

УДК 631.353.722:631.352.022

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЦЕНТРИФУГИРОВАНИЯ СМЕСИ МАСЕЛ,  
ПРИМЕНЯЮЩЕЙСЯ В РЕЖУЩИХ АППАРАТАХ МНОГОРОТОРНЫХ КОСИЛОК****А.Л. БОРИСОВ***(Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, Марьина Горка)*

*Исследуется центрифугирование смеси масел, применяющейся в режущих аппаратах много-  
роторных косилок. Обоснована необходимость в изучении возможности разложения под воздействием  
центробежных сил рассматриваемой смеси масел. Представлена методика проведения исследований,  
в результате которых получено уравнение, описывающее зависимость количества выделившегося со-  
лидола, в массовых долях, из смеси масел от её температуры, длительности вращения ротора цен-  
трифуги с пробами и частоты вращения ротора. Полученные результаты проанализированы, сдела-  
ны соответствующие выводы.*

**Введение.** Современное сельскохозяйственное производство требует осуществления различных мелиоративных мероприятий, таких как производство культуртехнических работ, строительство мелиоративных систем, сооружение водохозяйственных объектов. Выполнение этих видов работ связано со значительными затратами труда, времени, финансовых средств. Надлежащую отдачу от вложений можно получить только при рациональном использовании мелиорированных земель, мелиоративных и водохозяйственных систем, объектов, сооружений. В связи со снижением актуальности дальнейшей экстенсивной мелиорации возросла роль эффективной эксплуатации мелиоративных и водохозяйственных объектов, тем более что годовые эксплуатационные расходы на их содержание составляют около 10 % стоимости от вновь сооружаемых объектов. Одной из основных операций по уходу за мелиоративными и водохозяйственными объектами является операция скашивания травянистой и древесно-кустарниковой растительности.

Для окашивания мелиоративных каналов, дамб мелиоративных систем, откосов дорог в настоящее время широко применяется большое разнообразие мелиоративных и дорожных косилок. К этим косилкам предъявляется ряд жестких конструктивных и технологических требований, которые обусловлены условиями их эксплуатации. Так, на режущие аппараты мелиоративных и дорожных косилок во время их работы отрицательно сказываются следующие факторы: скашиваемая растительность имеет различные диаметры поперечного сечения, а также различный биологический состав; неровности берм и откосов каналов; различные углы наклона режущего аппарата во время работы; часто встречающиеся на окашиваемых объектах непреодолимые препятствия [1].

В настоящее время на мелиоративных и дорожных косилках наибольшее распространение получили многороторные режущие аппараты с нижним приводом роторов, который осуществляется зубчатыми цилиндрическими шестернями [2]. Данный тип привода наиболее надежный и не слишком сложный в конструкторском исполнении. Для смазывания зубчатых передач с целью снижения износа трущихся поверхностей, уменьшения затрат энергии на преодоление трения, отвода тепла от деталей и предотвращения их от коррозии применяются различные трансмиссионные масла [3]. В режущих аппаратах многороторных косилок в качестве смазки применяется смесь трансмиссионного масла ТЭп-15 и смазки общего назначения солидол жировой в равных долях [4; 5].

**Основная часть.** В режущих аппаратах с приводом роторов от зубчатой передачи с течением времени происходит преждевременное изнашивание зубьев цилиндрических шестерен. На процесс изнашивания зубьев большое влияние оказывают динамические нагрузки, возникающие при срезании растительности. Однако основной причиной преждевременного изнашивания зубьев цилиндрических шестерен являются продукты износа, которые попадают в масло режущего аппарата в результате трения деталей привода. В основном эти продукты износа состоят из металлических частиц и в процессе работы из масла не удаляются, что приводит к абразивному изнашиванию деталей привода, в том числе и цилиндрических шестерен. Для того чтобы снизить содержание механических примесей в масле, а следовательно, уменьшить износ деталей привода, нами предложено обеспечить центробежную очистку масла [6–8]. Так как в нашем случае масло представляет собой смесь двух компонентов с разной плотностью входящих в её состав элементов, то при центробежной очистке возможно не только отделение механических примесей от масла, но и разложение самой смеси на компоненты, входящие в её состав.

