

УДК 631.3.004.67:621.928.37

## ОЧИСТКА МОЮЩИХ РАСТВОРОВ УПРАВЛЯЕМЫМ ТРЕХПРОДУКТОВЫМ ГИДРОЦИКЛОНОМ

*канд. техн. наук, доц. Е.И. МАЖУГИН; канд. техн. наук А.В. ПАШКЕВИЧ  
(Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, Горки)*

*Теоретически и экспериментально определены рациональные параметры и режимы работы управляемого трехпродуктового гидроциклона предложенной конструктивной схемы. Теоретически и экспериментально обоснована возможность управления выводом загрязнений из гидроциклона посредством регистрации электрического сопротивления жидкости в зоне накопления нефтепродуктов. Выявлены закономерности изменения сопротивления моющего раствора в зависимости от концентрации нефтепродуктов и температуры. Определена экономическая эффективность применения трехпродуктового гидроциклона для очистки моющих растворов на ремонтном предприятии.*

**Введение.** Современная технология ремонта машин предусматривает на разных стадиях очистку машин и их составных частей от загрязнений. Большинство очистных операций на ремонтных предприятиях проводят в моечных машинах с применением водных растворов синтетических моющих средств (СМС). По мере использования такие растворы насыщаются твердыми загрязнениями и нефтепродуктами, смыаемыми с поверхностей очищаемых объектов, что приводит к потере моющей способности и необходимости смены растворов.

Один из основных способов экономии моющих растворов – очистка их с целью повторного использования. Наиболее простыми и высокопроизводительными устройствами, применяющимися для активной очистки жидкостей, являются гидроциклоны.

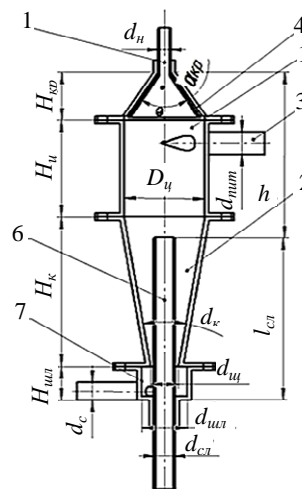
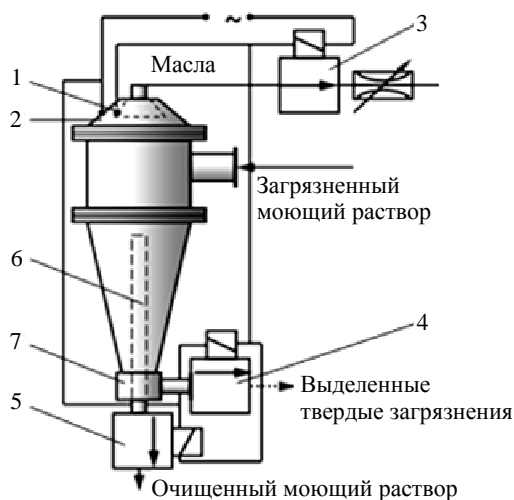
Исследования по очистке моющих растворов от твердых загрязнений выполнялись в ГОСНИТИ А.Ф. Тельновым и Б.Б. Нефедовым [1]. Последние исследования были выполнены А.Л. Казаковым в Белорусской государственной сельскохозяйственной академии с использованием регулируемого гидроциклона [2]. Однако ими рассмотрен процесс очистки моющих растворов только от твердых загрязнений, хотя по мере использования таких растворов в них накапливаются и нефтепродукты. Наличие последних приводит к снижению качества очистки деталей. Помимо этого, в моечных машинах при перемешивании моющего раствора оставшиеся в нем нефтепродукты дробятся, что приводит к увеличению их свободной поверхности и активной адсорбции компонентов СМС. Поэтому для снижения расхода моющих растворов из них необходимо удалять не только твердые загрязнения, но и нефтепродукты.

