Дон-680М» (далее «Дон-680М»), производства группы компаний «Ростсельмаш», обеспечивают функционирование средних и мелких животноводческих хозяйств со стадом до 500 голов крупного рогатого скота [2]. Однако, государственная программа способствовала образованию дополнительного сегмента в отрасли со стадом до 1000 голов, и производительности «Дон-680М» уже не достаточно для обеспечения всех потребностей. Фирма New Holland предлагает комбайны серии FR с наименьшей мощностью 395 л.с. [3], применение которых для фермеров является экономически нецелесообразным, как и применение комбайнов John Deere с мощностью от 380 л.с. [4]. Фирма Claas производит комбайны Jaguar 830 с необходимой производительностью [5], но стоимость подобной модели велика для образовавшегося сегмента. Таким образом, созданные условия в сельской отрасли требуют оптимизации существующих комбайнов для создавшегося сегмента потребителя.

При создании техники, важным вопросом является оптимальное сочетание функциональной эффективности и экономических параметров, например, себестоимости и энергопотребления. В данной статье, на примере нового кормоуборочного комбайна «RSM F 1300» (далее «RSM F 1300»), описан процесс оптимизации параметров измельчающего аппарата, с точки зрения энергоэффективности.

Основной функцией кормоуборочного комбайна является заготовление кормов. Технологический процесс комбайна выполняется следующим образом: аппарат питающий 1 подает растительную массу в измельчающий аппарат 2, который при вращении измельчает скошенную растительную массу измельчающим барабаном, и перемещает ее далее через диффузор 3 в зону

доизмельчителя 4 (рис. 1). Доизмельчитель 4, выполняет дополнительное измельчение и перемещение корма в зону ротора 5. Корм, попадая в зону вращения ротора 5, получает дополнительную энергию и перемещается в зону силосопровода 7, через конфузор 6. Из силосопровода 7 корм попадает в кузов автотранспортного средства. Таким образом, из всех функциональных систем, качество заготавливаемого корма в большей степени зависит от измельчающего барабана, из состава измельчающего аппарата 1, и доизмельчителя 4.

