

**Кухтов В.Г.,  
Лысенко С.В.,  
Штельма А.С.**  
Харьковский национальный  
технический университет  
сельского хозяйства имени  
Петра Василенко,  
г. Харьков, Украина,  
E-mail: sevoli@ukr.net

## СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОГРЕШНОСТЕЙ НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ДЕТАЛЕЙ ВАРИАТОРОВ КОМБАЙНОВ

УДК 631.354.2-585.17

*В работе изложены исследования технологических погрешностей изготовления и монтажа деталей клиноременных вариаторов зерноуборочных комбайнов, определены возникающие динамические нагрузки, обусловлены этими погрешностями и оказывающие существенное влияние на надежность и долговечность клиноременных передач.*

**Ключевые слова:** долговечности, вариатор, зерноуборочный комбайн, отказ, надежность.

### Актуальность проблемы

Повышение надежности, долговечности и остаточного ресурса сельскохозяйственной техники - важная научно - техническая проблема отечественной науки.

Совершенствование конструкции, снижение уровня шума и вибрации, определения работоспособности и остаточного ресурса, улучшение наукоемкости расчетной базы и повышение производительности сельскохозяйственной техники - перспективные, актуальные направления развития отечественной зерноуборочной техники.

Одной из задач является обеспечение высокой надежности и долговечности тех наиболее распространенных типов узлов, в которых конструктивно предусмотрено сопряжение деталей. Недостаточная контактная прочность последних, определяющая в большинстве случаев прочность узла, снижает эксплуатационную надежность и долговечность машин.

При решении задач о ресурсе необходимо учитывать снижение металлоемкости, что достигается усложнением конструкторских решений, применение новых технологий и материалов с более высокими прочностными характеристиками, новых покрытий и горюче – смазочных материалов, решить вопрос о величине наработки до которой целесообразно эксплуатировать каждый конструктивный элемент [1].

В научной литературе [2], [3] изложены вопросы теории, расчета и конструирования механических вариаторов скорости с предупредительным и автоматическим регулированием скорости, даны технические характеристики и указаны области применения наиболее распространенных конструкций вариаторов. Подробно рассмотрены причины падения скорости. Дана трактовка кривых скольжения. Приведены результаты экспериментальных исследований, а также новые данные по нагрузочной способности клиноременных вариаторов с уточнением их расчета. Однако, в приведенных работах практически отсутствуют исследования технологических погрешностей и их влияние на долговечность.

### Цель исследования

Проведение расчетных исследований и установление, проявляется ли в условиях эксплуатации влияние погрешностей изготовления деталей вариатора и не перекрывается ли оно более существенно проявляющимися эксплуатационными факторами.

### Основной материал

Надежность и долговечность клиноременных передач в значительной степени обусловлена динамическими нагрузками, возникающими в процессе их эксплуатации. Одной из причин динамических воздействий в передачах являются технологические погрешности изготовления и монтажа их деталей, и прежде всего, погрешности изготовления клиновых ремней.

Анализ причин возникновения погрешностей позволил установить, что вся их совокупность может быть представлена в виде двух следующих групп: погрешностей изготовления клиновых ремней и погрешностей изготовления и монтажа остальных деталей вариатора (шкивов, ступиц, валов, подшипников и т.д.), (рис.1).

