

**А.Н. Басаревский, К.А. Кравченин**  
**(РУП «НПЦ НАН Беларуси**  
**по механизации сельского хозяйства»,**  
**г. Минск, Республика Беларусь)**

**ТУРБУЛЕНТНОЕ**  
**ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЕ**  
**ОБТЕКАНИЕ РАБОЧИХ ОРГАНОВ**  
**КАНАЛООЧИСТИТЕЛЯ**

### **Введение**

По данным инвентаризации мелиорированных систем за 2015 год, общая протяженность мелиоративных каналов на территории Республики Беларусь составляет около 170 тыс. км, из которых 13,4 тыс. км заросли древесно-кустарниковой растительностью, 16,9 тыс. км каналов заилено [1].

Каналоочистители с ротационным рабочим органом широко эксплуатируются в странах Европы с развитой мелиоративной инфраструктурой и крепкой экономикой, где мероприятия по очистке мелиоративных каналов проводятся 2 раза в год, осенью и весной, в период вегетации сорной растительности. Качественная очистка всех мелиоративных каналов даже один раз в год требует огромного вложения денежных средств и трудовых ресурсов.

Одним из ключевых направлений принятой Государственной программы развития аграрного бизнеса в Республике Беларусь на 2016–2020 годы, подпрограмма 8 «Сохранение и использование мелиорированных земель», является повышение энергоэффективности каналоочистительной техники.

Как известно, на энергоемкость процесса очистки мелиоративных каналов значительное влияние оказывает степень их заполненности жидкостью. Обтекание тел, движущихся в жидкости или газе, принято разделять на 2 вида: ламинарное и турбулентное [2].

Ламинарное обтекание – упорядоченное течение жидкости или газа, при котором жидкость или газ перемещается как бы слоями, параллельными направлению течения. При этом сила сопротивления со стороны жидкости на тело пропорциональна скорости его движения. Завихрения жидкости за телом при ламинарном обтекании не происходит [2]. Ламинарное обтекание наблюдается у очень вязких жидкостей или при течениях, происходящих с достаточно малыми скоростями, а также при медленном обтекании очень вязкой жидкостью тел малых размеров. Оно возможно только до некоторого критического значения числа Рейнольдса, после которого переходит в турбулентное [3]. Критическое значение числа Рейнольдса зависит от плотности среды (жидкости или газа), характерной скорости течения, гидравлического диаметра, динамической и кинематической вязкости среды и объемной скорости потока.

Турбулентное гидродинамическое обтекание возникает при движении жидкости или газа вблизи твердых поверхностей или при взаимодействии возникающих потоков друг с другом, а также когда тело проходит сквозь жидкость с большой скоростью [3]. За телом, движущимся с турбулентным обтеканием, возникает вихревая дорожка. При этом за движущимся телом увлекается жидкость, приобретающая скорость проходящего через нее тела.

Элементы конструкции ротационного рабочего органа каналоочистителя вращаются на роторе со средней частотой  $700\text{--}900 \text{ мин}^{-1}$ , при этом их движение происходит вблизи неравномерного дна мелиоративного канала, заросшего стеблями сорной растительности. Это создает пересекающиеся потоки движения жидкости. Можно утверждать, что обтекание элементов конструкции ротационного рабочего органа при очистке мелиоративных каналов подчиняется турбулентному принципу.

### **Основная часть**

Рассмотрим силу сопротивления жидкости перемещению элементов конструкции ротационного рабочего органа (ножей и отбрасывающих лопаток) при турбулентном гидродинамическом обтекании.

Импульс жидкости, увлекаемой движущимся телом, будет равен:

$$p = m\vartheta, \quad (1)$$

где  $m$  – масса жидкости, увлекаемая движущимся телом, кг;  
 $\vartheta$  – линейная скорость движения тела в жидкости, м/с.

