

**ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОЙ, РАДИАЦИОННОЙ
И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

УДК 621.039 : 502.51 : 626.882

**АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ СПОСОБОВ ПРОМЫВКИ
ФИЛЬТРУЮЩИХ ПОЛОТЕН РЫБОЗАЩИТНЫХ УСТРОЙСТВ,
ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ОБЕСПЕЧЕНИИ ПРОМЫШЛЕННОЙ И
ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ АТОМНЫХ
ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**

© 2016 В.Г. Ткачев, Л.В. Постой

Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Волгодонск, Ростовская обл., Россия

Одним из аспектов обеспечения промышленной и экологической безопасности атомных электростанций является недопущение уменьшения объема подаваемой технической воды, поступающей для охлаждения оборудования или превышения в ней концентрации загрязняющих элементов. Снижение количества поступающей воды может быть вызвано уменьшением фильтрационной способности водозаборных устройств, ухудшение ее качества возникает в результате загрязнения биологическими организмами (засорение водорослями, останками рыб). В настоящее время широкое распространение нашли рыбозащитные устройства РЗУ с фильтрующими элементами, которые являются непреодолимым препятствием для молоди рыб и предотвращают ее попадание в систему охлаждения.

В статье проведен анализ научных работ, посвященных исследованию способов промывки фильтрующих полотен рыбозащитных устройств, существующих теоретических методов расчета параметров плоских турбулентных струй, формирующихся вблизи водонепроницаемого экрана.

Выводы:

1. Метод расчета параметров осесимметричной затопленной турбулентной струи, формирующейся вблизи фильтрующей поверхности (водонепроницаемого экрана), не найден.
2. Существующие теоретические методы расчета параметров плоских турбулентных струй, формирующихся вблизи водонепроницаемого экрана, а также ряд положения теории турбулентных струй и методов расчета струй в сносящем потоке могут быть использованы при разработке методики расчета осесимметричной струи, развивающейся вблизи фильтрующей поверхности.
3. В ортогональных координатах связанных с осью струи, параметры струи на участке свободного развития сопоставимы с параметрами обычной затопленной струи.
4. Характеристики затопленной осесимметричной струи на участке свободного ее развития вблизи фильтрующей поверхности (экрана) могут быть определены.
5. Профили скорости в поперечных сечениях свободных водообменных слоев струи можно считать подобными, для их описания возможно использование зависимости с уточненным показателем степени.

Результаты исследований могут представлять интерес при оборудовании водозаборов атомных электростанций специальными рыбозащитными сооружениями.

Ключевые слова: экология, атомные электростанции, рыбозащитные устройства, фильтрующие полотна, флейты, водозаборные сооружения, способы промывки, осесимметричные струи, газонасыщение струи.

Поступила в редакцию 10.03.2016 г.

В настоящее время все более актуальными становятся вопросы обеспечения промышленной и экологической безопасности атомных электростанций, связанные с

возникновением нештатных ситуаций вследствие уменьшения объема технической воды, необходимой для охлаждения оборудования (реактора) атомной электростанции или ее интенсивного загрязнения. Если снижение количества поступающей воды в большей степени связано с уменьшением фильтрационной способности водозаборных устройств, то ухудшение ее качества возникает вследствие загрязнения биологическими организмами. Основным экологическим аспектом нарушения биологического равновесия в окружающей среде является сокращение популяции рыб ценных пород в природных водоемах-охладителях вследствие их массовой гибели в подводящих и отводящих каналах атомных электростанций. [1]

Отсутствие нормативной документации в строительстве препятствует оборудованию водозаборов АЭС на водных объектах специальными рыбозащитными сооружениями. В связи с этим наиболее значимым становится применение специализированного оборудования. В данной работе рассматриваются возможные варианты использования в качестве РЗУ с промывающими рыбозащитными полотнами (флейтами), которые обладают более высокой берегающей способностью молоди рыб и менее трудозатратными в обслуживании. [2]

Впервые принципы рыбозащиты были описаны в семидесятые годы в монографии Д.С. Павлова, А.М. Пахорукова «Биологические основы защиты рыб от попадания в водозаборные сооружения», однако разработанные рекомендации по охране мигрирующей и туводной молоди рыб не приемлемы для водозаборных сооружений АЭС. В настоящее время широкое распространение нашли рыбозащитные устройства РЗУ с фильтрующими элементами, которые являются непреодолимым препятствием для молоди рыб. Обзор таких конструкций РЗУ представлен в работах В.С. Лапшенкова (1989 г.), П.А. Михеева (1994 г.) и др.. [3]

