

## ЛИТЕРАТУРА

1. Б о г о с л а в ч и к П.М., Ф и л и п п о в и ч И.В. Гидравлические исследования резервного водосброса по типу размываемой вставки. Материалы конференций и совещаний по гидротехнике: Методы исследований и гидравлических расчетов водосбросных гидротехнических сооружений / ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. — М., 1985. — С. 51—54.
2. Б о г о с л а в ч и к П.М., Ф и л и п п о в и ч И.В. К расчету размыва однородной плотины из песчаных грунтов при переливе воды через гребень // Известия вузов СССР. — 1983. № 2. — С. 100—105.
3. Б о г о с л а в ч и к П.М. Исследования транспортирующей способности потока при размыве плотин из песчаных грунтов // Водное хозяйство и гидротехническое строительство, 1985. — Вып. 14. — С. 48—52.
4. А б а л ь я н ц С.Х. Движение взвесей в открытых потоках // Труды САННИИРИ / Среднеаз. НИИ ирригации им. В.Д. Журина / 1958. — Вып. 96. — С. 3—156.
5. Л а п ш е н к о в В.С. Прогнозирование русловых деформаций в бьефах речных гидроузлов. — Л., 1979. — 239 с.
6. Г р и ш а н и н К.В. Расход русловых наносов в реках с песчаным дном. Русловые процессы и методы их регулирования: Докл. конф. — Л., 1977. — С. 8—14.
7. Б о г о с л а в ч и к П.М. Исследование кривых свободной поверхности на моделях грунтовых плотин при их размыве переливом // Водное хозяйство и гидротехническое строительство. — 1987. — Вып. 16. — С. 71—75.
8. И в а н о в Н.А. Защита откосов плотин из грунтовых материалов при кратковременном переливе // Сб. науч. тр. Гидропроекта им. С.Я. Жука. Гидравлика и фильтрация. — М., 1979. — С. 87—94.
9. Л я т х е р В.М., М и л и т е е в А.Н. Расчет устойчивости камней и габионов на поверхности плотины при пропуске через нее больших расходов. Труды коорд. совещаний по гидротехнике. Дополн. мат-лы // Гидравлика высоконапорных водосбросных сооружений. — М., 1975. — С. 148—152.

УДК 532.526

### Д.А. КОЗЛОВ, Ю.Е. ЗВЕРХОВСКИЙ, И.В. ПОВОРОТНЫЙ СТРУКТУРА ТЕЧЕНИЯ ВБЛИЗИ РОТОРА СМЕСИТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Проблема интенсификации гидродинамических процессов и процессов тепло- и массообмена путем активизации турбулентных течений находит широкое применение во всех отраслях народного хозяйства, связанных с использованием однородных растворов, эмульсий, в том числе и в гидротехническом строительстве.

Одним из таких путей является применение гидродинамической кавитации как дополнительного импульсного воздействия на перемешивание дисперсных сред [1, 2]. Весьма своеобразная специфика перемешивания реологически сложных дисперсных систем в устройствах, использующих кавитацию (кавитаторах), порождает новые интересные особенности протекания в них процессов конвективного переноса, закономерности которого недостаточно изучены. Обусловлено это отсутствием методов и средств комплекс-

