

УДК 621. 694.3

О ВИХРЕВЫХ ГИДРОЭЛЕВАТОРАХ

Доктор техн. наук А.А. Абдураманов
Е.Е. Тунгишбаев
Н.А. Абдураманов

В статье изложен механизм движения жидкости в вихревых гидроэлеваторах, в которых один из взаимодействующих потоков или оба потока закручены.

Низкая величина КПД струйных аппаратов, в том числе гидроэлеваторов долгое время считалась естественной. На ошибочность такого мнения в свое время указывал еще Г.Е. Мускевич: «Низкий КПД гидроэлеватора не является органическим недостатком струйных аппаратов, кроющимся в самой природе процесса смешения, а в не совершенстве их конструкции» [7]. При этом он не отрицал возможность улучшения конструкции струйных аппаратов путем снижения коэффициентов гидравлических сопротивлений во входном участке, приемной камере, камере смешения и в диффузоре. Такого же мнения придерживался и П.Н.Каменев [5].

Однако из наших поисковых работ последнего десятилетия стало ясно, что повышения КПД струйных аппаратов (гидроэлеваторов) путем снижения трения на поверхностях деталей и тем самым уменьшения гидравлических сопротивлений не является единственным.

КПД (и коэффициент эжекции) гидроэлеватора можно увеличить путем повышения разности абсолютных давлений между свободной поверхностью источника воды и приемной камерой гидроэлеватора, а также созданием на поверхности пограничного слоя режима максимального вовлечения пассивного (спутного) потока в рабочую струю.

Технически это осуществляется закруткой одного из взаимодействующих потоков (спутного всасываемого потока или рабочей струи) или обоих потоков. При этом в пограничном слое образуется градиентное поле давления, и турбулентное вовлечение спутного потока в рабочую струю гидроэлеватора.

Другим важным параметром в эффективной работе гидроэлеваторов является оптимальное расстояние между срезом рабочего насадка и

началом (горловиной) камеры смешения ℓ_{onm} . Это расстояние до сих пор определяется экспериментальным путем индивидуально для каждого струйного аппарата в отдельности. Дело в том, что при $\ell > \ell_{onm}$ (для коэффициента эжекции $q > q_{onm}$) имеет место резкое падение напора нагнетания. Б.Э. Фридман объясняет это явление действием кавитации.

Экспериментальными исследованиями ВНИИНЕРУД и Г.Е. Мускевича [7] установлено, что в камере смешения образуются три характерных участков: активный (полезное всасывание эжектируемой среды), пассивный (зона поверхностного вихревого вальца) и стабилизирующий (выравнивание эпюры скоростей смешанного потока).

Размеры поверхностного вихревого вальца тем больше, чем меньше коэффициент эжекции гидроэлеватора.

Это очень похоже на изменение размера осевого вихря в межлопастном пространстве центробежного насоса: при большей подаче насоса размеры осевого вихря уменьшаются и смещаются в сторону напорной поверхности лопасти рабочего колеса. Здесь уместно упомянуть, что ещё Г.Н. Абрамовичем был обнаружен поверхностный (вихревой) валец вокруг осесимметричной струи в ограниченном цилиндрическом пространстве [4].

Образование поверхностного вальца объясняется автором работы [4] недостаточной величиной энергии рабочей струи для проталкивания суммарного расхода дальше, в камеру смешения, где имеет место положительный градиент давления.

Поверхностный валец, образуется вдоль камеры смешения гидроэлеватора в различных местах. Можно отметить три характерных его вида:

1. поверхностный валец начинается с сечения, совпадающего с плоскостью среза рабочей насадки ($y_1 = r_0$), и заканчивается в камере смешения в сечении, где $y_2 = r_{к.с.}$ (рис. 1а). Этот вид вальца по аналогии с гидравликой гидротехнических сооружений уместно именовать надвинутым поверхностным вальцом (НПВ);
2. поверхностный валец начинается с некоторого расстояния от плоскости среза рабочей насадки и распространяется до сечения, в котором граничная линия в радиальном направлении достигает стенки камеры смешения (рис. 1б). Этот вид поверхностного вальца условно можно называть предельным (ППВ);

3. поверхностный валец образуется в концевом участке, между стенкой камеры смешения и границей погранслоя (рис. 1в). Этот вид вальца считается отогнутым поверхностным вальцом (ОПВ). Надвинутый поверхностный валец охватывает всю длину пограничной линии.