Наиболее удобным и распространенным фильтрующим элементом является фильтрующее полотно (ФП), которое может быть выполнено в виде сетки или перфорированной поверхности. Опыт эксплуатации РЗУ, в состав которых входит в качестве рыбозаграждающего элемента ФП, позволяет выделить ряд причин, снижающих эффективность работы сооружения. К ним следует отнести:

- недостаточно эффективный способ очистки ФП;
- отсутствие надежного механизма отвода молоди рыб и мусора от внешней (напорной) стороны ФП;
- неоптимальные режим работы и характеристики промывного устройства;
- неравномерность промывки фильтрующих полотен.

В результате анализа механизма работы РЗУ можно выделить следующие основные способы промывки ФП:

- течением в водоеме;
- гидравлическими или водо-воздушными струями;
- различными механическими приспособлениями.

Если для промывки используется энергия движения воды в водоеме, то ФП, как правило, приводится в движение, либо предусматриваются специальные конструктивные элементы, обеспечивающие периодическое возникновение противотока через фильтрующее полотно (Михеев П.А. 1994 г.). В том случае, когда последнее неподвижно, промывки обычно осуществляется струйными ПУ (Шкура В.Н., Михеев П.А. 1996 г.). Как правило, промывка ФП осуществляется гидравлическими струями, направленными нормально к поверхности полотна или под некоторым углом с противоположной (безнапорной) стороны. Очищение полотна осуществляется за счет гидродинамического воздействия струи на мусор и молодь рыб. Получив импульс, частицы удаляются от ФП, преодолевая скорость течения в потоке. Для очистки больших площадей ФП используют многосопловые аппараты, которые

представляют собой отрезок трубы с отверстиями (соплами) вдоль длины, устроенными с определенным шагом и диаметром. Основным недостатком таких конструкций является наличие повторного оседания смытых частиц мусора и МР на ФП, если не осуществлена организация мусорорыбоотвода (МРО).

В работах Ефремкина Л.В., Чистякова А.А. 1988, 1989 гг., предлагается использовать ПУ с водо-воздушными струями (ВВС). Проведенные эксперименты убедительно свидетельствуют о преимуществе ВВС перед гидравлическими при промывке ФП. За счет эффекта дилатации пузырьки воздуха увлекают к поверхности водного потока смытые с поверхности ФП частицы мусора и МР, что в некоторых случаях упрощает процесс их отвода. Помимо этого, ВВС оказывают на рыб отпугивающие действия за счет звуковых и динамических колебаний.

К недостаткам этого устройства следует отнести:

- сложность конструкции струеформирующего насадка, требующая достаточной точности изготовления (например, нарушение соосности отверстий может привести к выходу из строя установки);

- для организации процесса мусорорыбоотвода требуются дополнительные мероприятия;

- газонасыщенность ВВС зависит от глубины погружения насадки, что определяет неравномерность газонасыщения струи в вертикальных многосопловых промывных устройствах.

К следующей группе РЗУ следует отнести устройства, ФП которых очищается гидравлическими осесимметричными струями, которые формируются вблизи внешней поверхности фильтрующего экрана. К таким устройствам относятся рыбозащитный оголовок с потокообразователем, разработанный Волгоградским отделом НИС Гидропроекта и усовершенствованная конструкция РОП-Ж, разработанная в отраслевой лаборатории НИМИ (Михеев П.А. 1994 г.).

Следует отметить, что данные конструкции, согласно исследованиям на водозаборах рек Волга и Дон, обеспечивают достаточно надежную промывку ФП, выполненного из перфорированного экрана, мусорорыбоотвода. Наряду с рыбоотводящими функциями, гидравлические струи являются составной частью механизма защиты МР оголовком. К недостаткам этих устройств следует отнести сравнительно малую пропускную способность.

Анализируя методы расчета затопленных турбулентных струй, формирующихся вблизи экрана, установили, что основными закономерностями изменения параметров, определяющих явления, считаются:

- геометрические границы, за пределами которых отсутствуют промывные качества струи;

- продольные и поперечные скорости течения внутри струи и в ее окрестности, которые характеризуются скоростью на динамической оси и их распределением в пределах границ струи, а также скоростями инжектируемых в струю вторичных течений, возникающих во внешней среде.

