

УДК 631.354.6

**А.Н. Перепечаев,**

**И.В. Барановский**

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

**С.Г. Гриньков**

*(УО «БГАТУ»),  
г. Минск, Республика Беларусь)*

## **ОБЗОР И АНАЛИЗ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ И ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ПЛАНЕТАРНОГО МЕХАНИЗМА ПРИВОДА НОЖА**

### **Введение**

Развитие современных режущих аппаратов уборочных машин идет по двум направлениям: первое – улучшение технологического процесса резания на основании оптимизации параметров аппарата и изыскания новых способов резания сельскохозяйственных культур и новых типов режущих аппаратов; второе – усовершенствование приводных механизмов ножа [1].

Для привода ножа используют плоские или пространственные кривошипно-ползунные механизмы, кривошипно-шатунный механизм с коромыслом или двуплечим рычагом. В некоторых уборочных машинах применяют механизм с водилом, механизмы типа качающаяся шайба, качающаяся вилка и другие [2].

Применение того или иного механизма привода оказывает значительное влияние на процесс резания, а также на производительность жатвенного агрегата в целом.

### **Основная часть**

Резание является одним из технологических приемов при разрушении и обработке различных материалов. Физико-механические свойства материала в основном определяют геометрию ножа и характер процесса срезания.

Срезание растений осуществляется ножами, которые представляют собой плоский или пространственный клин. Сила, приложенная к клину, вызывает значительное удельное давление между лезвием и материалом, что приводит к разрушению связей между отдельными частицами материала.

После проникновения лезвия в материал грани клина вступают во взаимодействие с ним, при этом в зависимости от свойств разрезаемого материала они могут содействовать резанию или тормозить его.

Условие среза стебля при действии на него режущего инструмента с некоторой скоростью можно записать в общем виде:

$$R_s < P_{из} + P_{ин} + P_в + P_c,$$

где  $R_s$  – сила, необходимая для перерезания стебля режущим инструментом, которая определяется опытом;

$P_{из}$  – сопротивление стебля изгибу;

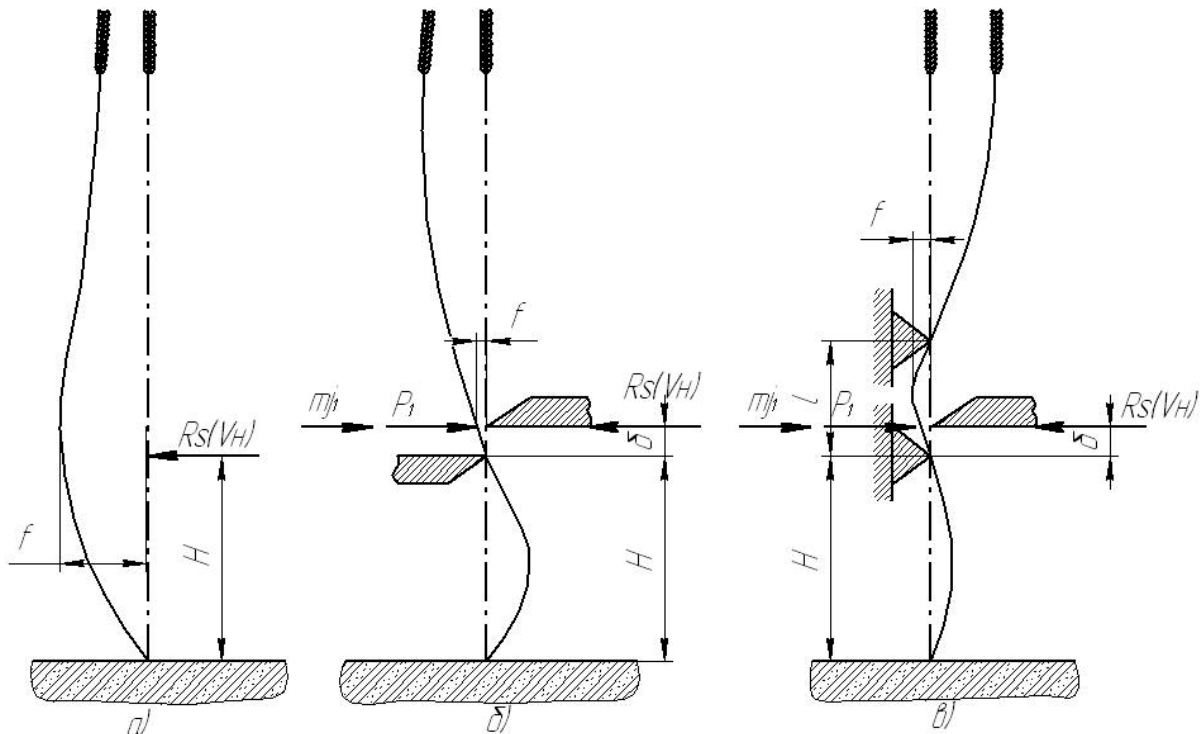
$P_{ин}$  – силы инерции стебля;