За время  $\Delta t$  в жидкости движется тело, площадь поперечного сечения которого равна  $S$ , а скорость  $\vartheta$ . Масса жидкости, увлекаемой телом, будет вычисляться по формуле:

$$m = \rho \cdot V = \rho S\vartheta\Delta t, \quad (2)$$

где  $\rho$  – плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>;  
 $V$  – объем жидкости, увлекаемой за телом, м<sup>3</sup>;  
 $S$  – площадь поперечного профиля тела, движущегося в жидкости, м<sup>2</sup>;  
 $\Delta t$  – длительность движения тела в жидкости, с.  
 Подставим (2) в (1) и упростим:

$$p = \rho S\vartheta^2\Delta t.$$

Но до того, как тело прошло сквозь жидкость, импульс был нулевой. Значит это не просто импульс, а изменение импульса вследствие взаимодействия с телом. Запишем изменение импульса жидкости как  $\Delta p$ .

$$\Delta p = F_{\text{сопр.жидк.}} \cdot \Delta t;$$

$$F_{\text{сопр.жидк.}} = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{\rho S\vartheta^2\Delta t}{\Delta t} = \rho S\vartheta^2,$$

где  $F_{\text{сопр.жидк.}}$  – сила, которая действует со стороны жидкости на тело; соответственно, по второму закону Ньютона с такой же силой и тело действует на жидкость.

В общем случае при линейном перемещении тела  $F_{\text{сопр.жидк.}}$  можно выразить уравнением:

$$F_{\text{сопр.жидк.}} = C_x \rho S\vartheta^2, \quad (3)$$

где  $C_x$  – коэффициент гидравлического сопротивления, который зависит от формы тела (таблица 1) [3].

Обозначим силу сопротивления жидкости перемещению ножей как  $F'_{\text{сопр.жидк.}}$ , а силу сопротивления жидкости перемещению отбрасывающих лопаток ротационного рабочего органа как  $F''_{\text{сопр.жидк.}}$ .





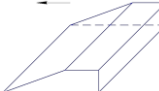
Для вращательного движения уравнение (3) примет вид:

$$F'_{\text{сопр.жидк.}} = C_x \rho S \omega^2 R'^2,$$

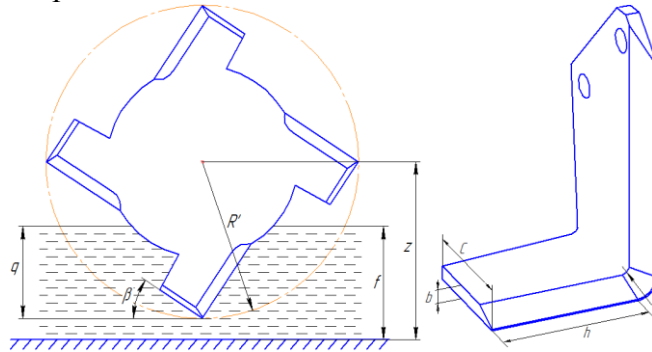
где  $\omega$  – угловая скорость вращения ротора, рад<sup>-1</sup>;

$R'$  – радиус ротационного рабочего органа по периферии режущей кромки ножей, м.

**Таблица 1. – Значения коэффициента  $C_x$  гидравлического сопротивления для тел различной формы**

	полусфера, обращенная необтекаемой поверхностью к направлению движения	$C_x = 1,2$
	полусфера, обращенная обтекаемой поверхностью к направлению движения	$C_x = 0,3$
	тело цилиндрической формы	$C_x = 1$
	клиновидное тело, обращенное заострением в направлении движения	$C_x = 0,4$
	нож – обтекаемое тело, обращенное заострением в направлении движения	$C_x = 0,02$

Площадь поперечного сечения ножа в жидкости возьмем в положении ротора, представленном на рисунке 1. Максимальная площадь контакта ножа с жидкостью будет достигаться в момент прохождения режущей кромкой нижней точки траектории ее вращения вокруг оси ротора.



**Рисунок 1. – Схема к определению параметров площади поперечного сечения ножей ротационного рабочего органа в жидкости**

Площадь поперечного сечения ножа в таком положении ротора будет описываться формулой:

$$S = hb + b \frac{q}{\sin(90^\circ - \beta)} + \frac{\pi((r+b)^2 - r^2)}{4} - (r + b)b, \quad (4)$$

где  $h$  – длина боковой щеки ножа, м;

$b$  – толщина полотна ножа, м;

$q$  – расстояние от периферии вращения режущей кромки ножей ротационного рабочего органа до уровня жидкости в канале, м;

$r$  – внутренний радиус изгиба лезвия ножа, м.

Расстояние  $q$  вычислим по формуле:

$$q = R' - (z - f),$$

где  $z$  – расстояние от оси вращения ротора до дна, м;

$f$  – уровень жидкости в канале, м.