Струя, формирующаяся вблизи экрана, принадлежит к разряду сложных пространственных течений. Задача определения параметров такой струи в гидродинамической постановке фактически еще не решена. Искривление траектории струи происходит под действием перепада давления, которое возникает между областями потенциального движения среды, расположенными в свободной части пространства и в той части, которая ограничена экраном. Это явление связано с наличием потенциального течения вне струи, которая сопутствует распространению турбулентных струй. Наличие экрана приводит к увеличению линейного масштаба, характеризующего затухание струи. Это связано с тем, что распространение струи

вблизи экрана в определенной степени аналогично распространению двух струй, удаленных друг от друга на удвоенное значение высоты над экраном. При их слиянии получилась бы струя, эквивалентная струе, распространяющейся из сопла удвоенного размера. Но при распространении струи вблизи экрана не происходит удвоения характерного размера из-за потери импульса вследствие влияния пограничных слоев, работы сил давления и т.п. (Абрамович Г.Н. 1984 г.).

Помимо развития свободной струи вблизи экрана интерес представляет струя, формирующаяся при распространении ее над уступом. В случае осесимметричного течения такая картина возникает при распространении струи из двухконтурного соплового устройства, когда струя наружного контура имеет существенно большую скорость истечения, чем струя внутреннего контура. В этих случаях имеет место образование циркуляционной зоны и значительного разряжения. Наличие этого явления отличает рассматриваемое течение от предыдущего, где изучалось искривление траектории струи под действием слабого перепада давления при распространении свободной струи вблизи экрана.

Одной из основных задач является определение разряжения под струей на торце, знать которое необходимо для вычисления полного импульса струи. Расчет ведется для основного участка струи, параметры которой могут быть вычислены по значениям потоков импульса, расходу в струе и т.д. Для вычисления потока импульса необходимо, наряду с распределением скорости, знать распределение давления. Недостатком материалов, изложенных в указанных работах, является ограниченность данных о распределении давления в приторцевой зоне. Приведенный в названных работах теоретический анализ позволяет приближенно описать характеристики течения. Помимо этого, для адекватного согласия с экспериментом требуется вводить зависимость характеристик турбулентности от геометрических параметров течения.

Как показывают многочисленные опыты одним из основных свойств такой струи, является постоянство статического давления во всей области течения. Часть струи, в которой имеется потенциальное ядро, называется начальным участком. Скорость в потенциальном ядре остается постоянной. Как показывает опыт, ядро ограничено с боков практически прямыми линиями, отделяющими его от турбулентного струйного пограничного слоя. Участок струи, на котором течение приобретает такой же вид, как при истечении из линейного или точечного источника, называется основным участком. На переходном участке завершается формирование аффинных поперечных профилей скорости.

Дальнейшее изучение поведения струи способствует рассмотрению этого вопроса совместно с теорией турбулентности жидкости. Таких основных теорий существует две. Каждая из теорий базируется на той или иной гипотезе процесса турбулентного обмена и устанавливает связь между турбулентными касательными напряжениями и градиентом осредненной скорости. На основании этих теорий разработаны автомодельные решения, позволяющие получить результаты, близкие к опытным данным.

Особое значение имеют геометрические размеры струи и форма внешней ее поверхности для конкретных условий решаемой задачи, хотя такие исследователи, как Павловский В.А., Шкура В.Н., Михеев П.А., Абрамович Г.Н. и т.д., высказывают противоречивые суждения по данной проблеме. В работе Боровской В.П. осуществлена попытка расчета плоской турбулентной струи аналитическими методами, опираясь на полуэмпирическую теорию турбулентности Прандля или теорию пути перемешивания и теорию турбулентных струй.

Как уже отмечалось выше, турбулентная струя, распространяющаяся вблизи экрана, отклоняется в сторону экрана.

Некоторые уточнения и расчет основных параметров осесимметричной струи в сносящем потоке были осуществлены в работах Абрамович Г.Н., Гиршович Т.А. В них содержится решение для основного участка струи, вытекающей из бесконечно узкой щели под углом к безграничному потоку. В этих работах использовались следующие принципы:

- для течения в искривленной струе, в ортогональных координатах, связанных с ее осью, справедливы уравнения пограничного слоя теории турбулентных струй;
- граничные условия могут задаваться приближенно, и обтекание струи сносящим потоком может рассматриваться как обтекание криволинейной стенки.

В работах Гиршович Т.А. была сделана попытка учета разрежения за струей. Оно вводилось в решение как дополнительная эмпирическая постоянная. В результате согласования расчетной траектории струи с опытом улучшилось. Позже в работе (Абрамович Г.Н.) разрежение за струей в поперечном потоке определяется уже теоретически. Для этого использовались условия сохранения количества движения и поперечного равновесия на срезе сопла.