$P_e$  – сопротивление воздуха при отклонении стебля;

$P_c$  – сопротивление отклонения стебля со стороны рядом стоящих стеблей.

В дальнейшем при определении скорости резания одиночного стебля силы  $P_e$  и  $P_c$  не учитывают.

На схеме резания свободно стоящий стебель без опоры можно представить как консольную балку, жестко закрепленную в основании и подвергающуюся действию силы  $R_s$  со скоростью  $\vartheta_n$  на высоте резания  $H$  (рисунок 58).



а) свободностоящего без опоры; б) с одной опорой; в) на двух опорах

Рисунок 58 – Схема резания стебля

За время удара  $\Delta t$  режущего инструмента стебель отклонится на величину  $f$  и займет положение, показанное на рисунке 58а. Тогда сопротивление стебля отгибу

$$P = \frac{3fEJ}{H^3},$$

но  $f = \vartheta_n \cdot \Delta t$  и среднее ускорение стебля  $j = \frac{\vartheta_n}{\Delta t}$ .

Условие среза стебля:

$$R_s < P + mj = \frac{3\vartheta_n \Delta t E J}{H^3} + \frac{m \vartheta_n}{\Delta t},$$

откуда скорость режущего инструмента:

$$\vartheta_n > \frac{R_s}{\frac{3\Delta t E J}{H^3} + \frac{m}{\Delta t}},$$

где  $m$  – приведенная масса стебля в точку удара.

Скорость режущего инструмента, необходимую для перерезания стебля с одной опорой, получим, допустив жесткую заделку стебля у опоры (рисунок 58б). Тогда

$$R_s < P + mj = \frac{3g_n \Delta t EJ}{\delta^3} + \frac{m g_n}{\Delta t};$$

$$g_n > \frac{R_s}{\frac{3\Delta t EJ}{\delta^3} + \frac{m}{\Delta t}}.$$

Зазор  $\delta$  между режущей пластиной и противорежущей частью значительно меньше высоты резания, поэтому скорость режущего аппарата для перерезания стебля с опорой будет значительно меньше скорости резания стебля без опоры.

Если стебель во время резания опирается на две опоры, как это обычно имеет место в режущих аппаратах зерноуборочных машин, то скорость ножа получим, рассмотрев приближенно изгиб стебля как балку, свободно лежащую на двух опорах (рисунок 58в).

Тогда

$$P_1 = \frac{3fEJ}{l\delta^2(1-\frac{\delta}{l})^2}.$$

Условие среза будет следующим:

$$R_s < \frac{3g_n \Delta t EJ}{l\delta^2(1-\frac{\delta}{l})^2} + \frac{m g_n}{\Delta t},$$

откуда

$$g_n > \frac{R_s}{\frac{3\Delta t EJ}{l\delta^2(1-\frac{\delta}{l})^2} + \frac{m}{\Delta t}}. \quad (1)$$

Как следует из уравнения (1), на уменьшение технологической скорости резания существенное влияние оказывает зазор  $\delta$  между лезвиями и расстояние  $l$  между вкладышем и пером пальца, которое необходимо делать минимальным.