Подставим выражение для нахождения расстояния  $q$  в формулу (4) и преобразуем ее:

$$S = hb + b \frac{R' - (z - f)}{\sin(90^\circ - \beta)} + \frac{\pi b(2r + b)}{4} - (r + b)b. \quad (5)$$

Ножи ротационного рабочего органа представляют собой изогнутую пластину (листовое тело) с заостренной режущей кромкой. Минимальный радиус, на который можно изогнуть листовое тело, равен толщине листа, то есть

$$r_{\text{мин}} = b.$$

Подставим вместо  $r$  значение толщины полотна лезвия  $b$  в формулу (5), преобразуем ее:

$$S = hb + b \frac{R' - (z - f)}{\sin(90^\circ - \beta)} + \frac{3\pi b^2}{4} - 2b^2;$$

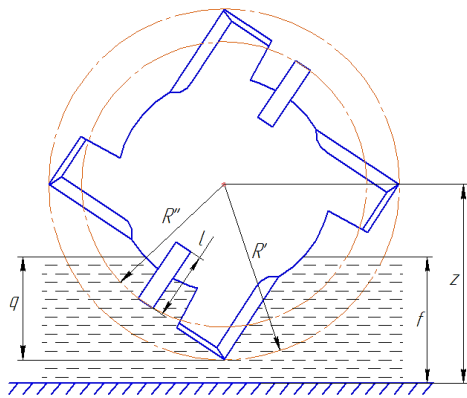
$$S = b \left( h + \frac{R' - (z - f)}{\sin(90^\circ - \beta)} + \frac{3\pi b}{4} - 2b \right).$$

Тогда формула для нахождения силы сопротивления жидкости перемещению ножей ротационного рабочего органа  $F'_{\text{сопр.жидк.}}$  примет вид:

$$F'_{\text{сопр.жидк.}} = 0,02\rho\omega^2 R'^2 b \left( h + \frac{R' - (z - f)}{\sin(90^\circ - \beta)} + \frac{3\pi b}{4} - 2b \right).$$

Найдем силу сопротивления жидкости перемещению отбрасывающих лопаток ротационного рабочего органа  $F''_{\text{сопр.жидк.}}$  в положении, когда сила сопротивления будет максимальной, то есть когда лопатка максимально опущена и составляет прямой угол с поверхностью жидкости в канале.

Для определения площади поперечного сечения части отбрасывающей лопатки в жидкости  $S'$  обратимся к рисунку 2. Примем ширину отбрасывающей лопатки равной длине боковой щеки ножей ротационного рабочего органа  $h$ .



**Рисунок 2. – Схема к определению площади поперечного сечения отбрасывающих лопаток ротационного рабочего органа в жидкости**

$$F''_{\text{сопр.жидк.}} = C_x \rho S' \omega^2 R''^2. \quad (6)$$

$$S' = h(R'' - (z - f)), \quad (7)$$

где  $R''$  – радиус ротационного рабочего органа по крайней точке отбрасывающей лопатки, м.

Для нахождения силы сопротивления жидкости перемещению отбрасывающих лопаток подставим уравнение (7) в (6). Коэффициент гидравлического сопротивления  $C_x$  для отбрасывающей лопатки примем равным 1,3:

$$F''_{\text{сопр.жидк.}} = 1,3 \rho \omega^2 R''^2 h(R'' - (z - f)). \quad (8)$$

Из формулы (8) видно, что сила сопротивления жидкости перемещению тел, а следовательно, и энергозатраты при работе каналочистителя в большей степени зависят от радиуса ротационного рабочего органа по периферии режущей кромки и режимов работы каналочистителя.

### Заключение

1. Элементы конструкции ротационного рабочего органа каналочистителя вращаются на роторе со средней частотой  $700\text{--}900 \text{ мин}^{-1}$ . При этом их движение происходит вблизи неравномерного дна мелиоративного канала, заросшего стеблями сорной растительности, что создает пересекающиеся потоки движения жидкости. Таким образом, обтекание элементов конструкции ротационного рабочего органа при очистке мелиоративных каналов подчиняется турбулентному принципу.

2. Отмечено, что величина угловой скорости вращения элементов конструкции ротационного рабочего органа при вращении ротора, а также плотность жидкости имеют пропорциональное влияние на энергозатраты при работе каналочистителя. Также существуют параметры, не имеющие такой зависимости, незначительное изменение которых может привести к существенному снижению энергозатрат. Например, изменение расстояния от оси вращения ротора до дна, уровня жидкости в мелиоративном канале и элементов конструкции ротационного рабочего органа каналочистителя.