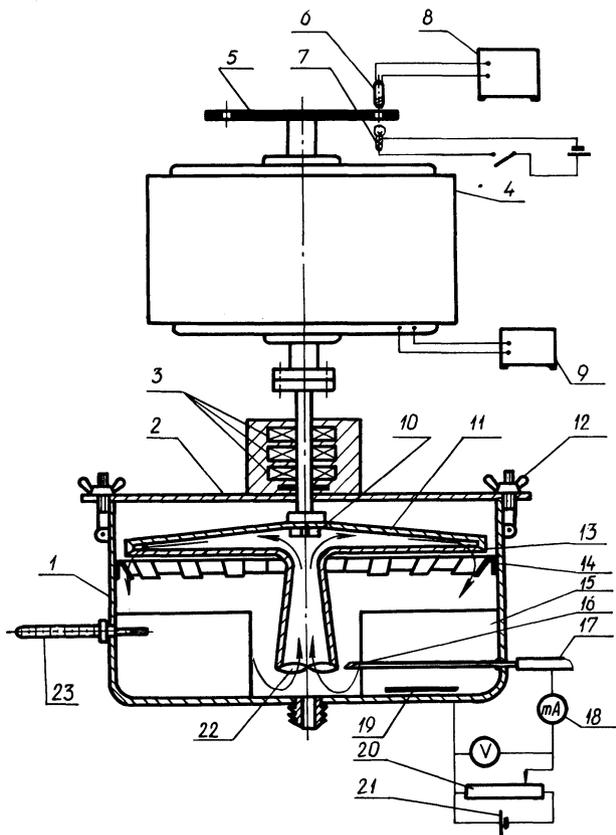


Рис. 1. Схема экспериментальной установки:

1 – корпус; 2 – крышка; 3 – подшипники; 4 – электродвигатель постоянного тока; 5 – диск щелевой; 6 – фотодиод; 7 – лампочка; 8 – тахометр ТЦ-3м; 9 – источник электропитания; 10 – отбрасыватель; 11 – ротор; 12 – гайка; 13 – отверстия; 14 – пластины упругие; 15 – перегородки отражательные; 16 – датчик скорости – катод; 17 – манипулятор микровинтовой; 18 – миллиамперметр М254; 19 – анод; 20 – реостат; 21 – элемент гальванический; 22 – винт; 23 – термометр

ного экспериментального исследования параметров полей скорости, концентрации и массовых потоков в процессах перемешивания реологически сложных сред и композиций.

Данная работа представляет результаты применения электрохимического метода для изучения закономерностей гидродинамических процессов при приготвлении реологически сложных технологических сред и композиций в кавитационном диспергаторе, разработанном на кафедре "Гидравлика" Белорусского политехнического института [ 3 ], при использовании модельных жидкостей.

Экспериментальная установка (рис. 1) состоит из электродвигателя постоянного тока 4 с регулируемой частотой вращения  $n =$

= 0—5000 об/мин и корпуса 1, в котором размещен рабочий орган — ротор 11, закрепленный на валу электродвигателя и удерживаемый при помощи трех подшипников 3 от радиальных биений во время вращения. Ротор 11 представляет собой в верхней части горизонтально расположенный полый диск, а в нижней — диффузор (труба Вентури), плавно переходящий в диск ротора. В нижней части диффузора установлен винт 22, в верхней части корпуса 1 — крышка 2. В нижней части корпуса имеются патрубки ввода перемешиваемых сред и выпуска приготовленной смеси. В самом корпусе кавитизатора размещаются четыре съемные отражательные перегородки 15, а под вращающимся ротором по периметру корпуса — короткие упругие разноориентированные пластины 14. Частота вращения контролируется при помощи цифрового электронного тахометра ТЦ-3м с точностью отсчета  $\pm 5$  об/с.

Для измерения характеристик скоростного поля течения во время реализации процесса перемешивания служит электрохимический датчик скорости 16, перемещаемый в горизонтальной плоскости от нижнего края диффузора, практически, до стенки корпуса. Сигнал с датчика фиксируется при помощи стандартной электрохимической ячейки 18-21 и шлейфового осциллографа Н041У4.2. Электрическая схема измерения диффузионного тока на датчике аналогична использованной в опытах по определению характеристик поля скорости при движении в трубе [4]. Сам датчик представляет собой микроэлектрод — катод клиновидной формы, выполненный из платиновой полоски шириной 1 мм и длиной 0,09 мм, расположенной параллельно передней кромке датчика на расстоянии 0,3 мм от нее. Датчик крепится к штоку 17 микровинтового манипулятора и ориентирован рабочей частью навстречу набегающему потоку жидкости. Предварительная тарировка проводилась на гидродинамическом стенде типа "затопленная струя" для каждого типа модельной жидкости.