Вместе с тем одним из существенных недостатков применения в качестве привода ножа режущего аппарата механизма качающейся шайбы (далее – МКШ), равно как и механизма качающейся вилки, является отклонение спинки ножа от прямолинейного движения. Силовая передача на косилочный нож происходит непрямолинейно. Рычаг механизма такой конструкции перемещается по дуге окружности относительно центра вращения, при этом чем длиннее рычаг, тем меньше угол поворота и тем больше крутящий момент, а следовательно, тем больше и массивнее должно быть устройство [3]. Все это приво-

дит к тому, что зазор (в режущей паре сегмент – противорежущая пластина) увеличивается, что также оказывает влияние на усилие резания. Так, при увеличении зазора от 2 до 10 мм работа, затрачиваемая на срезание, увеличивается в 1,7 раза (при условии использования острого лезвия). В случае затупления лезвия до радиуса 0,3 мм работа на срезание при зазоре в 0,4 мм увеличивается в 6–7 раз [4]. С целью максимального снижения влияния привода на увеличение зазора на головке ножа, где игра ножевых сегментов проявляется сильнее всего, производится удержание ножа с обеих сторон направляющими крышками, установленными на внутреннем башмаке [5, с. 206], что, в свою очередь, влечет усложнение конструкции ножа.

Вторым существенным недостатком МКШ является возникновение неуравновешивающих сил, которые вызывают дополнительное динамическое нагружение опор, вибрацию рамы, снижают долговечность и надежность режущих аппаратов, понижают качество технологического процесса, ухудшают условия работы водителей. В силу сложности конструктивного выполнения осуществить на практике полное уравновешивание механизмов возвратно-поступательного действия не всегда удается. Поэтому в большинстве случаев неуравновешенные силы компенсируются лишь частично [6]. Помимо этого, при приводе ножа МКШ скручивающий момент, действующий на вал, получается достаточно высоким, что ограничивает возможность увеличения числа оборотов. Установка противовеса на ведомом валу для уравновешивания сил инерции на его опоре нецелесообразна, так как это приводит к увеличению скручивающего момента, действующего на вал. Увеличение угла установки свыше  $18^\circ$  позволяет повысить скорость, но приводит к увеличению динамической напряженности механизма [7].

Вместе с тем увеличение скорости ножа является весьма перспективным с точки зрения повышения производительности агрегата и снижения работы, затрачиваемой на срезание стеблей растений. Так, Н.Е. Резником была получена формула, описывающая удельную нагрузку, действующую на лезвие  $p$  по скашиваемой площади и приходящуюся на единицу длины лезвия принятого сегмента:

$$p = \frac{t_0 h}{h_0},$$

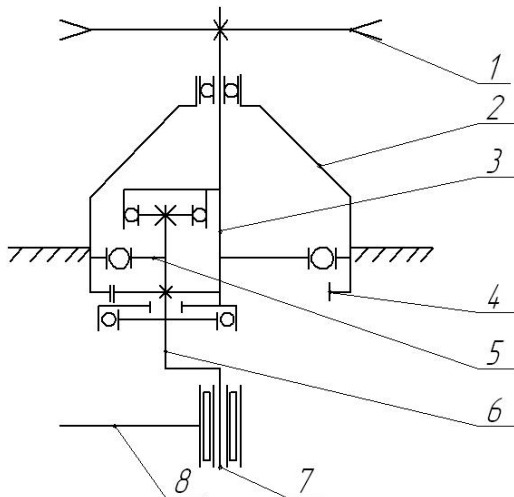
где  $h$  – величина подачи растений;

$h_0$  – высота сегмента;

$t_0$  – шаг расстановки ножа.

Рассматривая нагрузку на лезвие для различных режимов (при числе ходов  $n' = 403$  и  $n'' = 460$ , принимая скорость машины  $\mathcal{G}_M = 1,5$  м/с), получим следующие результаты:  $p' = 13,0$  мм и  $p'' = 11,4$  мм. В обоих случаях нагрузка на лезвие достаточно высокая, но второй вариант режима, имеющий меньшую величину  $p''$ , является более приемлемым, что говорит в пользу увеличения циклов ножа, а соответственно, и скорости.

Об этом же свидетельствуют исследования академика А.Н. Карпенко, установившего, что при повышении скорости ножа сопротивление резанию уменьшается. Так, при повышении скорости от 0,75 до 1,85 м/с напряжение среза уменьшилось от 600 до 385 г/мм. Наблюдаемое в данном случае уменьшение сопротивления объясняется тем, что при большой скорости ножа деформация стебля успевает распространиться в меньшей степени [8].



