

нии. Струйные насосы, разработанные в БПИ, могут найти применение в рыбоводствах БССР и других республиках.

ЛИТЕРАТУРА

1. Цыпляев А.С. Исследования рыбозащитного сооружения в водозаборе Краснодарского рыбоводного завода // Рыбное хозяйство. — 1979. — № 6. — С. 23–24.
2. Малеванчик Б.С., Никоноров И.В. Рыбопропускные и рыбозащитные сооружения. — М., 1984. — С. 256.
3. Порядин А.Ф. Устройство и эксплуатация водозаборов. — М., 1984. — С. 184.
4. Зарубежный опыт биологического и инженерного обоснования конструкций рыбозащитных устройств водозаборных сооружений / Обзорная информация ЦБНТИ. — 1982. — Вып. 7. — С. 56.
5. Кадников В.Б., Цыбушкин М.Б., Братковский В.А. Погружная рыбонасосная установка РУП-1 // Рыбное хозяйство. — 1971. — № 4. — С. 48–51.
6. Ковалев В.М., Волошко А.А. Эрлифты в рыбном хозяйстве. — М., 1978. — С. 64.
7. Рыбонасосная установка "Foamflo" / Экспресс-информация ЦНИИТЭИРХ. Рыбное хозяйство. Сер. Промышленное рыболовство. — 1984. — Вып. 9. С. 15.
8. Гриб В.К., Морев А.Н. Комплексная механизация прудового рыбоводства. — М., 1973. — С. 309.
9. Авдонькин А.Ф., Зейдаль К.Ф., Свистунов В.К. Расчет струйного рыбонасоса с кольцевым соплом // Водное хозяйство и гидротехн. стро-во. — 1985. — Вып. 16. — С. 41–45.
10. Фонарев А.Л. Оптимальные режимы работы лопастных рыбонасосов, особенности движения рыбы в канальных насосах // Тр. КТИРПИХ. — 1982. — Вып. 100. — С. 3–26.
11. Пинчук М.А. Исследования повреждаемости объектов лова центробежными рыбонасосами при последовательной работе на сеть // Тр. КТИРПИХ. — 1982. — Вып. 100. — С. 30–36.
12. Докучкин М.М., Муравенко Т.А. Струйный аксиальный насос // Рыбное хозяйство. — 1985. — № 9. — С. 65–66.
13. А.с. 4274129/31-13 СССР. Рыбонасос / А.Ф. Авдонькин, К.Ф. Зейдаль.
14. А.с. 4286136/25-29 СССР. Струйный насос / А.Ф. Авдонькин, Е.М. Иштутинов, К.Ф. Зейдаль.
15. А.с. 4286139/25-29 СССР. Рыбонасосная установка / А.Ф. Авдонькин, К.Ф. Зейдаль.

УДК 628.88

И.П. ВОПНЯРСКИЙ, А.Н. СИДОРОВ,
А.В. МОЛОЧКО

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО РЫБОЗАЩИТНОГО УСТРОЙСТВА

Задача очистки сетчатого полотна в процессе работы рыбозащитного устройства (РЗУ) конструктивно простыми, недорогими и эффективными средствами еще не решена.

Предлагаемое нами устройство (рис. 1) является по своей сути оптимальным вариантом гидравлической флейты, но фронт струи вдоль образующей непрерывный, не требует питательного насоса. Кроме того, нет сложного подвода жидкости к вращающимся частям устройства [1].

Очистным элементом цилиндрического рыбозащитного устройства (ЦРЗУ) является наклонная вращающаяся пластина 1, расположенная на минимальном расстоянии от сетчатого полотна 2 и укрепленная на валу 5. Фактически это укороченная лопатка динамического насоса. Наклонные пластины приводятся во вращение автономно внешним двигателем или турбинкой 4 с направляющим аппаратом 3, установленной на валу пластин и вращаемой потоком от-

фильтрованной жидкости. Последний привод экономичнее и компактнее, особенно в тех процессах, где расход фильтруемой жидкости изменяется, а поэтому будет изменяться и частота вращения лопаток (пластин) без ухудшения эффективности очистки сетки. Для уменьшения сопротивления движению лопатки к ней прикреплен закрылок б, ширина которого равна ширине лопатки.

Наклонные пластины, вращаясь, сообщают жидкости импульс количества движения, направленный навстречу основному потоку. В результате вокруг сетчатого полотна образуется вращающаяся волновая завеса, отпугивающая

рыбу и препятствующая прижатию молоди рыбы, мусора и других тел к сетчатому полотну [1].