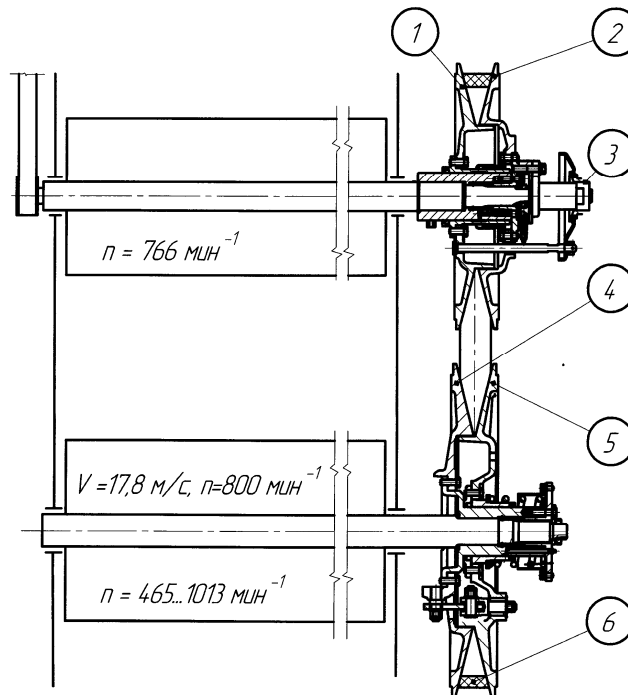


Рис.1. Схема клиноременного вариатора барабана: 1, 2 - подвижный и неподвижный диск ведущего блока; 3 - плунжерный гидроцилиндр; 4, 5 неподвижный и подвижный диски ведомого блока; 6 – ремень

Погрешности клиновых ремней включают в себя: погрешности геометрических размеров сечения (высоты, расчетной ширины, угла профиля), погрешности упругих свойств (непостоянство значений модулей упругости на растяжение и изгиб по длине ремня) и погрешности формы контура (неодинаковость кривизны отдельных участков ремня в свободном состоянии).

Совокупность погрешностей изготовления и монтажа остальных деталей сведется к двум комплексным погрешностям шкива в сборе — радиальному и торцевому биению, возникающему статическому дисбалансу.

Проявление вышеперечисленных погрешностей в передаче неодинакова. Для сравнительной оценки влияния отдельных видов погрешностей на величину этого воздействия введен общий параметр — изменение усилия натяжения за пробег ремня ( $\Delta 2F_0$ ), вызываемое каждой из погрешностей. Сравнительная оценка проводилась на основании выведенных аналитических зависимостей позволяющих дифференцированно оценивать влияние отдельных погрешностей на величину параметра  $\Delta 2F_0$ .

Проведенная сравнительная количественная оценка позволила установить, что наиболее значительно на изменение величины натяжения влияют погрешность размера расчетной ширины ( $W_p$ ) и погрешность формы контура. Влияние погрешностей упругих

свойств и радиального биения шкивов может быть существенно лишь при значительной величине погрешностей. Погрешности высоты и угла профиля сечения, а также торцевое биение шкивов практически не вызывают изменения натяжения ремня.

Суммарное изменение усилия натяжения за пробег ремня, являющееся результатом совместного проявления всех его погрешностей в передаче, может служить комплексным параметром для количественной оценки качества изготовления его в условиях производства, а следовательно, и основным нормируемым параметром, допуск на который необходимо оговаривать в ТУ и ГОСТ.

Проведенная теоретическая оценка позволила выявить главные погрешности, проявление которых наиболее существенно влияет на величину параметра  $\Delta 2F_0$ .

Для проверки выводов теоретического анализа были проведены соответствующие исследования. Эти исследования предусматривали определение величин и характеристики изменения по длине ремня основных видов его погрешностей и вызываемых ими изменений усилия натяжения за пробег ремня. Объектами исследования служили вариаторные ремни зерноуборочных комбайнов.

Исследования погрешностей размеров сечения проводились на специальном стенде путем замеров их по отдельным участкам, на которые предварительно разбивался контур ремня. Одновременно с этим проводились замеры погружения ремня в канавку шкива по отношению к наружному диаметру. На этом же стенде исследовали изменение усилия натяжения за пробег ремня путем фиксации показаний динамометра при последовательном прокручивании ремня на данном участке. Исследования проводились на обычных шкивах.

По результатам замеров строились профиллограммы, кривые положения ремня в канавке шкива, а также кривые изменения усилия натяжения за пробег ремня, характерные из которых представлены в литературе [4].

Исследования погрешностей упругих свойств проводились путём замеров приведенных модулей упругости на растяжение и изгиб для отдельных участков ремня [4].