- 1 – приводной вал со шкивом;  
 2 – корпус; 3 – центральный вал; 4 – корона;  
 5 – сателлит; 6 – вал; 7 – шип; 8 – нож

**Рисунок 59 – Схема нового планетарного механизма привода ножа**

В связи с вышеизложенным весьма перспективным является осуществление привода ножа планетарным механизмом (рисунок 59), который преобразует вращательное движение приводного вала 1 в плоское возвратно-поступательное движение шипа 7, располагаемого в головке ножа 8. Головка ножа движется только прямолинейно и не подвергается деформации изгиба, что позволяет не только уменьшить зазоры в режущей паре «сегмент – противорежущая пластина», но и упростить конструкцию ножа за счет исключения направляющих крышек.

Применение данного механизма позволяет также максимально снизить вес жатки, приблизить центр тяжести жатки к оси ведущих колес трактора и снизить динамические нагрузки, возникающие в случае с приводом МКШ, упростить обслуживание режущего аппарата.

Также при использовании данного привода, в сравнении с механизмом качающейся шайбы, отпадает необходимость использования колебательных валов, устанавливаемых вдоль всей ширины платформы жатки, и подвесок ножа, масса которых довольно значительна, а их центры тяжести удалены от ведущих колес трактора.

Однако такое конструктивное оформление механизма привода ножа, несмотря на достаточно компактное размещение в боковине жатки, влечет за собой применение делителя с увеличенным поперечным сечением, что повышает боковой изгиб растений при срезании в зоне делителя и приводит к приминанию растений. Поэтому планетарный механизм лучше устанавливать с левой стороны жатки по ходу агрегата, то есть в зоне внутреннего делителя, что исключает ухудшение условий среза и повышение потерь в зоне делителя [9].

Данный привод режущего аппарата был установлен на опытном образце валковой жатки ЖТ-6. В режущем аппарате предлагаемой жатки средняя скорость ножа  $\vartheta_{\text{ср}}$  при числе циклов  $n = 572 \text{ мин}^{-1}$

$$v_{\text{нсп}} = \frac{S \cdot n}{30} = \frac{0,085 \cdot 572}{30} = 1,62 \text{ м/с.}$$

У серийной жатки ЖСК-4В средняя скорость ножа составляет  $v_{\text{нсп}} = 1,44 \text{ м/с}$ .

В таблице 19 приведены средние скорости ножа на режущих аппаратах с приводом МКШ и с планетарным механизмом.

Таблица 19 – Средние скорости ножа режущих аппаратов

Шаг $t$ режущей части, мм	Ход $S$ ножа, мм	Обороты $n$ кривошипного вала в минуту	Средняя скорость $v_{\text{нсп}}$ ножа, м/с	Отношение $v_{\text{нсп}}/v_M$ при $v_M = 1,5 \text{ м/с}$	Подача, мм
76,2	85	572	1,62	1,08	79
76,2	76,2	400–415	1,02–1,03	0,68–0,86	112–108
76,2	127	290–355	1,24–1,5	0,82–1,0	155–127
76,2	132	325	1,43	0,95	138
76,2	154,2	300–325	1,52–1,7	1,01–1,13	150–138

Из таблицы 19 видно, что увеличением хода ножа средние скорости можно повысить при меньших числах оборотов кривошипного вала. У аппарата с  $S = 2 t_0 = 2 t$  скорости резания больше нуля, и в то же время имеет место неравномерная нагрузка на лезвия сегментов. Преимущество режущего аппарата с двойным пробегом сегментов состоит в том, что допускаемая подача на один ход ножа больше в 1,5–2 раза. Но данный аппарат имеет существенные недостатки: недостаточное использование максимальной скорости ножа в процессе резания не позволяет с увеличением радиуса кривошипа в 2 раза уменьшить на столько же частоту вращения; колебание пальцевого бруса, рамы машины при двойном ходе ножа значительно больше, чем при одинарном; при кривошипном приводе ножа в опасном сечении спинки ножа возникают большие напряжения; повреждение лезвий сегментов происходит быстрее, чем в аппаратах с одинарным пробегом сегментов.

