

## КРИТЕРИЙ НАДЕЖНОСТИ КАК ОСНОВНОЙ ПОКАЗАТЕЛЬ ПРИ РАЗРАБОТКЕ РАБОЧИХ ОРГАНОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ

В.В. Азаренко<sup>1</sup>, д.т.н., доцент, член-корреспондент НАН Беларуси,  
Н.Г. Бакач<sup>2</sup>, к.т.н., доцент,

<sup>1</sup>*Национальная академия наук Беларуси,  
г. Минск, Республика Беларусь*

<sup>2</sup>*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»  
г. Минск, Республика Беларусь*

### Введение

Агропромышленный комплекс Республики Беларусь является основой развития национальной экономики и обеспечения продовольственной безопасности страны. Технологическое развитие сельского хозяйства неразрывно связано с внедрением в сельскохозяйственное производство новейших машин и оборудования. При этом современная рыночная экономика предъявляет принципиально новые требования к качеству разрабатываемой техники. При этом первоочередная задача – это надежность машин.

Надежность любых технических устройств и их элементов обуславливается, главным образом, безотказностью и ремонтпригодностью составных их элементов в заданных объемах функционирования (рисунок 1).



Рисунок 1. – Составляющие надежности машин

Сложностью расчета и проектирования комбинированных сельскохозяйственных машин можно объяснить и то, что при расчете отдельных параметров машин используются главным образом методы общей теории равновесия механических систем. На основании таких статических методов в первом, весьма грубом, приближении определяют основные параметры сельскохозяйственных машин. В этом случае существенное значение приобретают испытания экспериментальных образцов машин в полевых условиях, после которых образцы совершенствуются и вновь испытываются.

Однако такой метод экспериментирования на реальных машинах имеет принципиальные недостатки: высокая стоимость изготовления экспериментальных образцов и длительность экспериментирования (от сезона к сезону).

Такая методика затрудняет создание оптимального варианта машин и ограничивает возможность использования полученных результатов при разработке и проектировании новых машин, когда отсутствуют опытные их образцы.

В связи с этим возникает необходимость в моделировании технологических процессов работы сельскохозяйственных машин. При этом возникает потребность учета внутренних структур изучаемых процессов, что, в свою очередь, требует более полного математического их описания и выполнения ряда сложных расчетов, связанных с условиями работы машин.

Поэтому внедрение системы компьютерного проектирования в сельхозмашиностроении позволяет создать новую технологию проектирования, в которой традиционный комплекс этапов рассматривается как единая задача во всей сложности ее взаимосвязей.

### **Основная часть**

В последние годы наметилась тенденция увеличения доли сельскохозяйственных машин с активным приводом рабочих органов. Однако существенным тормозом для разработчиков является отсутствие обобщенной методики технико-экономической оценки и обоснования рационального соотношения между показателями надежности, сроком службы и лимитной стоимостью разрабатываемых машин.

Известно, что передача энергии к активным рабочим органам может осуществляться через механические, гидравлические, элек-

трические и пневматические приводы, а также комбинированные (гидромеханические, электромеханические, электрогидравлические и др.). Наибольшее применение в сельскохозяйственных машинах получили механические приводы, которые в зависимости от источника получения крутящего момента могут быть условно разбиты на 4 группы:

- с приводом от ходовых колес (*сеялки, посадочные машины*);
- с приводом от ВОМ базового трактора (*машины агрегатируемые с трактором*);
- с приводом от собственного двигателя (*самоходные комбайны*);
- с приводом от электродвигателя (*стационарные и полустационарные машины*).

В тоже время механические приводы различаются по своей конструктивной сложности, типу (открытые или закрытые), что требует обоснование их рациональных параметров, от которых во многом зависит функциональная работа, безотказность и срок службы машин. При этом следует учитывать, что механические приводы сельхозмашин относятся к системам многократного действия, для эксплуатации которых характерна цикличность, сезонность и работа при значительных динамических нагрузках в абразивной и агрессивной средах.

Так, в зависимости от назначения машины ее эксплуатационный сезон составляет 150...270 часов ежегодно, а общий срок службы – 5...10 лет. Следовательно, расчетная долговечность привода или его составных частей должна соответствовать 750...2700 ч. Поэтому при проектировании механических передач следует стремиться достигнуть долговечности, равной сроку службы машины. Если для редуктора и карданных передач подобный подход экономически оправдан, то для гибких передач (клиноременных и цепных) это может привести к неоправданному увеличению массы и удорожанию конструкции.

В связи с этим технический уровень механического привода, характеризующий ряд показателей (назначение, надежность, технологичность, ремонтпригодность, унификация), отражает не только общий уровень технического совершенства изделия, но и технико-эксплуатационные и экономические показатели машины в целом.