В результате анализа взаимодействия твердой поверхности с потоком жидкости установлено, что причиной движения тел по сетке в направлении, противоположном вращению вала очистного устройства, является кумулятивная струя, направленная вдоль лопатки к сетчатому полотну. Для рассмотрения этого явления применим принцип относительности движения, т.е. остановим лопатку, предполагая вращающийся с ее скоростью поток. На рис. 2 совмещены два треугольника скоростей. Вектор a есть сумма окружной скорости u и радиальной скорости потока на сетке:

$$v_R = Q/S,$$

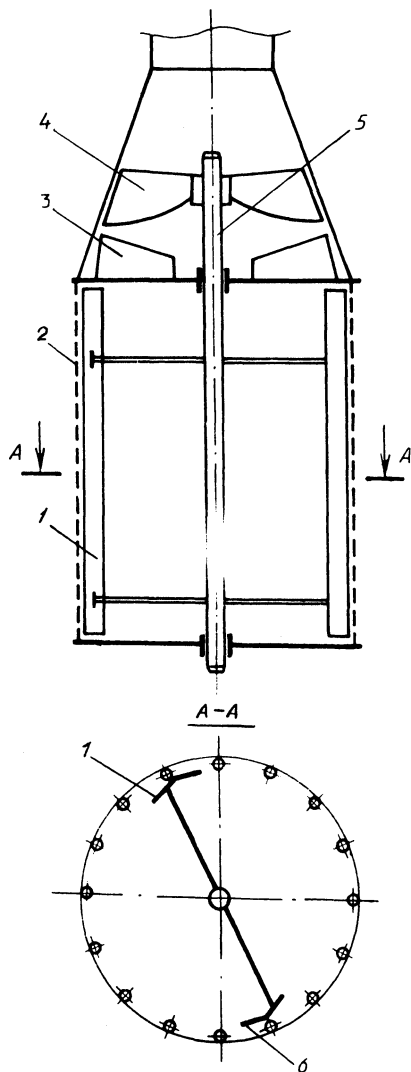


Рис. 1. Схема цилиндрического рыбозащитного устройства.

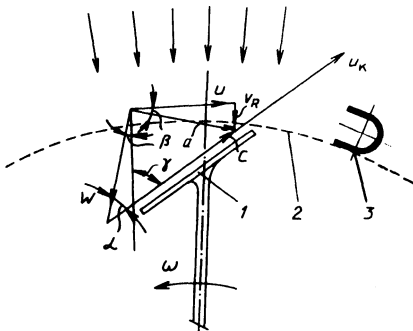


Рис. 2. Треугольники скоростей на лопатке очистного устройства.

где Q – расход фильтрующего потока, $\text{м}^3/\text{с}$; S – площадь сетчатого полотна, м^2 .

При $v_R = 0$ в обратном движении жидкость натекала бы на лопатку под углом γ (угол установки лопатки). Фильтрующийся же поток уменьшает $< \gamma$ на величину угла β , т.е. $\alpha = \gamma - \beta$. Из верхнего треугольника скоростей имеем $< \beta = \arctg \left(\frac{v_R}{u} \right)$. Выражая радиальную скорость через расход (1), а окружную ω через частоту вращения n , получим

$$\beta = \arctg \left(1,52 \frac{Q}{nR^2L} \right), \quad (2)$$

где R – максимальный радиус лопатки, м ; L – высота сетчатой поверхности фильтра (длина лопатки), м .

Из нижнего треугольника скоростей получено [1] выражение для определения скорости кумулятивной струи u_K , образующейся в результате взаимодействия потока, движущегося со скоростью a под углом α к лопатке:

$$u_K = \omega R \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}, \quad (3)$$

где углом $\alpha = \gamma - \beta$ учитывается радиальная скорость v_R фильтрующего потока.

Таким образом, скорость и кинетическая энергия кумулятивной струи увеличиваются с уменьшением угла α и возрастанием скорости v_R . При этом уменьшается касательная составляющая на сетке, а следовательно, и увеличивается время движения тел по ней до сборного лотка Z (см. рис. 2) для отвода взвесей от фильтра.

Расход кумулятивной струи Q_K определим следующим образом. Объем кольца, описываемого радиальной проекцией лопатки за один оборот, составит

$$W = SL,$$

где S – площадь кольца ($S = \pi B (D \sin \varphi - B)$), м^2 ; B – ширина лопатки, м ; D – диаметр цилиндрического сетчатого полотна, м ; φ – угол между лопаткой и касательной к сетчатому полотну у выходной кромки лопатки:

$$< \varphi = (90 - \gamma) + \arcsin \left(\frac{2B}{D} \sin \gamma \right).$$

Тогда

$$W = \pi BL (D \sin \varphi - B). \quad (4)$$

Теоретический расход при угловой скорости ω

$$Q = W\omega = \frac{\pi^2}{30} BLn (D \sin \varphi - B). \quad (5)$$

Сила взаимодействия кумулятивной струи с лопаткой равна изменению количества движения