### Выводы

Дальнейшее развитие конструкций жатвенных машин предусматривает использование последних известных принципиально новых научно-технических разработок в области механизмов привода. В первую очередь – применение планетарного редуктора привода ножа, позволяющее значительно упростить конструкцию и уменьшить массу механизмов системы привода ножа, а соответственно, и массу жатки.

Применение планетарного привода позволяет увеличить скорость ножа, при этом избежав недостатков, присущих механизмам типа качающаяся шайба, а также упростить обслуживание привода, повысить скорости резания и надежность режущего аппарата.

21.06.11

## Литература

1. Теория, конструкция и расчет сельскохозяйственных машин: учебник для вузов сельскохозяйственного машиностроения / Е.С. Босой [и др.]. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1977. – 568 с.
2. Бойко, Л.И. Пути совершенствования приводов режущих аппаратов уборочных машин / Л.И. Бойко, Т.В. Бойко, И.В. Михалькевич. – Минск: БелНИИТИ, 1990. – 56 с.
3. Механизм привода ножа: пат. Украины, МПК (2010) / Б.А. Белокопытов, П.И. Пекшев; заявитель открытое акционерное общество «Завод «Симферопольмаш». – № u5010717; заявл. 21.01.2008.; опубл. 27.05.2010. // Промислова власність. – Бюл. № 3.
4. Резник, Н.Е. Теория резания лезвием и основы расчета режущих аппаратов / Н.Е. Резник; под ред. С.И. Булатова. – М.: Машиностроение, 1975. – 312 с.
5. Полевецкий, К.А. Сельскохозяйственные машины и орудия / К.А. Полевецкий, А.Н. Карпенко. – М.: Ленинград, 1952. – 646 с.
6. Методические указания по балансировке жестких роторов (к ГОСТ 22061–76 «Машины и технологическое оборудование. Система классов точности балансировки. Основные положения. Введ. 01.07.1977.)) // ГОСТы, СНИПы, СанПиНы и др. [Электронный ресурс]. – 2008–2011. – Режим доступа: <http://base1.gostedu.ru/10/10761/>. – Дата доступа: 04.07.2011.
7. Машины для уборки и обработки зерновых культур / И.Н. Гуров [и др.]. – М.: Машиностроение, 1964. – 512 с.
8. Трубилин, Е.И. Машины для уборки сельскохозяйственных культур. – Е.И. Трубилин, В.А. Абликов. – Краснодар: КубГАУ, 2010. – 27 с.
9. Состояние и перспективы развития нетрадиционных технологий уборки и обмолота зерновых культур: отчет о НИР / ВНИИГПЭ; Ю.Г. Смирнов, А.Р. Барсов, Г.В. Борисова, Л.В. Мантейфель. – М., 1988. – № IB646.

УДК 631.358:633.521

**И.Н. Дударев**

*(Луцкий национальный  
технический университет,  
г. Луцк, Украина)*

## **ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ УБОРКИ МАСЛИЧНОГО ЛЬНА И КОНСТРУКЦИИ СРЕДСТВ ДЛЯ ЕЕ РЕАЛИЗАЦИИ**

### **Введение**

В результате выращивания масличного льна в климатических условиях Западного Полесья Украины можно получить, кроме семян, до 40 ц/га соломы с содержанием волокна до 21,0...23,3% [1]. Солому масличного льна целесообразно перерабатывать на однотипное волокно, которое имеет широкий спектр использования [2]. Цель традиционных технологий уборки этой культуры – получение семян. Они не предусматривают сохранения стеблевой части льна в пригодном для последующей переработки виде с целью выделения волокна.

Во время разработки новой технологии уборки масличного льна необходимо учитывать, что основная составляющая урожая – это семена, а вторичная – льносолома. Поэтому необходимо обеспечить сохранение качественных показателей семян без их повреждения и потерь, а также подготовку стеблевой части урожая для получения волокна.

Внедрение новой технологии уборки масличного льна будет содействовать повышению рентабельности его выращивания, поскольку полученное сырье (семена, волокно, костра, полова) пригодно для комплексного безотходного использования.