Процесс центрифугирования в целом достаточно хорошо изучен и изложен в работах таких авторов, как В.И. Соколов, Д.Е. Шкоропад, В.И. Гродзиевский, П.Г. Романков [9–12] и др. Этот процесс основан на разделении неоднородных систем под действием центробежных сил на компоненты за счет разности их плотностей.

Смесь трансмиссионного масла ТЭп-15 и смазки общего назначения солидол жировой, в которой находятся частицы продуктов износа, можно представить как трехкомпонентную жидкую неоднородную систему (жидкость – жидкость – твердое).

Известны [13; 14] плотности солидола жирового и трансмиссионного масла ТЭп-15. При 20 °С они соответственно равны 900 и 950 кг/м<sup>3</sup>. Как видим, разность плотностей у элементов, входящих в состав смеси, не велика, но достаточна для того, чтобы смесь под действием центробежных сил, возникающих в разработанном очистителе масла, была разложена на входящие в её состав компоненты. Это может отрицательно сказаться на работе центробежного очистителя, так как выделенные частицы солидола будут забивать выходные отверстия очистителя и это приведет к нарушению движения потока масла с продуктами износа в нем.

Возможность разложения смеси масел на входящие в нее компоненты исследовалась на центрифуге лабораторной медицинской ОС-6М [15], для чего был спланирован и проведен трехфакторный эксперимент по существующей методике [16]. В данном случае реализовывался план опыта типа 2<sup>3</sup>.

Для проведения эксперимента была приготовлена исследуемая смесь, которая состояла из равных по массе частей трансмиссионного масла ТЭп-15 и солидола жирового. Смесь приготавливалась в чистой, сухой металлической таре путем интенсивного перемешивания данных масел, подогретых до температуры 60...70 °С [3; 4]. Из приготовленной смеси отбирались пробы массой около 30 г, помещались в пробирки лабораторной медицинской центрифуги ОС-6М (рис. 1) и подвергались центробежной обработке.



Рис. 1. Центрифуга лабораторная медицинская ОС-6М:  
а – общий вид центрифуги; б – пульт управления

Пробирки перед закладкой проб взвешивались на лабораторных электронных весах марки ADVENTURER AR 5120 класса точности 1, с ценой деления 0,01 г и пределом взвешивания 510 г. Далее пробирки помещались в ротор центрифуги, после чего на пульте управления центрифугой задавалась требуемая частота вращения ротора и время его вращения. По истечении заданного времени вращения пробирки извлекались из ротора, их содержимое сливалось в стеклянную тару, а сами пробирки вместе с остатками солидола (рис. 2) снова взвешивались.



Рис. 2. Пробирки с остатками солидола

По разнице масс пробирок, взвешенных до начала и после проведения опыта, определялась масса выделившихся частиц солидола. Затем по отношению массы оставшегося в пробирке солидола к первоначальной массе смеси была определена массовая доля выделившегося солидола.

Опыты с учетом обычных температур окружающей среды при работе косилок проводились при температуре от 10 до 30 °С. Необходимо отметить, что с увеличением температуры стойкость соединения смеси увеличивалась, что исключило необходимость в исследовании возможности разложения смеси при температурах выше 30 °С. Минимальная температура окружающей среды при работе косилок обусловлена сезонностью этих работ и соответствующих им метеорологическими условиями.

За минимальную частоту вращения ротора центрифуги взята частота вращения, равная минимальной допускаемой частоте вращения ротора многороторной косилки 1800 мин<sup>-1</sup>, которая определена технологическим процессом срезания растительности [17]. Максимальная частота вращения ротора центрифуги принималась равной 3600 мин<sup>-1</sup>, её дальнейшее увеличение не рекомендовано с точки зрения обеспечения безопасности проведения процесса окашивания.