$$P = \rho Q_K u_K (1 - \cos \varphi),$$

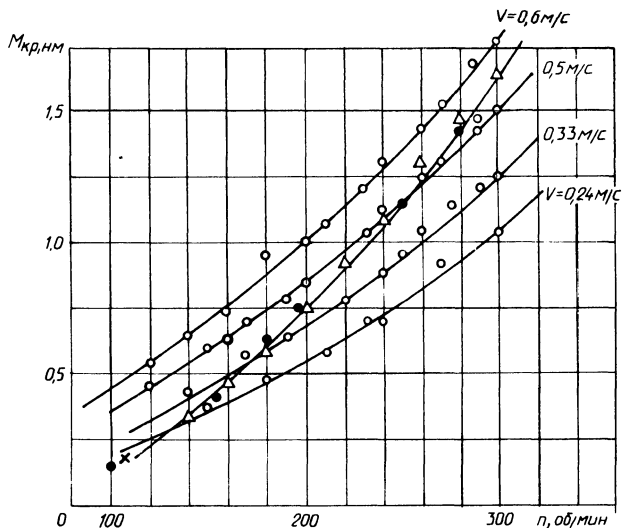


Рис. 3. Зависимость $M_{кр}$ от частоты вращения лопаток и скорости фильтрующегося потока ($\gamma = 35^\circ$, $B = 30$ мм):

○ – с закрылками; Δ – без закрылков; ● – по уравнению (7),

С учетом (3) и (5) вводим коэффициент потерь μ . Отсюда

$$P = 1,67 \cdot 10^{-2} \mu \rho n^2 DBL (D \sin \varphi - B) (1 - \cos \varphi) \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} . \quad (6)$$

Крутящий момент $M_{кр}$ на валу очистного устройства получим, умножив

P на радиус центра тяжести лопатки $R_0 = R - \frac{B}{2} \cos \gamma$ и на число лопаток z , т.е.

$$M_{кр} = \left[1,67 \cdot 10^{-2} \rho \mu n^2 DBL (D \sin \varphi - B) (1 - \cos \varphi) \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} \right] \times \\ \times \left(R - \frac{B}{2} \cos \gamma \right) z , \quad (7)$$

Экспериментальная установка ЦРЗУ состояла из цилиндрической сетки диаметром 0,19 и высотой 0,25 м, очистного устройства в виде двух вращающихся наклонных пластин, закрепленных на валу. Изменением частоты вращения двигателя постоянного тока достигалась переменная частота вращения очистного устройства. Конструкция установки предусматривала возможность изменения угла наклона и ширины лопаток, зазора между лопатками и сеткой, а также крутящего момента.

Значение крутящего момента определялось при помощи балансирно подвешенного двигателя постоянного тока, а частота вращения – тахогенератором со световой индикацией. Характеристики ЦРЗУ измерялись в нескольких

сериях опытов при различных геометрических параметрах наклонных пластин. Определение крутящего момента $M_{кр}$ проводилось в пяти сериях опытов с различными углами установки лопаток ($\gamma = 15, 30, 35, 45, 60^\circ$). В каждой серии по пять опытов с различными скоростями фильтруемого через сетку потока ($v = 0,25 \dots 0,60$ м/с) в диапазоне частоты вращения $n = 50 \dots 300$ об/мин. Для сравнения проведен опыт по изменению крутящего момента без закрылка при угле лопатки 35° и скорости $0,4$ м/с. Величина и направление импульса кумулятивной струи регистрировались плоским датчиком, закрепленным на тензометрической балочке, поворачивающейся в вертикальной плоскости. Для уточнения направления кумулятивной струи применялся фотоэлемент ФД-3, регистрировавший опережение или запаздывание прохода кромки лопатки по сравнению с сигналом на основном датчике кумулятивной струи.

Определение импульса составляющих кумулятивной (нормальной A_n и тангенциальной A_t) струи проводилось в зависимости от частоты вращения очистного устройства ($100 \dots 300$ об/мин) и скорости фильтруемого потока ($0,2 \dots 0,6$ м/с). Кроме того, в опытах фиксировалось затухание импульса в зависимости от расстояния от сетчатого полотна ($0 \dots 100$ мм). Опытные данные определения импульса кумулятивной струи записывались на ленте самописца.

Из рис. 3 видно, что в диапазоне рабочих частот вращения $200 \dots 300$ об/мин, при которых в опытах наблюдалась приемлемая скорость перемещения отфильтрованных тел по сетке, крутящий момент изменялся почти по линейному закону.