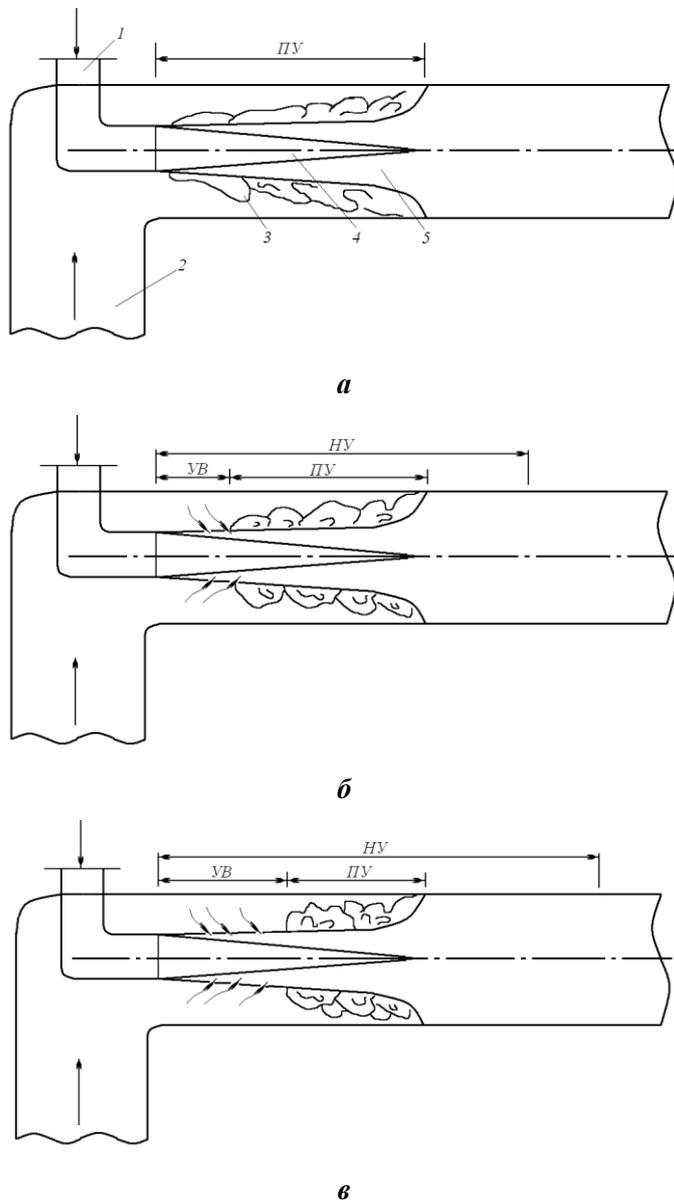


Рис. 1. Виды поверхностного вальца.

Вовлечение жидкости и отток из пограничного слоя по объему примерно одинаково. Участок ведет себя как пассивный (ПУ), хотя сме-

шение рабочей и пассивной жидкостей происходит достаточно активно. Длина пассивного участка приблизительно равна длине ядра рабочей струи. Коэффициент эжекции незначителен.

Предельный поверхностный валец характеризуется наличием активного участка вовлечения (УВ) и пассивного участка (ПУ). В этом случае скорость рабочей струи больше, чем скорость струи в предыдущем случае. Поэтому длина ядра струи (начального участка) более значительна, а объем поверхностного вальца гораздо меньше, чем при надвинутом гидравлическом прыжке.