Для изучения особенностей развития и протекания технологических процессов, необходимых для оптимизации режимов работы кавитизатора, в проведенных исследованиях использовались модельные рабочие среды с ньютоновскими свойствами (водный электролит на основе солей феррицианидов) и неньютоновскими (чистовязкий полимерный раствор полиакриламида с концентрацией  $C = 0,1$  %, имеющий вязкость, близкую к вязкости воды, а также нелинейновязкопластичные (2,5 и 4,5 %) суспензии бентонитовой глины Na-формы). Вязкость таких бентонитовых суспензий значительно отличается от вязкости воды [5], и в области скоростей сдвига (от  $100 \text{ с}^{-1}$  до  $1300 \text{ с}^{-1}$ ) реологические кривые течения для бентонитовой (2,5 и 4,5 %) суспензии описываются уравнением Шведова-Бентама в виде  $\tau = 66,13 + 0,43\dot{\gamma}$  и  $\tau = 9,42 + 0,064\dot{\gamma}$  соответственно.

Независимо от реализуемого процесса смешения установка функционирует по следующей схеме. После загрузки исходных компонентов в корпус смесителя и включения электродвигателя

во вращающийся рабочий орган — трубу Вентури из нижней части корпуса начинают поступать перемешиваемые среды. Происходит это за счет разряжения, возникающего в результате действия центробежных сил во вращающемся роторе, и при помощи высокооборотного винта 22. Жидкость подается в область пониженного давления во внутреннем объеме ротора, поднимается по трубе Вентури выше уровня жидкости в самом корпусе и попадает в полость диска 11, где, отбрасываясь на его периферию через сливные отверстия 13, выбрасывается и, ударяясь о короткие упругие пластины 14, расплывается в газовой фазе, падает и перемешивается в верхних слоях приготавливаемого состава.

Следует особо отметить, что интенсификация процесса перемешивания в этом случае происходит за счет воздействия на циркулирующую в трубе Вентури исходную среду при помощи гидродинамической кавитации, возникающей на кромках высокооборотного винта, в узкой части трубы Вентури и на искусственных шероховатостях внутренней поверхности ротора, что в сочетании с обычным процессом смешения в корпусе и перекачивания компонентов через центральный рабочий орган приводит к качественному смешению, диспергированию или эмульгированию исходных составляющих (в зависимости от их качественного состава) при уменьшении времени перемешивания.

Оценка эффективности применения перемешивающих устройств в большинстве случаев основана на решении задачи переноса, описываемой в наиболее общем случае уравнением

$$dC/dt = D_T d^2 C/dx^2,$$

в которое при определении коэффициента турбулентной диффузии  $D_T$ , кроме длины перемешивания  $l$ , входит абсолютное значение градиента скорости в направлении  $X - dU/dx$ , так как

$$D_T = l^2 |dU/dx|.$$

Поэтому одним из условий проведения гидродинамического расчета работы быстроходных перемешивающих устройств, к которым относятся кавитизаторы, является изучение осредненных характеристик поля скорости в объеме аппарата. С этой целью в настоящей работе были выполнены экспериментальные исследования поля скорости в корпусе вышеописанного устройства в случае наличия в нем четырех отражательных перегородок и без них для всех модельных растворов. Полученные данные были обработаны и представлены в виде графиков (рис. 2 и 3) с безразмерными координатами

$$|U_x/U_{\max}| = f(x/R),$$

где  $U_{\max}$  — максимальное значение продольного профиля скорости;  $U_x$  — значение скорости в точке, удаленной от нижнего края