Применительно к машинам с активными рабочими органами безотказность зависит, в основном, от надежности элементов привода.

В статистически-вероятностном аспекте структурная схема надежности машины может быть представлена последовательным соединением всех входящих в нее рабочих элементов. При этом вероятность безотказной работы машины ( $H_M$ ) оценивается произведением вероятностей безотказной работы входящих в нее элементов ( $H_i$ ), т.е.

$$H_M = H_1 \cdot H_2 \cdot \dots \cdot H_n = \prod_{i=0}^n H_i, \quad (1)$$

где  $n$  – количество элементов.

Оценку уровня надежности отдельных элементов и машины в целом производится по обобщенному показателю надежности – коэффициенту готовности  $K_z$ , который для отдельных элементов определяется выражением (2), а для машины в целом (3):

$$K_{zi} = \frac{T_{cp.m}}{T_{cp.m} + t_{zi}}, \quad (2)$$

$$K_{zm} = \frac{T_{cp.m}}{T_{cp.m} + \sum_{i=1}^n t_{zi}}, \quad (3)$$

где  $T_{cp.}$  – среднее время работы машины за рассматриваемый период;  
 $t_{zi}$  – среднее суммарное время, затрачиваемое на восстановление работоспособности отдельных элементов за рассматриваемый период.

Выразив из формулы (2) значение  $t_{zi}$  и подставив его в выражение (3), получим

$$K_{zm} = \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{K_{zi}} - 1\right)}. \quad (4)$$

Данная формула позволяет в эксплуатации оценить коэффициент готовности машины по известным коэффициентам готовности входящих в нее элементов, полученным в результате статистической обработки эксплуатационной информации о надежности. Если принять для упрощения, что  $K_{z1} = K_{z2} = \dots = K_{zn} = K_{zcp.}$ , то выражение (4) примет вид

$$K_{эм} = \frac{1}{1 + n \cdot \left( \frac{1}{K_{ср.}} - 1 \right)}. \quad (5)$$

Таким образом, зная число элементов привода машины и определив в эксплуатации за определенный промежуток времени среднее значение коэффициента готовности или задаваясь его нормативом для всех элементов можно, используя выражение (5) определить уровень надежности всего привода машины.

Вместе с тем при расчете и конструировании сельскохозяйственной техники недостаточно учитываются реальные ситуации, имеющие место при нормальном функционировании машин. В большинстве случаев при расчете и конструировании машин с активными рабочими органами за основу принимают статические модели при существенной идеализации реальных условий работы, которые практически значительно сложнее и разнообразнее.

Например, в РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» при разработке косилки для ухода за лугопастбищными угодьями было выполнено теоретическое обоснование параметров косилки и режущей части ножей, но без учета процесса колебания ножей. То есть исследования были проведены по режущим аппаратам с жестко закрепленными ножами, которые не учитывают специфических условий, работы лугопастбищных мульчирующих роторных косилок. Поэтому актуальной задачей стал теоретический анализ кинематических параметров косилки с учетом процесса колебания ножей косилки и величины перекрытия траекторий концов ножей.

Проверка теоретических положений была реализована путем проведения компьютерного эксперимента, спланированного с использованием стандартной программы ANSYS.v3, позволяющей получить анимационную интерпретацию поведения ножей на стадии разгона ротора.

Технологический процесс работы роторной косилки заключается в том, что на стадии разгона ротора, после включения ВОМ трактора и приведения во вращение несущей части, ножи под действием сил инерции отклоняются назад по ходу вращения. Приводить ножи во взаимодействие со срезаемой растительностью до дос-

тижения ими положения близкого к радиальному нельзя, поэтому важно определить длительность фазы разгона ножей (рисунок 2).