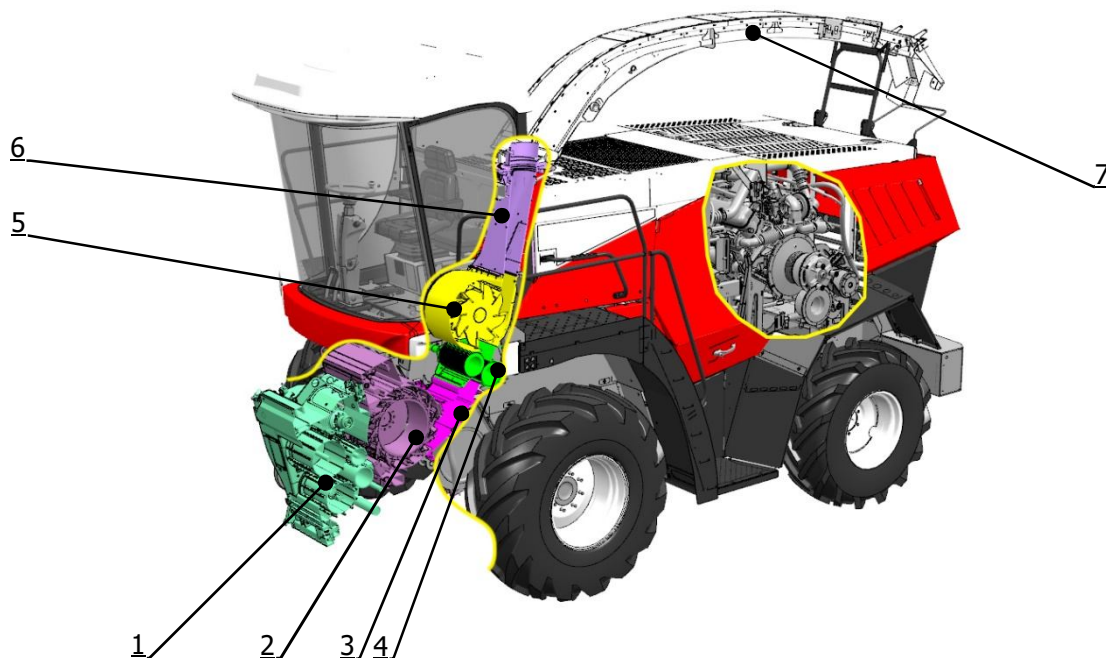


Рисунок 1 – Общий вид кормоуборочного комбайна «RSM F 1300»

Из всех функциональных систем, непосредственно участвующих в технологическом процессе, процесс резания измельчающим барабаном, является самым энергоемким в системе кормоуборочных комбайнов. Усилие резания, возникающее при работе барабана, зависит от многих факторов: частоты вращения, расположения ножей, остроты лезвия, физико-механических свойств убираемой культуры и прочих факторов.

По методике акад. В.П. Горячкина можно определить полное усилие резания P [6, с.297]:

$$P = q \cdot \Delta s \cdot \cos \tau \cdot (1 + f \cdot \operatorname{tg} \tau) \quad (1)$$

где q - удельное давление на режущей кромке ножа, $\frac{H}{мм}$;

Δs - участок лезвия, находящийся в срезаемом слое, $Мл$;

τ - угол скольжения, $град$;

f - коэффициент скользящего резания.

Момент сопротивления резанию M для измельчающего барабана:

$$M = P \cdot r = q \cdot \Delta s \cdot \cos \tau \cdot (1 + f \cdot \operatorname{tg} \tau) \cdot r \quad (2)$$

где r - плечо усилия резания, $Мл$

Анализируя влияние каждого из параметров на момент сопротивления резанию, определены следующие зависимости:

1) удельное давление на режущей кромке ножа, возрастает с уменьшением частоты вращения измельчающего барабана. Например, при изменении скорости резания от 10 м/с до 21 м/с среднее усилие резания снижается от 823 Н до 443 Н, что напрямую влияет на удельное давление [6, с.255].

2) Уменьшение угла скольжения, увеличивает удельное давление на режущей кромке, при этом зависимость двух величин – нелинейная. Для каждой культуры есть наиболее выгодный диапазон и, например, для кукурузы при значениях угла скольжения от 0° до 25° удельное давление на кромке ножа снижается, но при значениях угла скольжения от 25° до 45° возрастает [6, с.279].

3) учитывая толщину, скорость подачи срезаемого слоя и длину резки, определяется количество ножей, которые напрямую влияют на участок лезвия, находящийся в срезаемом слое. Например, для достижения определенной производительности, уменьшать скорость подачи растительной массы питающим аппаратом и при этом увеличить количество ножей – нецелесообразно. Эффективнее увеличить скорость подачи растительной массы и уменьшить количество ножей, поскольку процесс резания является более энергоемким [6, с.423].

4) увеличение диаметра барабана пропорционально увеличивает момент сопротивления резанию.

По результатам анализа усилий резания, конструкция измельчающего барабана «RSM F 1300» подобрана таким образом, чтобы усилие резания было минимальным (рис. 2). На рисунке 3 отображен график зависимости моментов сопротивления резанию M от периода вращения барабана T для двух конструкций.