Отогнанный поверхностный валец обладает большей длиной участка вовлечения и минимальной длиной пассивного участка. Этот вид прыжка имеет место при больших скоростях рабочей струи. Коэффициент эжекции – максимален из возможных при работе прямоточных гидроэлеваторов. Объем поверхностного вальца – минимален. Здесь длина участка вовлечения намного больше, чем длина пассивного участка. Длина ядра рабочей струи тоже наибольшая.

Известно, что турбулентная свободная струя, распространяющаяся в затопленном пространстве, состоит из начального и основного участков. Теория турбулентной свободной струи подробно разработана Г.Н. Абрамовичем и его школой [4].

Распространить эту теорию автоматически для пограничного слоя, имеющего место в цилиндрической трубе (камере смешения) гидроэлеватора было бы неуместным. Пограничный слой в камере смешения прямоточного гидроэлеватора имеет свои особенности. Область сопряжения всасываемого спутного потока с рабочей струей гидроэлеватора, как обосновано выше, включает в себе участок вовлечения (рис. 2а, сечения I – II) и пассивный участок (рис. 2а сечения II – III). Далее гидравлические параметры смешанного потока постепенно приобретают стабильные значения.

Этот участок (за сечением III) камеры смешения можно назвать участком стабилизации (УС). В конце камеры смешения профиль осевых скоростей приобретает логарифмическое распределение (по поперечному сечению). Таким образом, длина камеры смешения гидроэлеватора L_{kc} складывается из двух длин: длины участка сопряжения потоков ($L_c = L_{yg} + L_{ny}$) и длины участка стабилизации (L_{cm}), то есть:

$$L_{kc} = L_c + L_{cm}. \quad (1)$$

Пограничный слой с внутренней стороны ограничивается ядром рабочей струи 4 клинообразной (конической) формы, в котором величина начальной скорости ($U_0 = \mathcal{G}_0$) сохраняется по длине начального участка (НУ).