Время вращения ротора центрифуги задавалось от 10 до 20 мин с интервалом в 5 мин. Минимальное время вращения обусловлено тем, что для достижения заданной частоты вращения, ротору необходим некоторый промежуток времени. При проведении опытов с длительностью вращения ротора более 20 мин результаты не отличались от результатов опытов, полученных с вращением ротора длительностью 20 мин, что определило верхнее значение данного переменного фактора.

Важнейшей характеристикой центробежных аппаратов является фактор разделения  $F_r$ , который определяется следующим образом:

$$F_r = \frac{\omega^2 R}{g}, \quad (1)$$

где  $\omega$  – угловая скорость ротора центробежного аппарата, рад/с;  $R$  – внутренний радиус ротора (для пробирочной центрифуги – это расстояние от оси вращения центрифуги до дна пробирки), м;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с.

По результатам проведенного эксперимента были определены коэффициенты регрессии, а также произведена оценка их значимости. Затем коэффициенты переводились из нормированных значений факторов в натуральные.

В результате обработки проб масел было замечено, что при некоторых опытах в пробирках выделяется достаточно большое количество солидола, что подтверждает гипотезу о возможности разложения смеси на входящие в нее состав компоненты. Однако это происходит при частотах вращения больших, чем частота вращения ротора многороторной мелиоративной косилки.

Математическая обработка результатов исследований позволила получить следующее уравнение:

$$Y = -0,083 + 6 \cdot 10^{-5} \cdot n_{цф} + 4 \cdot 10^{-4} \cdot T - 1,5 \cdot 10^{-3} \cdot t_{o.c} - 4,44 \cdot 10^{-7} \cdot n_{цф} \cdot T + 4,44 \cdot 10^{-7} \cdot n_{цф} \cdot t_{o.c} + 6 \cdot 10^{-5} \cdot T \cdot t_{o.c} + 7,41 \cdot 10^{-9} \cdot n_{цф}^2, \quad (2)$$

где  $Y$  – массовая доля выделившегося солидола;  $n_{цф}$  – частота вращения ротора центрифуги, мин<sup>-1</sup>;  $T$  – время вращения ротора с пробой, мин;  $t_{o.c}$  – температура окружающей среды, °С.

Подставив в уравнение (2) значения переменных факторов в пределах интервала исследования, получаем значение  $Y$  – количество выделившегося солидола жировой из смеси масел в массовых долях.

Подстановка значений  $T$  и  $t_{o.c}$  нулевого уровня дает квадратное уравнение

$$Y = 7,41 \cdot 10^{-9} \cdot n_{цф}^2 + 62,22 \cdot 10^{-6} \cdot n_{цф} - 89 \cdot 10^{-3}. \quad (3)$$

Решение данного уравнения позволяет установить, что на использованной центрифуге при температуре окружающей среды +20 °С и времени центрифугирования 15 мин, то есть на нулевых уровнях переменных факторов, выделение солидола из смеси начнется при частоте вращения ротора центрифуги, равной 1250 мин<sup>-1</sup>. Для используемой центрифуги при такой частоте вращения фактор разделения равен 315.

**Заключение.** В результате проведенного исследования центрифугирования смеси масел, применяющейся в режущих аппаратах многороторных косилок, получено уравнение, которое описывает зависимость количества выделившегося солидола, в массовых долях, из смеси от температуры смеси масел, длительности вращения ротора центрифуги с пробами и частоты вращения ротора.

При создании очистителя масла в режущем аппарате многороторной косилки следует устанавливать параметры очистителя такими, при которых фактор разделения во избежание выделения солидола из смеси масел не будет превышать 315.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Мажугин, Е.И. Машины для эксплуатации мелиоративных и водохозяйственных объектов: учеб. пособие / Е.И. Мажугин. – Горки: БГСХА, 2010. – 333 с.