Анализ результатов экспериментальных исследований позволил сделать следующие основные выводы:

- погрешности расчетной ширины и формы контура являются основными причинами изменения усилия натяжения за пробег, что подтверждает выводы, сделанные на основании теоретического анализа.
- кривая изменения усилия натяжения за пробег по своему характеру близка к гармонической, с частотой, равной удвоенному пробегу ремня;
- изменение упругих свойств по длине ремней в общем невелико однако различие этих свойств между отдельными ремнями значительно, что может существенно влиять на проявление других видов погрешностей.

Значение погрешностей и вызываемые ими усилия по своей сущности являются случайными величинами, поэтому для количественной оценки их необходимо оперировать статистическими понятиями. В связи с этим были проведены соответствующие статистические исследования. Объектами исследования являлись приводные и вариаторные ремни, а также шкивы передач комбайнов. Методика и основные результаты этих исследований приведены в работе [5].

Анализ результатов исследований позволил установить следующее:

- распределение величин погрешностей и вызываемых ими усилий подчиняются нормальному закону;
- среднестатистические значения усилий, вызываемые погрешностями ремней челюст-

ной вулканизации, - недопустимо велики и сопоставимы с усилием начального натяжения;

- среднестатистические значения усилий; вызываемые ремнями ротационной вулканизации и радиальными биениями шкивов, значительно меньше усилий, вызываемых ремнями челюстной вулканизации.

На рис. 2 приведена кривая распределения параметра  $\Delta 2F_0$  для одного из исследованных ремней .

Изменения усилия натяжения, вызываемые погрешностями, в работающей передаче будут приводить к возникновению дополнительных динамических напряжений в ремне и тем самым снижать его долговечность.

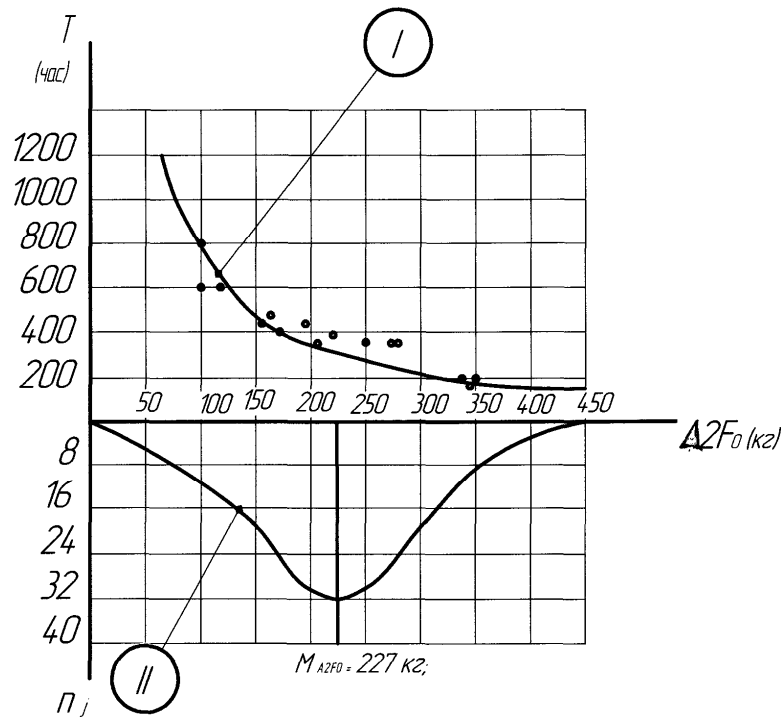


Рис.2. Зависимость долговечности вариаторного ремня от величины усилия, вызываемого его погрешностями (I) и кривая распределения параметра  $\Delta 2F_0$ , у вариаторного ремня (II)

Долговечность ремня с учетом влияния дополнительных усилий, вызываемых его погрешностями, может быть определена по выражению

$$T_{\Pi} = \frac{T}{\eta}, \quad (1)$$

где  $T$  — долговечность ремня без учета влияния его погрешностей.