Некоторое уточнение характеристик плоской струи в рамках описанных выше методик было сделано в работах Бруяцкого Е.В., Купеса В.Б. и Ярина А.П. Следует отметить, что рассмотренные теоретические зависимости для расчета траектории струи преследуют цель, как правило, определить глубину проникновения струи в сносящий поток. Этим объясняется недостаточно корректное аппроксимирование нижней части струи на участке с отрывом.

Построенные траектории струй имеют вид плавно удаляющихся от боковой поверхности (экрана) кривых вниз по течению.

Согласование с экспериментальными данными оценивалось только на участке струи с наиболее сильным ее искривлением. Помимо этого, исследование концевой части затухающей струи связано с определенными трудностями из-за заметного ухудшения ее обзорности (Прудников А.Г., Сагалович В.Н.). Однако, это замечание в большей степени справедливо для поперечных струй. В этих случаях затухание струи может наступить непосредственно на участке с отрывом. С уменьшением угла наклона струи к основному потоку величина застойной области уменьшается (Гиршович Т.А.) и активная часть струи может выходить за пределы участка с отрывом. Очевидно, что при некотором малом угле сопряжения отрыв струи от экрана не будет происходить. Это подтверждается результатами исследований в работах (Боровской В.П.). Так для плановой плоской струи «налипание» струи к боковой стенке (экрану) наблюдалось при углах сопряжения меньше $1/10$ даже при отсутствии спутного течения. Очевидно, что для осесимметричной струи это значение угла будет меньше, так как погашение разрежения вблизи экрана будет более интенсивным за счет подтекания жидкости из внешней среды, в обход тела струи, в область с пониженным давлением.

Выполненный обзор и анализ научных работ по данной теме позволяет сделать следующие выводы:

- метод расчета параметров осесимметричной затопленной турбулентной струи, формирующейся вблизи фильтрующей поверхности (водопроницаемого экрана), не найден;
- существующие теоретические методы расчета параметров плоских турбулентных струй, формирующихся вблизи водонепроницаемого экрана, а также ряд положения теории турбулентных струй и методов расчета струй в сносящем потоке могут быть использованы при разработке методики расчета осесимметричной струи, развивающейся вблизи фильтрующей поверхности;
- в ортогональных координатах связанных с осью струи, параметры струи на участке свободного развития сопоставимы с параметрами обычной затопленной струи;

- характеристики затопленной осесимметричной струи на участке свободного ее развития вблизи фильтрующей поверхности (экрана) могут быть определены;
- профили скорости в поперечных сечениях свободных водообменных слоев струи можно считать подобными, для их описания возможно использование зависимости с уточненным показателем степени.

Все это приводит нас к заключению, что:

Промывное устройство РЗУ является одним из наиболее важных элементов РЗУ, посредством которого обеспечивается промывка фильтрующего элемента с последующей организацией мусорорыбоотвода за пределы зоны влияния устройства.

Несмотря на большое количество построенных РЗУ, вопросы рациональной организации промывки ФП изучены недостаточно. В частности, отсутствуют рекомендации по проектированию устройств, обеспечивающих промывку ФП с его внешней (напорной) стороны, которые являются наиболее удобными для организации управления процессом мусорорыбоотвода.

Для повышения эффективности промывки ФП в конкретных случаях целесообразно использовать промывное устройство с водовоздушными струями.

Имеющиеся в настоящее время методики построения объемного поля скоростей для затопленной струи, формирующейся вблизи экрана, не позволяют с достаточной степенью точности определить геометрические и скоростные характеристики осесимметричной струи, распространяющейся вблизи водопроницаемого экрана (ФП).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бахарев, С.А.* Обеспечение промышленной и экологической безопасности объектов энергетического комплекса [Текст] / С.А. Бахарев. – Германия: Изд-во "LAP LAMBERT Academic Publishing", 2012. – 375 с.
2. Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения: СНИП 2.06.07-87 СП 101.13330.2012. / [Текст]. – М.: Стройиздат, 2012.
3. *Павлов, Д.С. и др.* Биологические основы защиты рыб от попадания в водозаборные сооружения [Текст] / Д.С. Павлов, А.М. Пахорук. – М.: Издательство «Пищевая промышленность», 1973. – 208 с.
4. О животном мире: Федеральный закон от 24.04.1995 №52-ФЗ (ред. от 13.07.2015) (с изменениями на 15 июля 2015 года) Статья 22. / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_6542/ – 10.03.2016.
5. *Орлова, З.П.* Рыбохозяйственная гидротехника [Текст] / З. П. Орлова. – М., 1988. – 279 с.
6. *Малеванчик, Б.С. и др.* Рыбопропускные и рыбозащитные сооружения [Текст] / Б.С. Малеванчик, И.В. Никоноров. – М., 1984. – 150 с.