**Основная часть.** Наиболее полно требованиям, предъявляемым к технологической очистке моющих растворов, удовлетворяют цилиндрикоконические трехпродуктовые гидроциклоны, которые одновременно способны выполнять очистку жидкостей от нефтепродуктов и твердых частиц. На такую возможность указывал Н.Ф. Тельнов [3], однако очистка моющих растворов от нефтепродуктов в описанном им гидроциклоне [3] неизбежно сопряжена со значительными потерями очищаемой жидкости. Это обусловлено тем, что сливные трубки расположены близко друг к другу и при выводе компонентов раствора происходит их перемешивание. Кроме того, часть раствора непрерывно вытекает через сливной патрубок. Устранение данного недостатка возможно при использовании гидроциклонов, у которых зоны вывода максимально удалены друг от друга. Нами предложена и запатентована конструкция гидроциклона [4], лишенного этих недостатков. Схема конструкции предлагаемого трехпродуктового гидроциклона представлена на рисунке 1.

Он работает следующим образом. При подаче в гидроциклон загрязненного моющего раствора, являющегося проводником электрического тока, зазор между электрическим контактом 1 и крышкой 2 замыкается и электромагнитный клапан вывода нефтепродуктов 3 закрывается, а клапаны вывода очищенной жидкости и шлама 4 и 5 открываются. Выделяемые в процессе очистки нефтепродукты скапливаются под крышкой 2 и, являясь диэлектриком, разрывают электрическую цепь, вызывая тем самым открытие электромагнитного клапана вывода нефтепродуктов 3. При этом электромагнитные клапаны 4, 5 закрываются, что приводит к увеличению давления внутри гидроциклона. При повышении давления скопившиеся масла вытесняются через открытый электромагнитный клапан вывода нефтепродуктов 3. При полном выводе нефтепродуктов электрическая цепь снова замыкается, электромагнитный клапан вывода масел 3 закрывается, а электромагнитные клапаны 4, 5 открываются.

Система управления работой электромагнитных клапанов, установленных на трубках вывода фракций моющего раствора из гидроциклона, нами также запатентована [5].

В результате анализа предложенной модели движения потоков жидкости получены теоретические зависимости, позволяющие определять конструктивные параметры предложенного гидроциклона. Схема конструктивных параметров управляемого трехпродуктового гидроциклона представлена на рисунке 2.



Минимальный внутренний диаметр шламовой насадки  $d_{ул}$  (рис. 3) для управляемого гидроциклона определяется по следующей формуле:

$$d_{ул} \geq \sqrt{(0,0625...0,0900)D_u^2 + (d_{сл} + 2\delta_{сл})^2}, \quad (1)$$

где  $D_u$  – внутренний диаметр цилиндрической части гидроциклона, м;  $d_{сл}$  – внутренний диаметр трубки слива очищенного моющего раствора, м;  $\delta_{сл}$  – толщина стенки трубки слива очищенного моющего раствора, м.

Высота крышки гидроциклона

$$H_{кр} = (D_u / 2) / \operatorname{tg}(\alpha_{кр} / 2). \quad (2)$$

Здесь  $\alpha_{кр}$  – угол при вершине крышки гидроциклона, град.

Важнейший элемент управляемого гидроциклона – трубка слива очищенного раствора, главными параметрами которой являются ее диаметр  $d_{сл}$  и высота  $l_{сл}$  части трубки, находящейся внутри гидроциклона. Внутренний диаметр трубки слива очищенного раствора определяется по следующей зависимости:

$$d_{сл} = 1,59 \cdot \chi \cdot \sqrt{(Q - Q_{ул}) / \sqrt{g \cdot h_{ж} + p_2 / \rho_{м.р}}}, \quad (3)$$

где  $\chi$  – коэффициент, учитывающий вращение жидкости в трубке слива очищенного моющего раствора;  $Q$  – производительность гидроциклона, м<sup>3</sup>/с;  $Q_{ул}$  – расход через шламовую насадку, м<sup>3</sup>/с;  $h_{ж}$  – высота столба жидкости над верхним краем трубки слива очищенного моющего раствора, м;  $p_2$  – избыточное давление под крышкой гидроциклона, Па;  $\rho_{м.р}$  – плотность моющего раствора, кг/м<sup>3</sup>.

Для определения высоты сливной трубки, находящейся внутри гидроциклона, необходимо определить расстояние, на котором происходит разворот внешнего нисходящего потока. Взаимосвязь высоты  $l_{сл}$  и расстояния  $l$  объясняется тем, что в случае расположения верхнего края сливной трубки ниже данного расстояния вся очищаемая жидкость будет уходить из гидроциклона вместе с нефтепродуктами.