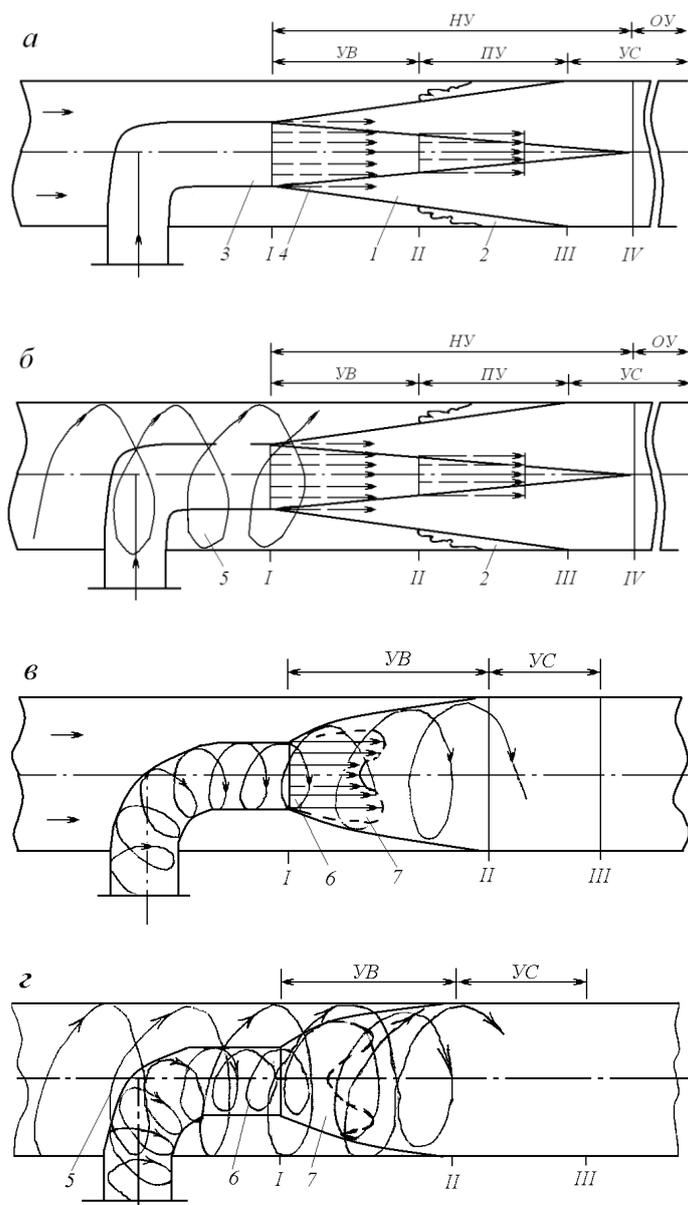


Рис. 2. Принципиальные схемы прямоточного и вихревого гидроэлеваторов.

Известно, что в целом КПД прямоточных гидроэлеваторов очень мал, именно поэтому широкое распространение их ограничено, предпочи-

тают применять на практике центробежные насосы. Исследования последних лет показали [1...3] возможность повышения КПД струйных аппаратов путем закручивания одного из взаимодействующих или обоих потоков (активного и пассивного). На рис. 2б приведен струйный аппарат, в котором всасываемый (спутный) поток подведен в приемную камеру в закрученном виде. Такие струйные насосы исследованы А.А. Абдурамановым и И.С. Сейтасановым [3]. Коэффициент эжекции (всасывания) прямооточной рабочей струи при вихревом подводе пассивного потока оказался выше, чем у обычных струйных насосов. В настоящее время предложены струйные насосы, в которых рабочая струя выходит из напорного сопла в закрученном виде б (рис. 2в). Распределение продольных (по сечению) скоростей на выходе из сопла и в следующих поперечных сечениях совершенно отличаются от профиля скоростей в прямооточных струйных насосах. Здесь максимальные продольные скорости v_7 отклонены от геометрической оси трубы в сторону и расположены осесимметрично. Это способствует увеличению коэффициента эжекции еще больше, чем в конструкциях, приведенных выше гидроэлеваторов (струйных насосах). На практике часто встречаются случаи, когда рабочая струя и всасываемый пассивный поток закручены (рис. 2г) [1, 2].

В вихревых гидроэлеваторах [3], в которых рабочая (осевая) струя – прямооточная, а всасываемая (пассивная) струя – закрученная (рис. 2б), коэффициент эжекции увеличивается значительно (1,3...1,5 раза) по сравнению с гидроэлеваторами, в которых обе струи прямооточные. Объяснить этот эффект до сих пор не удавалось. Удовлетворялись лишь тем, что внешний закрученный (всасываемый) поток в какой-то степени способствует углублению вакуума, создаваемого в приемной камере гидроэлеватора рабочей струей. Но из-за малой скорости всасывания пассивной среды это дополнительное углубление вакуума не могло настолько увеличить всасываемый расход. Следовательно, причина явления в другом. Ниже приведена попытка выяснения причины – повышения коэффициента эжекции в вихревых гидроэлеваторах. Рассмотрим сначала прямооточный гидроэлеватор (рис. 2а), состоящий из рабочего сопла, соосно расположенного в цилиндрической камере смешения. Пусть внешний всасываемый поток – закрученный, а внутренний рабочий поток – прямооточный. Рабочая струя, распространяясь в камере смешения, образует плавно изменяющийся пограничный слой, в поперечных сечениях которого имеет место параболический профиль скоростей. Если такой поток окружен с внешней стороны закру-

ченной струей, то профиль скоростей преобразуется в логарифмический. При одинаковых условиях, в последнем случае, средняя скорость по сечению значительно увеличивается, расход повышается.

