

Кухтов В.Г.,
Лысенко С.В.,
Павлюченко О.С.

Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенко e-mail: nadezhnost@ukr.net

**ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ И
ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ
КЛИНОРЕМЕННЫХ ВАРИАТОРОВ
ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ**

УДК 631.354.2-585.17

В статье изложены принципы взаимодействия вариаторного ремня со шкивом при регулировании передаточного числа. Разработана методика расчета выбора профиля конусной поверхности шкивов вариатора.

Ключовые слова: *клиноремный вариатор, зерноуборочный комбайн, профилирование дисков.*

Актуальность проблемы Развития зерноуборочной техники характеризуется постоянно возрастающими требованиями к надежности машин. Повышаются нормы долговечности и безотказности. Так на данный момент средний срок службы зерноуборочного комбайна составляет 10 лет (при годовой наработке 300 моточасов) [1]. Очевидно, что обеспечение требуемого уровня надежности машин невозможно без поиска решений, позволяющих повысить работоспособность ресурсопределяющих элементов конструкции.

Повышение быстроходности, требования к вибростойкости, надежности, бесшумности, занимаемым габаритам вызвали дальнейшее развитие в общей гамме механических передач, особенно передач трением гибкой связью (ПТГС). На такие передачи, особенно клиноремные вариаторы, в настоящее время возлагаются даже несвойственные ранее функции работы в качестве муфты сцепления.

В стационарных машинах с электроприводом значительное место отводится, также, ПТГС. Это и различные виды передач с постоянным передаточным числом (плоско и клиноремные, передачи с поликлиновыми ремнями), и вариаторы с клиновым ремнем. Конструктивное исполнение первого типа передач в 90% случаев соответствует фиксации установленного положения осей шкивов, т.е. постоянству межцентрового расстояния. Экспериментально установлено, что в этом случае происходит автоматическое самонатяжение ремня по мере повышения передаваемой нагрузки. Такое поведение передачи не находит объяснения с позиций классической теории. К этому следует добавить, что для современных ремней, изготовленных из материалов с улучшенными физико-механическими характеристиками, практически не наблюдается деформаций удлинения при существующем уровне сил натяжения. Это затрудняет объяснение постулата классической теории, касающегося упругого скольжения. Автоматическое самонатяжение ремня отражается не только на его ресурсе, но и влечет не учитываемую в настоящее время перегрузку деталей передачи (валов, подшипников) в виду отсутствия необходимых расчетных зависимостей.

По своим свойствам современный ремень ближе к понятию, получившему название гибкого стержня, а отнюдь не нить. Поэтому при его нагружении необходим учет не только вида напряженного состояния, но и конкретных видов деформаций вследствие анизотропии свойств. Как показывает практика, преобладающими являются деформации изгиба в ветвях передачи и сжатия и сдвига на дугах обхвата шкивов.

Для снижения изгибной жесткости современные клиновые ремни выполняются зубчатой конструкции. Помимо снижения изгибной жесткости зубья препятствуют де-

формированию поперечного сечения при изгибе ремня в канавках шкивов. Это отражается на характере контактирования и различном проявлении его физико-механических свойств. В случае рационального решения удастся повысить ресурс зубчатого ремня в 1,3-1,5 раза по сравнению с ремнем сплошного сечения, снизить на 20% диаметры шкивов и повысить к.п.д.

Все резервы использования свойств современных ремней полностью не исчерпаны. Ведутся постоянные работы по совершенствованию всех элементов передачи. Поэтому разработка теории, методов расчета и проектирования, современных ПТГС является актуальной научно-технической проблемой, имеющей важное народно-хозяйственное значение.

Цель исследования - поиск решений по обеспечению ресурса вариаторов на основе анализа результатов исследований, выбора профиля конусной поверхности шкивов, включающей эксцентриситет действия сил на всех радиусах изгиба и дающее возможность обеспечить надлежащее контактирование ремня.