При проведении анализа было определено, что на траекторию перемещения скошенной растительной массы, помимо геометрических, кинематических и механических свойств рабочих органов, оказывает влияние и физико-механических свойства убираемой культуры. Так, к примеру, влажность убираемой культуры, является важным показателем, оказывающим влияние на коэффициент трения, модуль упругости, коэффициент Пуассона, коэффициент восстановления и прочие показатели физико-механических свойств убираемой культуры. Изменение влажности от 10% до 73%, влечет за собой увеличение коэффициента трения движения измельченной люцерны по нержавеющей стали от 0,20 до 0,68 [7]. С увеличением влажности зерна кукурузы от 6,7% до 25,0%, изменяется коэффициент Пуассона от 0,17 до 0,4, угол естественного откоса от 23,1° до 34,7°, коэффициент трения по стали от 0,235 до 0,76 [8]. Принимая во внимания все показатели, проведен анализ траектории перемещения растительной массы по рабочим органам комбайна в различных условиях работы и применены меры по повышению эффективности технологического процесса, в результате чего оптимизирована конструкция технологического тракта «RSM F 1300» (рис. 2).

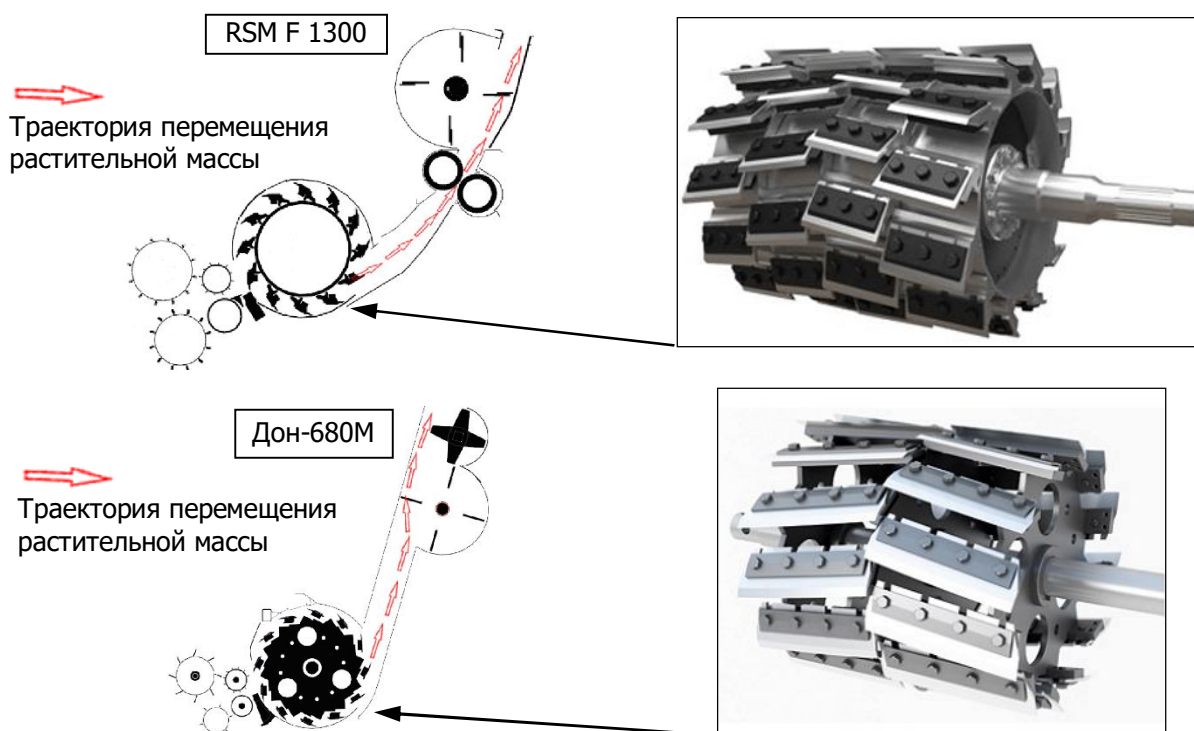


Рисунок 2 – Сравнение конструктивной схемы рабочих органов «RSM F 1300» и «Дон-680М»

По результатам оптимизации конструкции измельчающего барабана, среднее значение момента сопротивления резанию снизилось на 10%, амплитуда изменений момента составила $\pm 5\%$ для конструкции барабана «RSM F 1300» и от -19% до +9% для барабана «Дон-680М» (рис. 3). Уменьшенная, равномерная амплитуда изменения моментов, является дополнительным преимуществом разработанной конструкции «RSM F 1300», поскольку это влияет на долговечность барабана и его составных частей.