В результате анализа модели движения жидкости была получена зависимость, позволяющая определить расстояние от основания конической части, на котором происходит разворот внешнего нисходящего потока:

$$l = \left[ \frac{D_u}{2} - \frac{d_{сл}}{2} - 0,88 \frac{d_{мин}}{\psi} (1 / \sqrt{\cos(\alpha_k / 2)} + 0,9) \right] / \operatorname{tg} \frac{\alpha_k}{2}, \quad (4)$$

где  $d_{мин}$  – внутренний диаметр питающего патрубка гидроциклона, мм;  $\psi$  – коэффициент падения скорости в конической части гидроциклона по сравнению с цилиндрической;  $\alpha_k$  – угол конусности конической части гидроциклона, град.

Тогда расстояние, выше которого должна быть установлена трубка слива очищенного раствора, можно определить как

$$l_{сл} = H_k + H_{шл} - l, \quad (5)$$

где  $H_k$  – высота конической части гидроциклона, м;  $H_{шл}$  – высота шламовой насадки гидроциклона, м.

Для экспериментального определения рациональных конструктивных параметров гидроциклона, его производительности и потерь очищаемой жидкости нами была создана лабораторная установка [6].

В результате проведения исследований были получены следующие уравнения, описывающие производительность гидроциклона, расходы через трубку слива очищенного раствора и шламовую насадку, давление под крышкой в зависимости от режимных и конструктивных параметров:

$$Q_{сл} = -0,493 - 9,650p + 0,372d_{num} - 0,011l_{сл} + 2,375p \cdot d_{num} + 49,375p^2 - 0,013d_{num}^2 + 3,32 \cdot 10^{-5} \cdot l_{сл}^2; \quad (6)$$

$$Q_{шл} = -0,179 + 4,480p - 1,5 \cdot 10^{-4} \cdot d_{num} + 4,6 \cdot 10^{-4} \cdot l_{сл} + 0,288p \cdot d_{num} - 0,033p \cdot l_{сл} + 1,9 \cdot 10^{-4} \cdot d_{num} \cdot l_{сл} + 15,625p^2; \quad (7)$$

$$Q = -0,572 - 4,080p + 0,366d_{num} - 0,012l_{сл} + 2,663p \cdot d_{num} - 0,040p \cdot l_{сл} + 3 \cdot 10^{-4} \cdot d_{num} \cdot l_{сл} + 64,375p^2 - 0,014d_{num}^2 + 3,6 \cdot 10^{-5} \cdot l_{сл}^2; \quad (8)$$

$$p_2 = -13,224 - 318,120p + 0,663d_{num} + 0,098l_{сл} + 76,975p \cdot d_{num} + 0,232p \cdot l_{сл} - 738,750p^2 - 2,98 \cdot 10^{-4} \cdot l_{сл}^2. \quad (9)$$

Здесь  $Q_{сл}$  – расход моющего раствора через трубку слива очищенного моющего раствора, м<sup>3</sup>/ч;  $p$  – давление жидкости на входе в гидроциклон, МПа.

Анализ потерь очищаемой жидкости, уходящей из гидроциклона вместе с выделенными твердыми загрязнениями, выполнялся по коэффициенту потерь  $k$ , который определялся как отношение расхода через шламовую насадку к общей производительности гидроциклона.

По результатам экспериментов были построены зависимости, отображающие взаимосвязь коэффициента потерь моющего раствора (рис. 3, а) и давления под крышкой гидроциклона (рис. 3, б) от его производительности.