Основной материал. Рассмотренные отличия в поведении реальных ремней как физических тел при работе ПТГС указывают на необходимость исследования происходящих процессов. Проиллюстрировать сказанное может пример использования вариаторных ремней; скорости ремня соответственно до 30 м/с, допускается работа при перепаде рабочих температур окружающей среды от - 30°C до + 60°C, ужесточены требования к качеству ремней, погрешностям изготовления, стабильности физико-механических характеристик.

Для учета рассмотренных отличий современных ремней необходимо выработать основные направления, точнее концепции в исследованиях при разработке новой теории взамен классической.

Имеющийся опыт эксплуатации передач позволяет уточнить требования, которым в них должен удовлетворять ремень. Основными из них являются:

1. Ремень должен обладать максимально высокой жесткостью при продольном растяжении и поперечном сжатии; изгибная же жесткость ремня должна быть наименьшей;

2. При изгибе на шкивах малых диаметров должно практически отсутствовать искажение начальной формы поперечного сечения и обеспечено хорошее прилегание рабочих поверхностей ремня в канавках шкивов; сцепные свойства ремня с рабочей поверхностью шкивов должны быть максимально возможными;

3. Материал ремня должен быть износостойким, с малым внутренним трением, обладать стабильностью физико-механических характеристик при рабочих температурах в период всего срока эксплуатации.

В современных ремнях высокая продольная жесткость достигается за счет применения высокопрочных полимерных волокон типа кевлар в качестве несущих продольную нагрузку кордшнуров.

Если применение волокон типа кевлар позволило резко поднять продольную жесткость ремня, то до настоящего времени вопрос об аналогичном повышении поперечной жесткости полностью не решен. В современных ремнях он решается либо введением ориентированного надлежащим образом волокнистого наполнителя в резиновую смесь, либо специальных силовых элементов в зубья для ремней зубчатой конструкции. Высокая поперечная жесткость ремня — один из основных критериев его качества, отражается на повышении жесткости кинематической характеристики, снижении радиального скольжения ремня в канавках шкивов, уменьшении внутренних гистерезисных потерь и, как следствие, повышении к.п.д.

При изгибе ремня на малых радиусах даже у ремня зубчатой конструкции имеется искажение начальной трапецеидальной формы поперечного сечения. Начальная рабочая поверхность ремня с прямолинейной образующей становится криволинейной, а на уровне расположения несущих кордшнуров угол клина уменьшается и притом, существенно. В вариаторе ремень работает на шкивах при различных радиусах изгиба (рис.1).

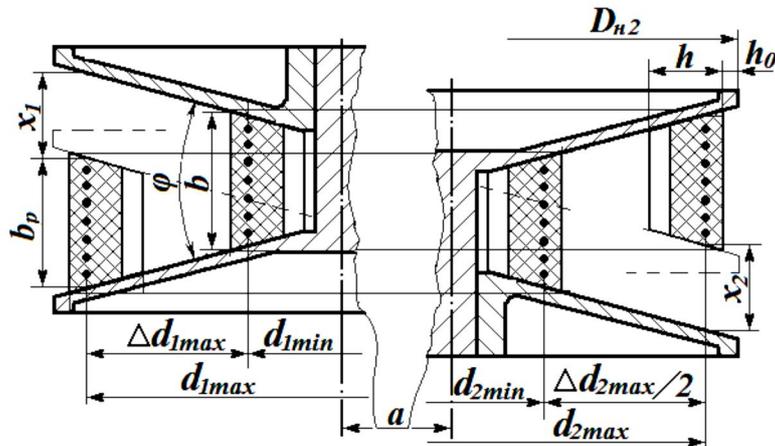


Рис.1. - Геометрия поперечного контура вариатора

Стремятся выбрать угол клина канавок шкивов, чаще всего, постоянным и равным углу клина деформированного ремня при средних значениях радиусов шкивов [2]. При этом в условиях обеспечения достаточной поперечной жесткости ремня в канавке шкива равнодействующая касательных сил трения в контакте смещается в ту или иную сторону по отношению к среднему значению, создавая, тем самым, эксцентриситет действия сил по отношению к тянущим кордшнурам и вызывая сдвиговые деформации, приводящие к расслоению ремня. При малых радиусах изгиба контакт смещается в сторону нижнего основания, причем величина эксцентриситета сил возрастает в силу специфики формы поперечного сечения ремня. В этой зоне сжатия ремень имеет резиновую прослойку с наполнителем и зубья, которые плохо сопротивляются действию сдвиговых деформаций.