3. С целью снижения энергозатрат и адаптации конструкции ротационного рабочего органа каналочистителя к работе в каналах, частично заполненных жидкостью, необходимо свести к минимуму площадь контакта отбрасывающих лопаток с жидкостью, что можно реализовать путем создания подпружиненной отбрасывающей лопатки с решетчатой рабочей поверхностью. При очистке мелиоративных каналов во время вращения ротора отбрасывающие лопатки проходят через две рабочие среды: жидкую и газообразную (воздух). Учитывая разность плотности рабочих сред, подпружиненная конструкция отбрасывающей лопатки будет испытывать напряжение, что создаст на рабочей поверхности импульс, способствующий отбрасыванию налипшей на ней сорной растительности и ила. Кроме того, решетчатая рабочая поверхность позволит снизить сопротивление жидкости перемещению отбрасывающих лопаток.

### Литература

15.06.2016

1. Государственная программа развития аграрного бизнеса в Республике Беларусь на 2016–2020 годы (Внесение изменений в постановление Совета Министров Республики Беларусь от 16 июня 2014 г. № 585): офиц. изд. – Минск, 2016.

2. Видеоархивы Ришельевского физико-математического лицея и Одесского национального университета имени И.И. Мечникова [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://rl.odessa.ua/index.php/ru/arkhiv>. – Дата доступа: 3.06.2016.
3. Ловкис, З.В. Гидравлика: учебное пособие / З.В. Ловкис. – Минск: Беларуская навука, 2012. – 438 с.
4. Идельчик, И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / И.Е. Идельчик; под ред. М.О. Штейнберга. – 3-е изд., перераб. и доп.— М.: Машиностроение, 1992. – С. 10.

УДК 631.3:633/635

**В.Г. Самосюк**  
(*Минский областной исполнительный комитет,*  
*г. Минск, Республика Беларусь*)

**А.В. Ленский**  
(*РУП «НПЦ НАН Беларуси*  
*по механизации сельского хозяйства»,*  
*г. Минск, Республика Беларусь*)

**Е.И. Михайловский**  
(*УО «БГАТУ»,*  
*г. Минск, Республика Беларусь*)

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ  
СТРАТЕГИИ  
ФОРМИРОВАНИЯ  
ЭФФЕКТИВНОЙ  
СИСТЕМЫ МАШИН  
ДЛЯ РАСТЕНИЕВОДСТВА**

### **Введение**

Инновационное развитие механизации является одним из важнейших элементов общей стратегии развития сельского хозяйства и представляет собой направления технической модернизации агропромышленного комплекса, разработку и реализацию проектов и программ его оснащения эффективными машинами и оборудованием. При этом, поскольку сельскохозяйственное производство является динамично изменяющейся системой, существует необходимость регулярной корректировки стратегии механизации, ее доработки и совершенствования с учетом агрономических, технических, социальных и институциональных аспектов.

### **Основная часть**

В развитии механизации, на наш взгляд, могут быть выделены два подхода: сегментированный и комплексный.

*Сегментированный подход* предполагает техническое совершенствование машин и оборудования для АПК в целях разработки новых либо модернизации имеющихся орудий труда и на этой основе обеспечение экономии ресурсов для выполнения конкретных технологических процессов. Как правило, его элементами являются технические и технологические решения, реализуемые на уровне конструкторских организаций, отраслевых научных институтов, изготовителей машин, сервисных служб и непосредственно сельскохозяйственных предприятий.

В этом случае наиболее целесообразным является следующий алгоритм научных исследований и разработок в области сельскохозяйственного машиностроения:

1. Проведение совместно с потенциальными потребителями работ по выявлению трудностей, которые могут быть преодолены при помощи новых технологий, и установление приоритетов для научно-исследовательских тем, по которым прогнозируется коммерческий спрос.

2. Составление предварительной сметы производства разрабатываемой машины или оборудования и анализ потенциальных выгод для конечного пользователя (любая проблема может быть решена технически, но при этом, если заявленная стоимость окажется избыточной для сельскохозяйственного потребителя, необходимо рассматривать альтернативные варианты).

3. Привлечение конечных пользователей и производителей на всех стадиях исследования, разработки и изготовления образцов промышленной продукции.