Внешний закрученный поток под действием центробежной силы инерции, уменьшая толщину ламинарного подслоя у твердой стенки камеры смешения, интенсифицирует турбулизацию потока, превращая параболический профиль местных скоростей в логарифмический. Очевидно, что на резкое повышение коэффициента эжекции гидроэлеватора последний аргумент влияет более весомее, чем вакуум дополнительно создаваемый всасываемой струей. Это находит свое подтверждение результатами исследований, приведенных в работе [6]. При вращении цилиндрической трубы наблюдается эффект увеличения расхода протекающей в ней жидкости. Соотношение расходов, полученное опытным путем, позволяет утверждать, что между Q_{\max} и $Q_{\varpi=0}$ существует зависимость:

$$\frac{Q_{\max}}{Q_{\varpi=0}} \cong 2, \quad (2)$$

где Q_{\max} – расход при вращении трубы с угловой скоростью $\varpi_{кр}$; $Q_{\varpi=0}$ – расход трубы без вращения (угловая скорость $\varpi = 0$).

Таким образом, при неизменном перепаде давления (ΔP) и критической угловой скорости вращения ($\varpi_{кр}$), величина расхода (Q_{\max}) превышает расход $Q_0 = Q_{\varpi=0}$ (без вращения трубы) примерно в два раза.

В работе [6] этот эффект объясняют тем, что с увеличением частоты вращения трубы уменьшается сопротивление трения путем разрушения пристенного слоя. Такое объяснение становится ясным, если учесть следующие три обстоятельства. Во-первых, вращение трубы из-за вязкости реальной жидкости создает в ее поперечном сечении центробежное поле сил инерции, преобразующее параболический профиль в логарифмический профиль скоростей (при турбулентном режиме). При этом средняя скорость по сечению резко возрастает. Во-вторых, вращение трубы вызывает рост осевой составляющей скорости прямо у стен трубы, что способствует выравниванию местных скоростей у ядра турбулентного потока, так как наложение параболического профиля скоростей осевого потока и M -образного профиля аксиальных скоростей закрученного внешнего потока в гидроэлеваторах образует характерный для турбулентного потока логарифмический профиль скоростей. В-третьих, при вращении трубы образуется низкое абсолютное давление жидкости, чем при прямом течении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдураманов А.А., Абиров А.А. Результаты экспериментальных исследований вихревого гидроэлеватора // Сб. Научные исследования в мелиорации и водном хозяйстве. – Т. 41, Вып. 1. – Тараз: ИЦ «Аква», 2004. – С. 19-26.
2. Абдураманов А.А., Касабеков М.И. К расчету камер смешения прямоточных и вихревых гидроэлеваторов // Механика и моделирования процессов технологии. – №1. – 2001. – С. 87-92.
3. Абдураманов А.А., Сейтасанов И.С., Донис Д.К. Ресурсосберегающая конструкция гидроэлеватора и результаты ее исследования // Наука и образование Южного Казахстана. – №7. – 1998. – С. 74-79.
4. Абрамович Г.Н. Теория турбулентных струй. – М.: Физматгиздат, 1960. – 715 с.
5. Каменев П.Н. Гидроэлеваторы в строительстве. – М.: Изд. лит. по строительству, 1970. – 415 с.
6. Каминер А.А., Яхно О.М. Гидромеханика в инженерной практике. – Киев: Изд-во «Техника», 1987. – 174 с.
7. Мускевич Г.Е. Гидравлические исследования и расчет водоструйных аппаратов (гидроэлеваторов) // Автореф. дисс.... канд. техн. наук, МГМИ, М. 1971. – 45 с.

ТарГУ им. М.Х. Дулати, г. Тараз

ҚҰЙЫНДЫ ГИДРОЭЛЕВАТОРЛАР ТУРАЛЫ

Техн. ғылымд. докторы Ә.Ә. Әбдіраманов
 Е.Е. Тұңғышбаев
 Н.Ә. Әбдіраманов

Мақалада өзара әрекет етуші ағындардың біреуі немесе екеуіде бұралған, құйынды гидроэлеваторлардағы сұйықтың қозғалысының механизмі қарастырылған.