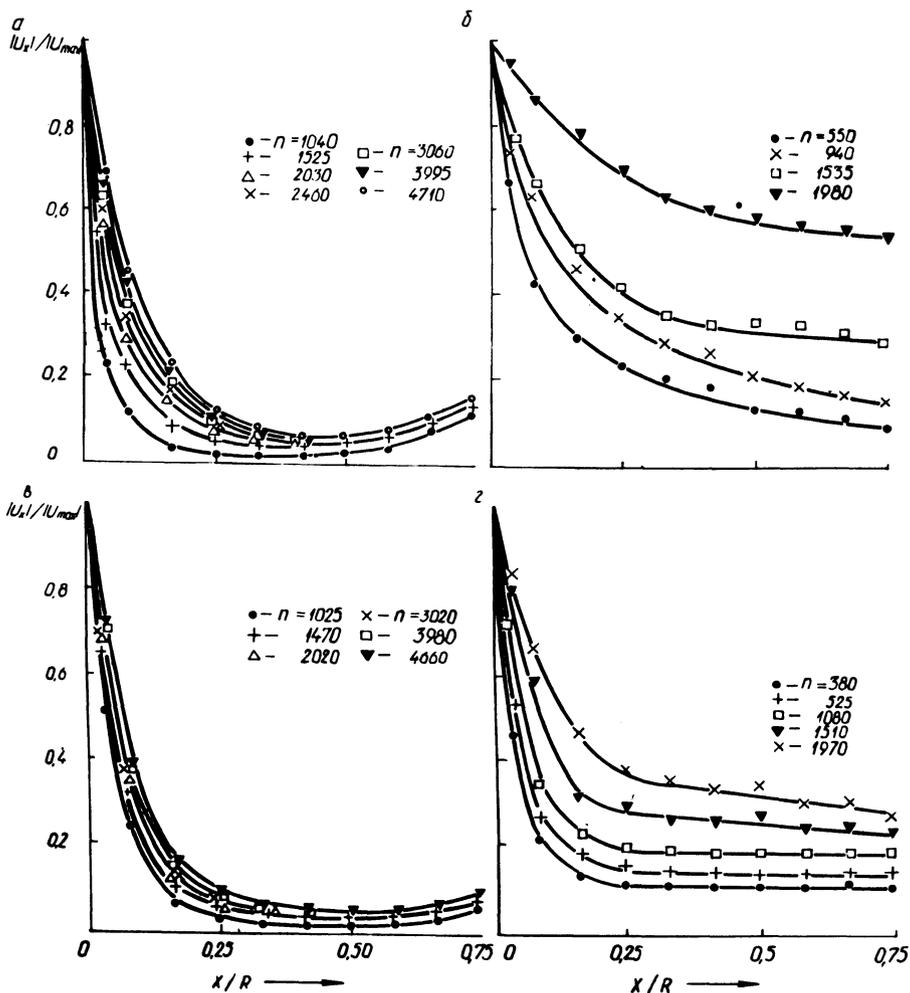


Рис. 2. Профили скорости в корпусе смесительного аппарата:

а - с отражательными перегородками; б - без перегородок; а, в - для водного электролита; б, з - для полимерного раствора

ротора на расстоянии  $x$ ;  $R$  - расстояние от оси корпуса до его стенки 1.

Анализируя полученные зависимости, можно отметить следующее. В случае использования раствора электролита (см. рис. 2, а) скорость по мере удаления от вращающейся трубы Вентури быстро затухает и уже на расстоянии  $x \approx (0,1-0,15) R$  уменьшается на 70-80 %, а при  $x \approx (0,4-0,5) R$  достигает минимального значения, и распределение относительной скорости незначительно зависит от частоты вращения ротора, имея практически автомодельный вид.