$\eta$  - коэффициент, показывающий, во сколько раз дополнительные усилия от погрешностей ремня снижают его долговечность;

$$\eta = \left[ 1 + \frac{\Delta F_0 k_{др}}{S_z (\sigma_1 + 0.24 E_{р.пр} \frac{h}{D})} \right]^p \quad (2)$$

$k_{др}$ —коэффициент, учитывающий влияние динамических свойств передачи на величину дополнительных усилий в ремне;

$\sigma_1$  - напряжение в ведущей ветви ремня;

$S_z$  - суммарная площадь сечения обеих ветвей ремня;

$h$  - высота сечения ремня;

$D$  - расчетный диаметр меньшего шкива;

$E_{p,лр}$  - приведенный модуль упругости на растяжение;

$p$  – показатель степени кривой усталости.

Расчеты, проведенные на основании этой зависимости, показали что усилия, вызываемые погрешностями, значительно снижают долговечность ремней.

Полученная по результатам испытаний зависимость долговечности ремней от величины усилия, вызываемого их погрешностями, представлены рис. 2. Обработка результатов испытаний позволила полупить зависимость между эффективным числом циклов, выдерживаемых ремнем до разрушения, и максимальным условным напряжением в опасном сечении, которая имеет вид:

$$Z_{эф} = \left( \frac{190}{\sigma_{max}} \right)^{23.89} \quad (3)$$

где  $Z_{эф}$  - эффективное число циклов,

$\sigma_{max}$  - максимальное напряжение в опасном сечении.

### Выводы

1. Технологические погрешности изготовления, проявляясь в передаче, вызывают изменение усилия натяжения за пробег ремня.
2. Изменение усилия натяжения в работающей передаче приводит к возникновению дополнительных динамических нагрузок в ремнях и тем самым значительно снижает их долговечность.
3. Улучшение качества изготовления ремней с позиции их точности является важным резервом повышения их долговечности.

### Литература

1. Кухтов В.Г. Долговечность деталей шасси колесных тракторов. Харьков: РИО ХНАДУ, 2004. - 292 с.
2. Пронин Б.А., Ревков Г.А. Бесступенчатые клиноременные и фрикционные передачи. -М.: Машиностроение, 1980. - 320 с.
3. Есипенко Я.И. Механические вариаторы скорости. - Государственное издательство технической литературы УССР. - К., 1961. -218 с
4. Бесступенчато - регулируемые передачи. Межвузовский сборник научных трудов. Ярославль.1976.
5. Галаджев Р. С., Кочетов В. А., Ровеиьков Е. Д., Савенков М. В. Статистический анализ дополнительных усилий, возникающих в клиноременных передачах зерноуборочных комбайнов. «Каучук и резина», 1972, № 11. УДК 621.82,01+621.852.1.

### Summary

**V. Kuhtov, S. Lysenko, A. Shtelma.** Statistical estimation of the influence of technological errors on durability of details of combine variators

*The work outlines the research of technological errors in the manufacture and installation of parts of V-belt variators of combine harvesters, determines the dynamic loads that arise, is caused by these errors and has a significant effect on the reliability and durability of V-belt gears.*

*Keywords: Durability, variator, combine harvester, failure, reliability.*

### **References**

1. Kuhtov V. G. Durability of chassis parts wheel tractors. - Kharkov: RIO hnadu, 2004. - 292 p.
2. Pronin B. A., Revkov G. V. continuously variable belt transmission (CVT). M. "Engineering", 1980. - 320 p.
3. Yessipenko Y.I. Mechanical speed variators. - State Publishing House of Technical Literature of the Ukrainian SSR. - K., 1961. -218 s
4. Steplessly adjustable gears. Interuniversity collection of scientific papers. Yaroslavl.1976.
5. Galadzhev RS, Kochetov VA, Roveykov ED, Savenkov MV Statistical analysis of additional forces arising in the V-belt drives of combine harvesters. "Rubber and rubber", 1972, No. 11. UDC 621.82.01 + 621.852.1.