2. Борисов, А.Л. Анализ конструкций приводов роторов мелиоративных и дорожных косилок / А.Л. Борисов // *Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы междунар. науч.-техн. конф., Могилёв, 21–22 апр. 2011 г.: в 2 ч.* / Беларус.-Рос. ун-т; редкол.: И.С. Сазонов [и др.]. – Могилёв, 2011. – Ч. 2. – С. 5.
3. Итинская, Н.И. *Справочник по топливу, маслам и техническим жидкостям* / Н.И. Итинская, Н.А. Кузнецов. – М.: Колос, 1982. – 208 с.
4. *Косилка откосов каналов К-78М: Руководство по эксплуатации.* – Минск, 2008. – 44 с.
5. *Косилка ротационная навесная АС-1: Руководство по эксплуатации.* – Минск, 2007. – 38 с.
6. Режущий аппарат роторной косилки: пат. 6876 Респ. Беларусь, МПК А01D 34/00 / Е.И. Мажугин, А.Л. Борисов, С.Г. Рубец; заявитель Беларус. гос. с-х. академия. – № u 20100403; заявл. 23.04.10; опубл. 30.12.10 // *Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці.* – 2010. – № 6. – С. 145.
7. Режущий аппарат роторной косилки: пат. 8949 Респ. Беларусь, МПК А01D 34/00 / Е.И. Мажугин, А.Л. Борисов, С.Г. Рубец; заявитель Беларус. гос. с-х. академия. – № u 20120270; заявл. 02.11.12; опубл. 30.06.12 // *Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці.* – 2013. – № 1 – С. 145.
8. Режущий аппарат роторной косилки: пат. 8102 Респ. Беларусь, МПК А01D 34/00 / Е.И. Мажугин, А.Л. Борисов, С.Г. Рубец; заявитель Беларус. гос. с-х. академия. – № u 20110557; заявл. 11.07.11; опубл. 30.04.12 // *Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці.* – 2012. – № 2. – С. 195.
9. Соколов, В.И. *Современные промышленные центрифуги* / В.И. Соколов. – М.: Машгиз, 1961. – 452 с.
10. Шкоропад, Д.Е. *Центрифуги для химических производств* / Д.Е. Шкоропад. – М.: Машиностроение, 1975. – 248 с.
11. Гродзиевский, В.И. *Реактивные центрифуги для очистки масла в двигателях внутреннего сгорания* / В.И. Гродзиевский. – М.: Машгиз, 1963. – 88 с.
12. Романков, П.Г. *Жидкостные сепараторы* / П.Г. Романков, С.А. Плюшкин. – Л.: Машиностроение, 1976. – 256 с.
13. Смазка, солидол жировой. *Технические условия: ГОСТ 1033-79.* – Введ. 01.01.81. – М.: Изд-во стандартов, 1972. – 6 с.
14. Масла трансмиссионные. *Технические условия: ГОСТ 23652-79.* – Введ. 01.01.81. – М.: Изд-во стандартов, 1972. – 10 с.
15. *Центрифуга лабораторная медицинская ОС-6М. Паспорт ШХ2. 779. 043 ПС.* – М., 1982. – 28 с.
16. Леонов А.Н. *Основы научных исследований и моделирования: учеб.-мет. компл.* / А.Н. Леонов, М.М. Дечко, В.Б. Ловкис. – Минск: БГАТУ, 2010. – 276 с.
17. Борщов, Т.С. *Настройка и регулировка мелиоративных машин* / Т.С. Борщов, И.В. Лисовский. – Л.: Агрпромиздат. Ленингр. отд-ние, 1989. – 239 с.

*Поступила 16.04.2015*

## **THE RESULTS OF ANALYSIS OF OILS MIXTURE CENTRIFUGATION USING IN CUTTING DEVICES OF MULTIROTOR MOWING MACHINES**

**A. BORISOV**

*The necessity of studying a possibility of demixing of oils mixture using in cutting devices of multirotor mowing machines is proved in the article. The methods of analysis realization are described. The results are presented and analyzed.*