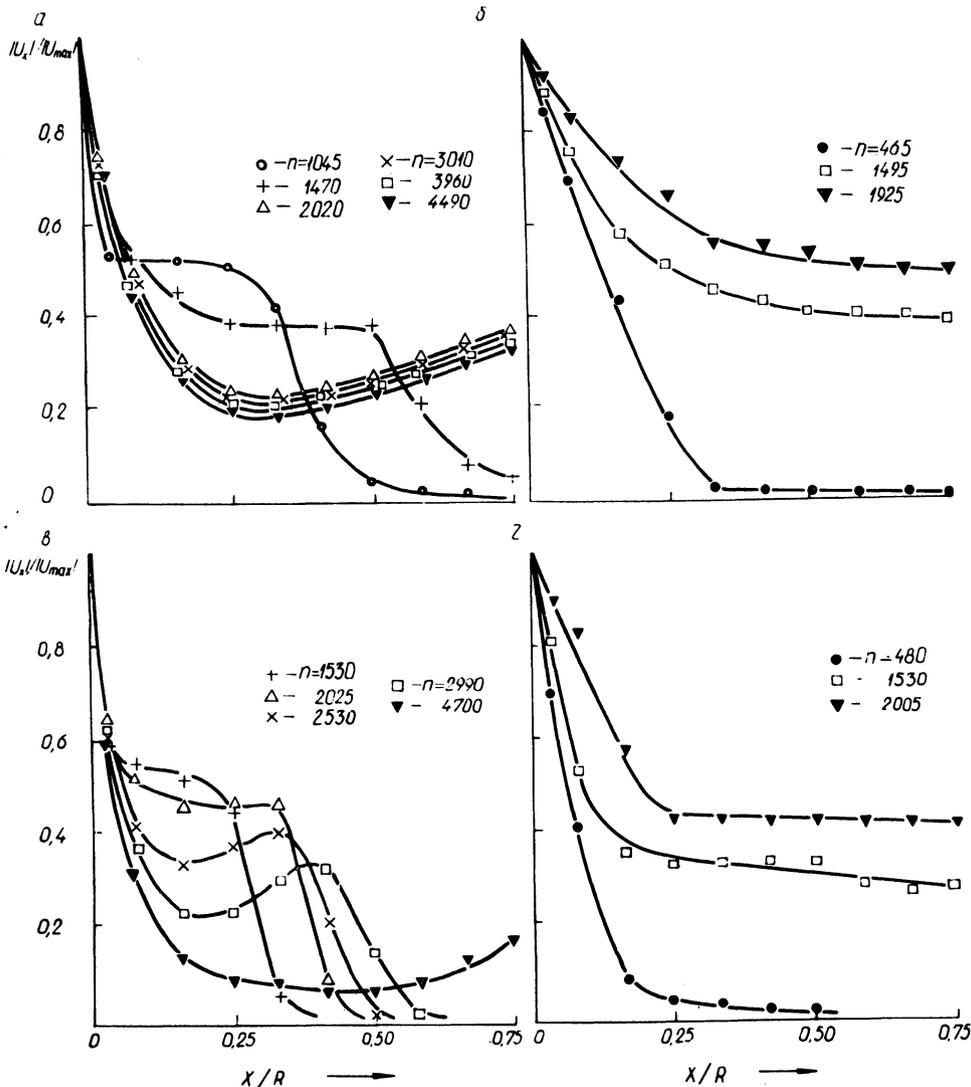


Рис. 3. Профили скорости в корпусе смешательного аппарата:

*a* – с отражательными перегородками; *б* – без перегородок; *a, в* – для глинистой суспензии  $C = 2,5\%$ ; *б, г* – для глинистой суспензии  $C = 4,5\%$ .

При отсутствии отражательных перегородок (см. рис. 2, б) жидкость в корпусе закручивается трубой Вентури, падение скорости потока становится более плавным с минимумом на стенке и существенно зависит от частоты вращения. При  $n > 2000$  об/мин наблюдается выброс жидкости через верхнюю крышку корпуса 2 (см. рис. 1), что является весьма нежелательным. Для слабвязкого раствора полимера (см рис. 2, в, г) рассмотренные зависимости

являются аналогичными, причем за счет специфического свойства использовавшегося полимера — снижения гидродинамического сопротивления — влияние скорости вращения в обоих случаях менее выражено.

Свойства перемешиваемой жидкости оказывают существенное влияние на величину скорости в кавитизаторе и характер ее распределения. Так, для нелинейновязкопластичной (2,5 %) бентонитовой суспензии (см. рис. 3, б) в корпусе без отражательных перегородок наблюдается ограниченная зона сдвигового течения ( $n = 465$  об/мин), тогда как на периферии (около стенки корпуса) суспензия не вращается и, находясь в спокойном состоянии, образует застойные зоны. При наличии отражательных перегородок (см. рис. 3, а) такие застойные зоны увеличиваются в размерах и сохраняются до 2000 об/мин.

Для более вязкой (4,5 %) бентонитовой суспензии (см. рис. 3, в), у которой реологический фактор выражен сильнее, застойные зоны в корпусе с отражательными перегородками выражены более ярко и отсутствуют только при максимальной частоте вращения трубы Вентури ( $n = 4700$  об/мин).

Таким образом, анализируя представленные экспериментальные данные, можно судить о характере и структуре течения в объеме смесительной камеры аппарата в случае выполнения рабочего органа в виде вращающейся трубы Вентури.

Используя полученные зависимости (см. рис. 2, 3), можно при известной скорости  $U_{\max}$  для каждого типа жидкости определить значение скорости практически в любой точке сечения, а следовательно, получить значение градиента скорости и оценить эффективность работы самого смесителя.