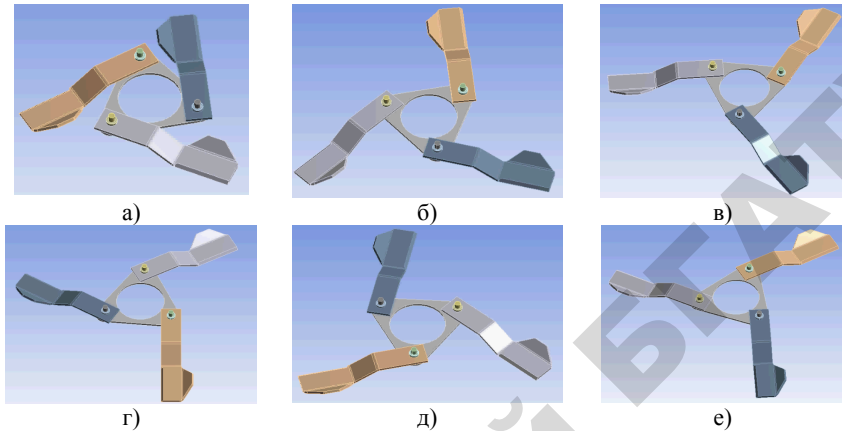


Рисунок 2. – Характерные положения ножей на роторе в процессе его разгона: а – момент начала вращения, ножи отклонены от радиального положения на угол около  $90^\circ$ ; б – ротор повернулся на угол около  $90^\circ$ , ножи перемещаются к радиальному положению; в – дальнейший поворот ротора и перемещение ножей; г – продолжающийся поворот ротора и переход ножей за радиальное положение; д – отклонение ножей в противоположное крайнее положение; е – ротор совершил примерно один полный оборот, ножи отклоняются в обратном направлении.

В фазе разгона роторов от состояния покоя до скорости  $v_p$  в начальный момент, вследствие возникающих сил инерции, ножи отклоняются от радиального положения на угол близкий к  $90^\circ$ , затем ножи под действием центробежных сил начинают совершать колебания в плоскости своего вращения. Причем, вследствие сопротивления воздуха и трения, в шарнире колебания будут затухающими. К радиальному положению нож стремится вернуться под действием момента, создаваемого центробежной силой, и прямо пропорционального величине плеча действия центробежной силы, приложенной в центре масс, относительно оси колебания ножа.

Из приведенного анализа, задавшись допустимой величиной отклонения ножа, т.е. амплитудой колебаний и рассчитав период колебаний, было определено необходимое время разгона ротора, по истечению которого может начинаться процесс скашивания.

Анализ процесса затухающих колебаний показывает, что через две секунды после включения ВОМ трактора колебания ножей практически прекращаются.

Таким образом, практической рекомендацией является то, что перед началом скашивания растительности необходимо в течение не менее двух секунд на холостом ходу выполнить разгон ротора.

Данные исследования позволяют внести соответствующие рекомендации в процесс эксплуатации косилки, тем самым повысив надежность работы машины в целом.

### **Заключение**

Сельскохозяйственные машины с активными рабочими, как уже отмечалось, являются сложными многомерными динамическими системами. Даже в линейной модели поведение машины определяется сложной системой дифференциальных уравнений. К тому же в условиях нормального функционирования на вход машины поступают воздействия в виде случайных функций и последовательностей, что обуславливает случайный характер выходных показателей машины и ее рабочего процесса. Эти факторы и определяют специфику основных практических задач:

а) прогнозирование выходных показателей работы машин по информации об условиях работы и известному оператору (задача анализа);

б) определение динамических характеристик машины по информации о входных и выходных процессах, полученной при испытании макета или экспериментального образца машины (задача синтеза);

в) определение оптимальных параметров машины (рабочего органа), обеспечивающих желаемые показатели работы (задача оптимизации);

г) оценка входных воздействий, недоступных для непосредственного измерения;

д) установление степени идентичности и степени нелинейности модели, а также ее технологической надежности.

Решение этих задач моделирования является одним из важных этапов конструирования машин и их рабочих органов.

В процессе проектирования сельхозмашин одна из основных проблем – обеспечить качество выполнения сельскохозяйствен-

ных операций, для механизации которых они предназначены. Назначение машины и требования к качеству выполнения ею технологического процесса устанавливаются агротехническими требованиями. При этом качество работы достигается методами воздействия на среду функциональных элементов рабочих органов будущих машин.

Особенность создания системы компьютерного проектирования в сельхозмашиностроении, в частности, для машин с активными рабочими органами, позволяет унифицировать процесс проектирования на всех этапах создания таких машин и при переходе на новый объект не всегда приходится заново формировать его математическую модель, устанавливать формы и виды зависимостей, характеризующие направление проектирования и очередность процедур.

Широкое внедрение системы компьютерного проектирования позволяет:

- сократить сроки разработки проектов, благодаря снижению затрат времени при обмене и получении информации;
- ускорить переработку графической и текстовой информации;
- механизировать процессы выпуска графических материалов (чертежей, схем, графиков);
- контролировать текущее состояние проекта;
- снизить стоимость разработки за счет сокращения затрат на переделки (исправления);
- уменьшить концептуальные ошибки, характерные для начальных этапов проектирования;
- сократить затраты трудовых ресурсов в связи с ликвидацией ручной обработки графической информации и промежуточных вычислений и использования большего числа математических моделей взамен натуральным исследованиям;
- повысить качество всех работ за счет многовариантной проработки проектных решений, более детального и глубокого анализа информации, возможности решать оптимизационные задачи, сопровождающиеся комплексным моделированием на компьютере элементов объекта в натуре, использования новых методов и технических средств, позволяющих расширять диапазон возможностей проектировщика в принятии принципиально новых решений.