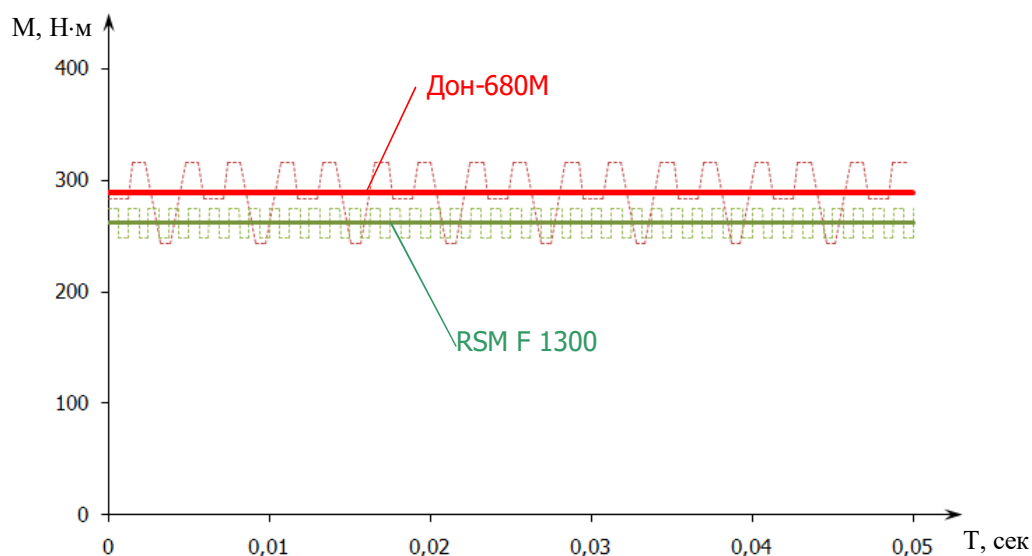


Рисунок 3 – Сравнение моментов сопротивления резанию измельчающих барабанов «RSM F 1300» и «Дон-680М»

По результатам имитационного моделирования протекания технологического процесса, рабочих изменена конструкция функциональных систем, с целью уменьшения потребляемой энергии на перемещение скошенной растительной массы (рис. 2)

В целом, комплекс принятых мер по оптимизации измельчающего барабана и остальных функциональных систем, позволил увеличить среднее значение производительности «RSM F 1300» на 15...30 %, по сравнению с комбайном «Дон-680М».

Список использованных источников

1. Структура и отрасли сельского хозяйства по данным Росстат [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://rosinfostat.ru/selskoe-hozyajstvo/>
2. Кормоуборочный комбайн DON 680M [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://rostselmash.com/products/forage_harvesters/DON_680M/
3. Кормоуборочные комбайны New Holland FR [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://agriculture.newholland.com/apac/ru-ru/produkcija/produkty/kormouborocnyye-kombajny/fr/model-nuj>
4. Кормоуборочные комбайны [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.deere.ru/ru/самоходные-кормоуборочные-комбайны/>
5. Кормоуборочные комбайны JAGUAR 870–830 [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.claas.ru/produktsiya/silosouborochnyye-kombajny/jaguar870-840-2019>
6. Резник Н.Е. Силосоуборочные комбайны. Теория и расчет. Изд., Машиностроение, М., 1964.
7. ASAE D251.2 APR2003 (R2017) Friction Coefficients of Chopped Forages
8. Boac J.M., Casada M.E., Maghirang R.G., Harner J.P. Material and interaction properties of selected grains and oilseeds for modeling discrete particles. 2009 ASABE Annual International Meeting, Nevada, Paper No: 09-7166.