Наиболее эффективная работа такого типа реализуется в случае наличия в корпусе отражательных перегородок, которые оказывают влияние на структуру вращающегося потока за счет образования отдельных циркуляционных зон, в которых скорость течения имеет знакопеременную ориентацию, что способствует более интенсивному протеканию самого процесса смешения. Кроме того, в случае установки отражательных перегородок становится возможным значительно увеличить скорость вращения ротора до  $n \approx 4000$ — $5000$  об/мин, что сказывается как на качестве приготовления смешиваемой среды, так и на уменьшении удельных энергозатрат за счет сокращения времени перемешивания. Характеристика разработанного смесительного аппарата позволяет судить о его перспективном применении в различных областях народного хозяйства, где используются процессы растворения, эмульгирования и диспергирования, в частности в составе комплекса очистных и водохозяйственных сооружений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Васильцов Э.А., Ушаков В.Г. Аппараты для перемешивания жидких сред. — М., Машиностроение, 1979. — С. 40.
2. А р з у м а н о в Э.С.

Кавитация в местных гидравлических сопротивлениях. — М., 1978. — С. 273.  
3. Положительное решение от 24.12.87 по заявке № 4184365/31-26 (013598).  
4. З в е р х о в с к и й Ю.Е. Измерение реодинамических характеристик вязкопластичных глинистых суспензий с помощью электрохимического метода // Реофизика / ИТМО АН БССР. — Мн., 1977. — 36 с. 5. З в е р х о в с к и й Ю.Е. Исследование реологических свойств глинистых электропроводных суспензий // Реофизические исследования / ИТМО АН БССР. — Мн., 1974. — 100 с.

А.В. КОПЫТОВСКИХ, В.Т. КЛИМКОВ

### ФИЛЬТРАЦИЯ В ВОЛОКНИСТОМ ПОРИСТОМ ПОЛИЭТИЛЕНЕ (ФИБЕЛЕНЕ)

Характерной особенностью работы фильтрующих элементов поглощителей поверхностного стока с использованием тонких структурных фильтров, в частности фильтров из волокнистого пористого полиэтилена (фибелена), является то, что действующий напор может многократно превосходить толщину фильтрующего элемента или длину пути фильтрации. Поэтому важнейшая задача фильтрационных исследований — определение коэффициентов фильтрации, установление режимов и критических значений градиентов напора, соответствующих переходу от ламинарного (линейного) режима фильтрации к переходному (доквадратическому) и далее к турбулентному (квадратическому).

Исследования проводились на фильтрационном приборе для определения водопроницаемости фильтров при нормальной фильтрации чистой воды снизу вверх (рис. 1). Прибор состоит из корпуса 1, перфорированных диафрагм 2 и пьезометров П1 и П2. Диаметр рабочей части образца фильтра 40 мм.

Исследуемый образец фильтра помещался в корпусе прибора между диафрагмами с отверстиями. Площадь последних составляла 80—85 % от общей площади поверхности диафрагм. В фильтрационный прибор вводились игольчатые пьезометры для определения пьезометрических напоров в точке. Пьезометры устанавливались на фиксированных расстояниях один от другого с обеих сторон поверхности исследуемого материала. Каждая игла имела дву-

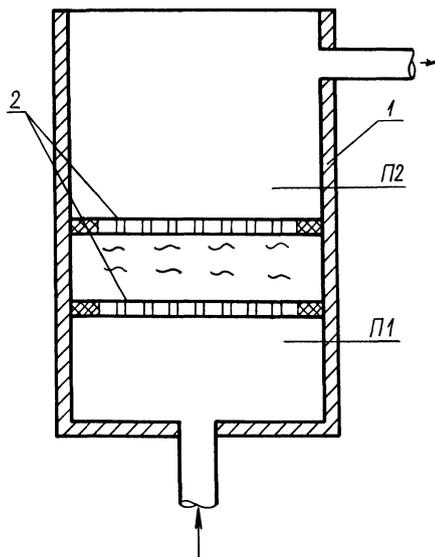


Рис. 1. Схема фильтрационного прибора