REFERENCES

- [1] Bakharev S.A. Obespechenie promyshlennoy i ekologicheskoy bezopasnosti ob'ektov energeticheskogo kompleksa [Providing industrial and environmental safety of the energy complex]. Germaniya [Germany]: Pub. "LAP LAMBERT Academic Publishing", 2012, 375 p. (in Russian)
- [2] Podpornye steny, sudokhodnye shlyuzy, rybopropusknye i rybozashchitnye sooruzheniya: SNiP 2.06.07-87 SP 101.13330.2012 [Retaining walls, navigation locks, fish-and fish protection facilities: SN 2.06.07-87 JV 101.13330.2012.]. M. Pub. Stroyizdat [Stroyizdat], 2012. (in Russian)
- [3] Pavlov D.S., Pakhorukov A.M. Biologicheskie osnovy zashchity ryb ot popadaniya v vodozabornye sooruzheniya [Biological basis of protecting the fish from falling into the water intake facilities]. M. Pub. «Pishchevaya promyshlennost» ["Food processing industry"], 1973, 208 p. (in Russian)
- [4] O zhivotnom mire: Federalnyy zakon ot 24.04.1995 №52-FZ (red. ot 13.07.2015) (s izmeneniyami na 15 iyulya 2015 goda) Statya 22. [Animal world: the Federal law from 24.04.1995 №52-FZ (amended on 13.07.2015.) (amended July 15, 2015) Article 22]. 2015. Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_6542/ (in Russian)
- [5] Orlova Z.P. Rybokhozyaystvennaya gidrotekhnika [Fishery hydro equipment]. M. 1988. 279 p. (in Russian)

[6] Malevanchik B.S., Nikonorov I.V. Rybopropusknye i rybozashchitnye sooruzheniya [Fish ladders and fish protection facilities]. М. 1984. 150 p. (in Russian)

The Analysis of Existing Methods for Washing the Filter Cloths of the Fish Protection Devices, Designed to Ensure Industrial and Environmental Safety of Nuclear Power Plants

V.G. Tkachev, L.V. Postoj

*Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University «MEPhI»,
73/94 Lenin St., Volgodonsk, Rostov region, Russia 347360
* e-mail: VGTkachev@mephi.ru ; ** e-mail: LVPostoj@mephi.ru*

Abstract – One of the aspects of ensuring industrial and environmental safety of nuclear power plants is the prevention of reduction of volume of industrial water supplied for cooling of equipment or exceeding the concentration of pollutants. Reducing the amount of incoming water can be caused by a decrease in the filtration capacity of the intake device, the quality degradation occurs as a result of contamination by biological organisms (clogging algae, remains of fish). At present, widely found FPS fish protection device with filter elements, which are an insurmountable obstacle for young fish and prevent it from entering the cooling system.

The article analyzes the scientific papers on the study of ways to wash the filter cloths of fish protection devices, the existing theoretical methods for calculating the parameters of plane turbulent jets formed near the waterproof screen.

Conclusions:

1. Method of parameter calculation of submerged turbulent axisymmetric jets formed near the filter surface (permeable screen) was not found.
2. Existing theoretical methods of parameter calculation of planar turbulent jets, emerging close to waterproof screen, and some of the theory of turbulent jets and methods for calculating jets in a drifting thread can be used in the development of methods of calculation of axisymmetric jet developing near the filter surface.
3. Jet parameters in the free development of the site are comparable with the parameters of a conventional submerged jet in the orthogonal coordinates associated with the jet axis.
4. Characteristics of a submerged axisymmetric jet on the site free of development near the filtering surface (screen) can be determined.
5. Velocity profiles in cross sections of free jet water-exchange layers can be similar, dependence with the refined exponent can be used for their description.

The research results can be important in the equipment of nuclear power plant intakes with special fish protection structures.

Keywords: ecology, nuclear power plant, fish protection device, filter cloth, flutes, intake structures, methods of washing, axisymmetric jet, gassing jets.