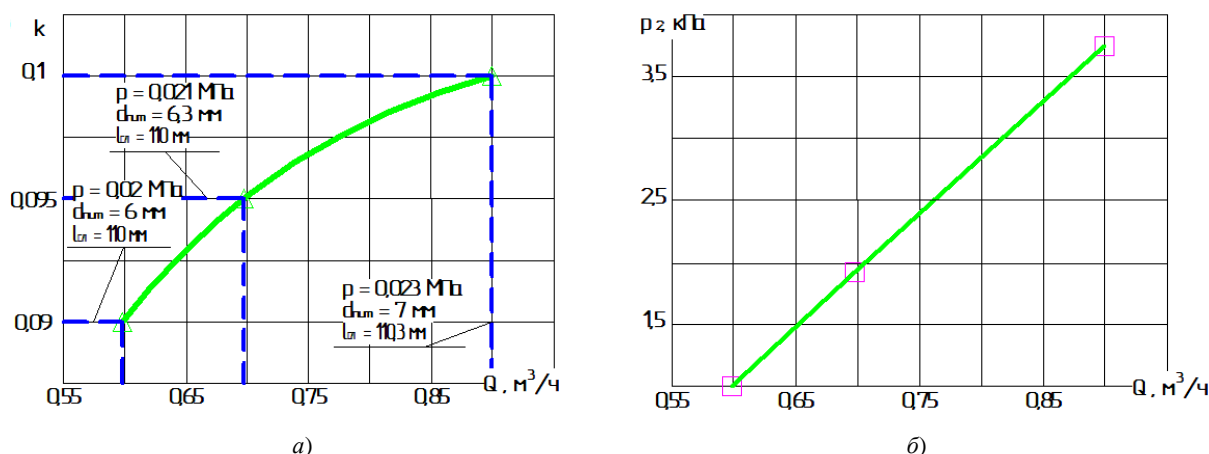


Рис. 3. Зависимости изменения коэффициента потерь моющего раствора и давления под крышкой гидроциклона от его производительности

Установлено, что для исследуемого гидроциклона минимальные значения коэффициента потерь обеспечиваются при давлении на входе в гидроциклон, равном 20 кПа, диаметре питающего патрубка – 6 мм, длине трубки слива очищенного моющего раствора, находящейся внутри гидроциклона, – 110 мм. При этих параметрах производительность гидроциклона составит 0,59 м<sup>3</sup>/ч, коэффициент потерь будет равен 0,09, а давление под крышкой гидроциклона составит 1,0 кПа.

С растворами Лабомид-203, «Техникс» М-20 и КМ-1 были проведены исследования по определению их электрического сопротивления в зависимости от концентрации СМС, площади контактов и зазора между ними [7]. Исследования показали, что рациональными являются электрические контакты размером  $10 \times 10$  мм. При этом величина зазора между ними должна быть равна 4 мм.

Кроме того, при разных температурах проводились исследования по определению электрического сопротивления моющего раствора в зависимости от концентрации масла в нем. Аналитические зависимости для определения электрического сопротивления моющего раствора от концентрации масла в нем и температуры очищаемой жидкости приведены в таблице.

Уравнения изменения электрического сопротивления моющего раствора от концентрации содержащихся в нем нефтепродуктов при различных температурах

Температура раствора, °С	Концентрация нефтепродуктов, %			
	0...65		65...80	
	Уравнение	$R^2$	Уравнение	$R^2$
20	$R = 123,8 \exp(0,039 C_n)$	0,998	$R = 1,1 \cdot 10^{-7} \exp(0,34 C_n)$	0,99
40	$R = 34,6 \exp(0,049 C_n)$	0,95	$R = -4125,5 C_n^2 + 627939,7 C_n - 2,3 \cdot 10^7$	0,99
60	$R = 18,5 \exp(0,085 C_n)$	0,97	$R = -3864,2 C_n^2 + 593023,7 C_n - 2,2 \cdot 10^7$	1,0

Исследования показали, что с увеличением концентрации масел в моющем растворе существенно повышается электрическое сопротивление последнего, особенно интенсивно оно увеличивается при доведении содержания масел в растворе до 60 %.

Для определения степени очистки моющего раствора управляемым трехпродуктовым гидроциклоном были проведены производственные испытания в ОАО «Витебский мотороремонтный завод».

Исследуемый гидроциклон подключался к изготовленной на заводе моечной машине погружного типа с качающейся платформой. Объем раствора в баке – 3 м<sup>3</sup>. Моечная машина была установлена на участке разборки двигателей. Для оценки степени очистки раствора трехпродуктовым гидроциклоном отбирались пробы из патрубка вывода очищенной жидкости и выделенных нефтепродуктов.

В результате анализа проб выявлено, что после очистки моющего раствора в трехпродуктовом гидроциклоне концентрация нефтепродуктов снизилась с 21,3 до 4,5 г/л, или на 78,9 %, а твердых загрязнений – с 1,58 до 0,81 г/л, или на 48,6 % [8].