На рис. 3 приведены также значения $M_{кр}$, подсчитанные исходя из теории кумулятивной струи по (7) с коэффициентом потерь $\mu = 0,45$. Значение μ получено при сравнении теоретических и опытных данных. Результаты опытов при лопатках с закрылками аппроксимируются кривыми, имеющими более пологий вид по сравнению с опытами без закрылков и теоретическими данными. Это объясняется меньшим сопротивлением лопаток с закрылками вследствие разделения зоны вакуума в следе лопатки с основным потоком, а следовательно, и меньшим $M_{кр}$ на валу, что оправдывает использование лопаток с закрылками в предлагаемой конструкции очистного устройства.

Изменение амплитуды сигнала датчика, регистрирующего импульс кумулятивной струи, сходящей с выходной кромки лопатки, фиксировалось в зависимости от удаления датчика от сетчатого полотна фильтра. С целью определения направления абсолютной скорости кумулятивной струи датчик устанавливался нормально и тангенциально сетчатому полотну. Независимо от ориентации датчика амплитуда сигнала импульса струи на данном удалении от сетчатого полотна оставалась постоянной. Это свидетельствует о том, что возмущение, возникающее вследствие взаимодействия кумулятивной струи с фильтрующимся потоком, распространяется концентрически с большим градиентом затухания.

Как показали опыты, тела по сетчатому полотну приходят в движение под действием кумулятивной струи. Расстояние, на которое тела отходят от сетки, незначительно и составляет не более 3 мм [2, 3], тогда как датчик импульсов, используемый в опытах, фиксирует сигнал на расстоянии 800 мм.

По мере удаления датчика импульса от сетки направление струи на датчик

изменяется, так как вал с лопаткой повернулся на больший угол. Последний определяется с помощью фотоэлемента и диска с прорезями по окружности через 45° , закрепленного по валу очистного устройства. Первая прорезь на диске устанавливалась против фотоэлемента, а лопатка — на одном радиусе с датчиком импульса. Записывались сигналы двумя каналами самописца. Расстояние датчика импульсов от сетки изменялось от 0 до 100 мм. Полученные диаграммы указали на полное совпадение пика сигналов во времени при различных расстояниях, что свидетельствует о практически мгновенном распространении импульса.

Анализ взаимодействия встречной струи с потоком жидкости указал на возможность возникновения явления, подобного гидравлическому удару небольшой интенсивности. А скорость распространения ударной волны в воде, как известно, составляет 1420 м/с. По этой причине было решено увеличить расстояние от сетки до датчика и применить второй тензометрический датчик импульса, подобный первому, т.е. с теми же размерами и параметрами. Первый датчик устанавливался на расстоянии 50 мм от сетчатого полотна, второй — на 800 мм на одной линии с валом и лопаткой очистного устройства. Осциллограммы сигналов двух датчиков при скорости подачи бумаги 250 мм в секунду показали полное совпадение сигналов во времени и по форме. Максимум амплитуды совпадал с возможной точностью прибора до 1 мм, что при такой погрешности дает скорость распространения импульса в пределах 200 м/с.

Таким образом, можно считать, что сигнал, воспринимаемый датчиком на расстоянии 800 мм, является ударной волной, вызванной взаимодействием кумулятивной струи с потоком жидкости, а не самой струей, внедряющейся во встречный поток.

На основании проведенных теоретических и экспериментальных исследований ЦРЗУ с очистным устройством в виде динамических лопаток можно сделать следующие основные выводы:

1. Предлагаемое очистное устройство отличается конструктивной простотой и надежностью в работе, малой приводной мощностью. Может эффективно применяться в РЗУ в фильтрах с другими (помимо цилиндрических) формами сетчатых полотен, а также в различных по назначению механизмах и аппаратах (например, рыбонасосах, центрифугах, сепараторах и др.).

2. Экспериментально выявлено и теоретически обосновано неизвестное ранее в теории динамических машин явление возникновения кумулятивной струи при взаимодействии лопатки с жидкостью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Во п н я р с к и й И. П., В а р н а к о в Н. М., С и д о р о в А. Н., М о л о ч к о А. В. Рыбозащитное устройство с импульсной струйной очисткой сетки // Водное хоз-во и гидротехн. стр-во. — 1984. — Вып. 13. — С. 39–42.
2. В о п н я р с к и й И. П., С и д о р о в А. Н., М о л о ч к о А. В. Исследования и методика расчета двухконусного РЗУ с гидроимпульсной очисткой сетки // Водное хоз-во и гидротехн. стр-во. — 1987. — Вып. 16. — С. 95–99.
3. А. с. 1105547 СССР. Рыбозащитное устройство водозаборного сооружения / А. Н. Сидоров, Д. А. Козлов, И. П. Вопнярский, В. В. Петрашкевич.