Этого достаточно, чтобы весь ремень быстро вышел из строя, причем темп развития этих разрушений значительно выше, чем усталостных или износа рабочих граней. В последнее время стремятся устранить этот эффект, профилируя рабочие поверхности дисков шкивов вариатора (рис.2). Выбирая профиль конусной поверхности шкивов таким, чтобы был исключен эксцентриситет действия сил на всех радиусах изгиба, пытаются обеспечить надлежащее контактирование ремня. Получающийся выпуклый профиль рабочих поверхностей дисков благоприятен и для обеспечения постоянства длины контура занимаемого ремнем на всем диапазоне регулирования вариатора с постоянным межцентровым расстоянием [3], но он не оптимален. При контакте двух выпуклых поверхностей ремня и шкива не удастся обеспечить равномерного прижатия по всей площади, к тому же зубья на внутренней стороне ремня исключаются из работы как ребра жесткости, а лишь препятствуют изгибу поперечного сечения, так как практически на большей части они сохраняют величину начального угла клина, а на шкиве угол уменьшен и равен углу на уровне расположения несущих кордшнуров. Тем самым создаются условия для интенсивного локального износа рабочих поверхностей ремня. Предотвращению износа рабочих граней ремня призвана служить тканевая обертка, применяемая для большинства клиновых ремней общепромышленного назначения. Однако наличие тканевой обертки снижает сцепные свойства ремня со шкивами, что вынуждает назначать повышенные натяжения ремня. При отсутствии тканевой обертки сцепные свойства ремня повышаются. Если в первом случае коэффициент трения составляет 0,3 - 0,35, то

во втором - 0,5 - 0,6 [3]. Работа ремней без обертки рабочих граней имеет свои особенности. Следует учитывать следующее. В ремнях без обертки несущий кордшнур выходит на рабочие поверхности. Выполненный, как правило, из высокомодульных волокон он обладает повышенной износостойкостью и имеет пониженный коэффициент трения. В итоге рабочие поверхности ремня обладают локальными коэффициентами трения материалов, составляющих ремень: повышенными при наличии резины и пониженными при наличии кордшнуров или ткани. В обернутом же ремне по всей рабочей поверхности коэффициент трения постоянен.

В целях выравнивания давления и повышения долговечности ремня рассмотрено следующее профилирование дисков, рис.2.

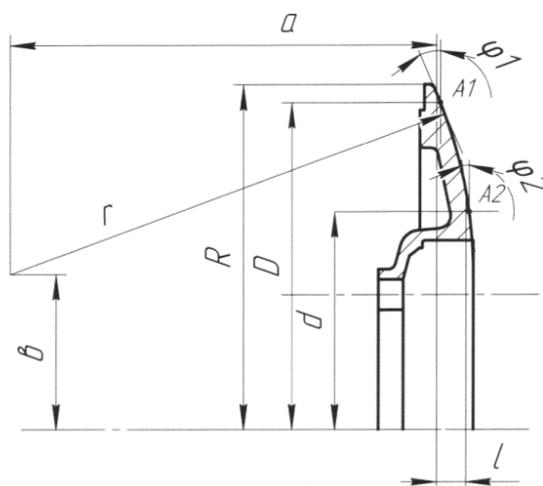


Рис. 2. Схема профилирования диска

Угол профиля ремня не остается постоянным при работе на различных диаметрах дисков. Величина изменения угла ремня при перемещении его с большего на меньший диаметр дисков зависит от конструкции и сечения ремня, величины наименьшего диаметра и разницы между наибольшим и наименьшим диаметрами дисков. Наличие неполного прилегания ремня к дискам ухудшает условия его работы и вызывает неравномерный износ боковых граней. Для улучшения условий работы и равномерного износа боковых поверхностей ремня диски должны профилироваться по кривой — дуге окружности, обеспечивающей плавное уменьшение угла от большего диаметра к меньшему соответственно закону изменения угла профиля ремня.