Экономические расчеты показали, что при использовании гидроциклона на одной моечной машине при годовой ремонтной программе 1812 двигателей предприятие за год снизит расход моющих средств на 459 кг и воды на 83,5 м<sup>3</sup>. Кроме того, применение трехпродуктового гидроциклона для очистки моющих растворов повысит экологическую безопасность предприятия за счет снижения объемов сточных вод.

**Заключение.** В результате исследований теоретически и экспериментально определены рациональные параметры и режимы работы управляемого трехпродуктового гидроциклона предложенной конструкции, обоснована возможность управления выводом загрязнений из гидроциклона посредством регистрации электрического сопротивления жидкости в зоне накопления нефтепродуктов, установлены закономерности изменения сопротивления моющего раствора в зависимости от концентрации нефтепродуктов и температуры.

Исследования по очистке моющего раствора в ОАО «Витебский мотороремонтный завод» на участке разборки двигателей показали, что при использовании разработанного управляемого трехпродуктового гидроциклона концентрация нефтепродуктов в очищенном растворе снизилась на 78,9 %, а концентрация твердых загрязнений – на 48,6 %. При использовании гидроциклона на одной моечной машине при годовой ремонтной программе 1812 двигателей предприятие за год снизит расход моющих средств на 459 кг и воды на 83,5 м<sup>3</sup>.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Тельнов, А.Ф. Исследование процесса очистки щелочных моющих растворов, применяемых на сельскохозяйственных ремонтных предприятиях: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / А.Ф. Тельнов. – М.: ГОСНИТИ, 1972. – 148 л.

2. Казаков, А.Л. Интенсификация гидроциклонной очистки моющих растворов электромагнитной обработкой: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / А.Л. Казаков. – Горки: БГСХА, 2012. – 162 л.
3. Тельнов, Н.Ф. Технология очистки сельскохозяйственной техники / Н.Ф. Тельнов. – М.: Колос, 1973. – 296 с.
4. Трехпродуктовый гидроциклон: пат. 5479 Респ. Беларусь, МПК В 04С 5/00 / Е.И. Мажугин, А.В. Пашкевич, А.Л. Казаков, М.В. Левкин; заявитель Бел. гос. с.-х. акад. – № u20080838; заявл. 11.11.2008; опубл. 30.08.2009 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2009. – № 4. – С. 187.
5. Система управления трехпродуктовым гидроциклоном: пат. 8105 Респ. Беларусь, МПК В 04С 5/00 / Е.И. Мажугин, А.В. Пашкевич, Ю.Н. Бушуев; заявитель Бел. гос. с.-х. акад. – № u 20110561; заявл. 11.07.2011; опубл. 03.01.2012 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2012. – № 2. – С. 212.
6. Мажугин, Е.И. Определение рациональных режимов работы трехпродуктового гидроциклона / Е.И. Мажугин, А.В. Пашкевич // Вестн. Белорус. гос. с.-х. акад. – 2011. – № 4. – С. 139–143.
7. Мажугин, Е.И. Экспериментальное определение параметров электрического датчика для автоматизации управления выведением масел из трехпродуктового гидроциклона / Е.И. Мажугин, А.В. Пашкевич // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межведомств. тематич. сб. – 2009. – Вып. 43, Т. 2. – С. 133–139.
8. Мажугин, Е.И. Результаты очистки моющего раствора трехпродуктовым гидроциклоном в производственных условиях / Е.И. Мажугин, А.В. Пашкевич // Вестн. Белорус. гос. с.-х. акад. – 2012. – № 3. – С. 139–143.

Поступила 31.12.2014

#### CLEANING SOLUTION TREATMENT MANAGED THREE-PRODUCT HYDROCYCLONE

*E. MAZHUGIN, A. PASHKEVICH*

*Reasonable parameters and performance modes of controlled three-product hydrocyclone of the proposed construction arrangement have been determined theoretically and by experiment. Capability of the controlled ejecting of impurities from hydrocyclone by means of recording liquid electric resistance in the zone of petroleum product accumulation have also been validated theoretically and by experiment. Regularities of cleaning solution resistance variations depending on petroleum product concentration and temperature. Financial viability of using three-product hydrocyclone for cleaning solution treatment at the repair base have been estimated.*