Профилирование дисков является целесообразным для ремней с расчетной шириной 40 мм и выше, у которых величина деформации угла клина получается значительной, вследствие чего нарушается прилегание боковых граней ремня к дискам [4].

Согласно схеме имеем:

$$r = \frac{D-d}{2(\sin\frac{\varphi_1}{2}-\sin\frac{\varphi_2}{2})}; \quad (1)$$

$$l = \frac{D-d}{2} \operatorname{tg} \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{4}; \quad (2)$$

$$a = r \cos \frac{\varphi_1}{2}; \quad (3)$$

$$b = \frac{d}{2} - r * \sin \frac{\varphi_2}{2}, \quad (4)$$

где r — радиус дуги окружности;

l — расстояние между точками A_1 и A_2 по оси диска;

a и b — координаты центра окружности;

$\frac{\varphi_1}{2}$ и $\frac{\varphi_2}{2}$ - углы, образуемые касательными в точках A_1 и A_2 , равные половине угла ремня на предельных диаметрах дисков;

D и d — предельные диаметры дисков.

Для профилирования дисков необходимо знать изменение угла ремня на двух предельных расчетных диаметрах.

Выводы. Для повышения работоспособности вариаторов зерноуборочных комбайнов нового поколения предложены решения при проектировании и изготовлении приводных ремней и шкивов;

- вариаторные ремни без оберточного материала на боковых гранях передают больший крутящий момент благодаря лучшему сцеплению между рабочими поверхностями шкива и ремня (при постоянном начальном натяжении);

- в связи с наличием формованного зуба в слое сжатия ремня существенно снижается жесткость при изгибе и, следовательно, напряжения, что повышает долговечность ремня.

- рассмотрены пути обеспечения долговечности ремня вариатора, за счет выбора профиля конусной поверхности шкивов, исключая эксцентриситет действия сил на всех радиусах изгиба и дающее возможность обеспечить надлежащее контактирование ремня.

Литература

1. Комбайны зерноуборочные самоходные КЗС-9-2. Технические условия ТУ У 29.3-34660016-214:2007.- 50 с.
2. Пронин Б.А. Ревков В.Г. Бесступенчатые клиноременные передачи (Вариаторы). М. «Машиностроение», 1980. - 320 с.
3. Рекач В. Г. Руководство к решению задач прикладной теории упругости. М.: Высшая школа, 1973. 384 с.
4. Вісник ХНТУСХ ім. Петра Василенка. Випуск 128. Проблеми надійності та засобів механізації сільськогосподарського виробництва. 2012 р. Кухтов В.Г., Лисенко С.В., «Забезпечення працездатності вариаторів зернозбиральних комбайнів», с. 143.

Summary

V. Kukhtov, S. Lysenko, Pavlyuchenko O. Increased durability and the modern design of v-belt variators combine harvesters

The article presents the principles of interaction of variable speed of the belt with the pulley when adjusting gear ratios. Considered ways of ensuring the durability of the belt variator, due to the choice of the profile of the surface of the cone pulleys, eliminating the eccentricity of the forces on all the radii and gives you the opportunity to ensure proper contacting of the belt.

Key words: V-belt CVT, combine harvester, disc profiling.

References

1. Combines grain-harvesting self-propelled KZS-9-2. Technical conditions TU U 29.3-34660016-214:2007.- 50 S.

2. Pronin B. A., Revkov G. V. V-belt continuously variable transmission (CVT). M. "Engineering", 1980. - 320 p.
3. Rekach V. G. Guide to the solution of problems of applied theory of elasticity. M.: Higher school, 1973. 384 p.
4. Bulletin of KNTUA ei. Peter Vasilenka. The issue 128. Problems natinst zasobu mechanic clinicohistological of virobnictva. 2012 Kukhtov V. G., Lysenko S. V., "Zabezpechennya procedatos varalaru zernosushilki combing" p. 143.