ГИДРАВЛИКА. ИНЖЕНЕРНАЯ ГИДРОЛОГИЯ. ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

УДК 627.8

В.В. Волшаник, Г.В. Орехов

ФГБОУ ВПО «МГСУ»

ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ ЗАКРУЧЕННЫХ ПОТОКОВ ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ

Показаны основные гидродинамические свойства взаимодействующих закрученных потоков жидкостей и газов. Перечислены обусловленные ими опыт и перспективы применения применительно к различным отраслям промышленности, строительства и инженерной экологии.

Ключевые слова: взаимодействующие закрученные потоки, жидкости, газы, гидравлические характеристики, турбулентность, вихри, кавитация, давление потока, диссипация энергии потока.

В технологических процессах, используемых в различных технических устройствах и установках, широкое применение нашли закрученные потоки жидкости и газа. Такое распространение связано с целым рядом важных свойств, которыми обладают такие течения по сравнению с обычными осевыми потоками. Закрученные потоки используются в технологических процессах, обеспечивающих распыливание жидкого топлива, перемешивания и диспергирования жидкостей, формирования аэрозолей, формирования факела пламени, классификации дисперсных материалов и их сушки, обезвоживания, деаэрации. Интенсивный тепло- и массообмен, происходящий в закрученных потоках, и повышенная турбулентность течения используются для охлаждения и нагревания, дистилляции и очистки (ректификации рабочих жидкостей), пыле- и золоулавливания, генерирования пара, разделения суспензий, абсорбции материалов, сепарации материалов, возбуждения механических колебаний и формирования звукового сигнала, транспорта материалов и достижения многих других технологических целей. Сооружения, установки и аппараты, работа которых основана на использовании эффектов закрученных потоков, получили название вихревых устройств.

Изучением закрученных потоков занимались исследователи многих стран. Работы, посвященные изучению различных характеристик и особенностей закрученных потоков, начали появляться более ста лет назад. На основе глубоких и обширных исследований стали создаваться вихревые устройства, позволяющие многократно интенсифицировать процессы энерго-, массо- и теплообмена и разделения сред в теплотехнике, теплоэнергетике, двигателестроении, гидромашиностроении, гидротехнике, транспорте материалов, химической, пищевой, космической промышленности, сельскохозяйственном производстве, холодильной и вакуумной технике, производстве строительных материалов, авиастроении и машиностроении и многих других отраслях про-

мышленности. Отечественными исследователями, наряду с разработками в других областях, проводились многочисленные эксперименты с закрученными потоками в области инженерной гидравлики для применения их в гидротехнике, гидромелиорации, гидромашиностроении, гидротранспорте. Одним из наиболее интересных направлений в изучении поведения закрученных потоков явились исследования характеристик взаимодействующих закрученных потоков жидкости и газа.

Предложения об использовании взаимодействующих потоков были вызваны требованиями практики. Это, прежде всего, гашение энергии потоков высоконапорных гидротехнических систем, перемешивание двухфазных потоков, состоящих из жидкостей и газов. В основу способа гашения энергии с помощью взаимодействия потоков (струй) положена идея разделения потока на части и создания условий для взаимного гашения энергии отдельных частей при последующем их соединении. Как известно, поток воды при движении от верхнего бьефа в нижний может гасить свою энергию, выполняя полезную работу на установленных в поток устройствах, отбирающих эту энергию, например, гидротурбинах. Либо преодолевая реактивные силы, которые возникают при прохождении потока через различные сооружения — гасители. Энергия одной части потока во взаимодействии с энергией другой части используется для создания сил, эквивалентных реактивным силам, развиваемым гасителями. Такое взаимодействие может дать максимальный эффект гашения первоначальной энергии в условиях рациональной разбивки потока на части и создания соответствующих направлений движения этих частей по отношению друг к другу.

Принцип соударения струй лег в основу струйного затвора И.Е. Михайлова, включающего камеру смещения, в которую выходят соосно сопла двух противоположно направленных подводящих водоводов. Основными недостатками такой конструкции, при весьма высокой интенсивности диссипации энергии, достигающей до 99 %, являются тяжелые кавитационные условия работы сопел и камеры гашения. Способы гашения энергии, основанные на взаимодействии встречных потоков, не нашли применения из-за высокого уровня пульсационных нагрузок и нестационарности течения. Одним из путей улучшения условий диссипации энергии является увеличение числа взаимодействующих потоков. Но этот путь не представляется реальным, так как сильно усложнит конструкцию.

В цилиндрической камере контрвихревых устройств (рис. 1), исследованию которых посвящены работы авторов, формируются коаксиальные течения двух или более противоположно закрученных потоков жидкости или газа, взаимодействие которых позволяет преобразовать в энергию избыточной турбулентности практически всю исходную механическую энергию взаимодействующих потоков.

В начальном створе камеры при соединении коаксиальных противоположно закрученных потоков создается высокий градиент окружной скорости по радиусу, практически стремящийся к бесконечности в сдвиговом слое на границе макровихрей. Это приводит к появлению здесь вторичных вихрей, которые, в свою очередь, генерируют вихри следующего порядка малости и т.д. Образование вторичных вихрей на границе коаксиальных закрученных пото-

ков и дальнейший их распад происходят весьма интенсивно — длина участка распада равна 1,5...3 диаметрам камеры. Таким образом, энергия переходит от начального течения коаксиальных закрученных потоков через вихревые течения все более мелкого турбулентного масштаба до масштаба действия сил вязкости. Проявления контрвихревого эффекта не зависят от внешних условий, поскольку определяются полем массовых центробежных сил, формируемых самими закрученными потоками.

Рис. 1. Схема контрвихревой установки с двумя коаксиально расположенными и противоположно закрученными потоками: 1 — подводящий напорный трубопровод; 2 — регулирующие задвижки; 3 — завихритель внутреннего коаксиально расположенного потока (сечение I—I); 4 — завихритель наружного коаксиально расположенного потока (сечение II—II); 5 — камера взаимодействия двух потоков (сечение III—III), где формируется течение с повышенным уровнем турбулентности; 6 — отводящий тракт; V — осевая скорость потока

Характер и интенсивность гидро- и аэродинамических процессов, происходящих в контрвихревых устройствах, обеспечивают эффективность их применения в самых разнообразных отраслях современной техники для перемешивания однофазных и разнофазных сред, гашения избыточной механической энергии потока жидкости и газа [1—13], дезинтеграции конгломератов, создания гомогенных систем, возбуждения механических колебаний и получения других эффектов (табл.).

Реализованные и перспективные устройства на основе коаксиальных взаимодействующих противоположно закрученных потоков жидкости и газа, обеспечивающие интенсификацию процессов массо- и теплообмена, дезинтеграции

Устройства	Отрасль техники	Степень реализации и разработки
1. Устройства, использующие искусственную турбулентность для диссипации энергии потока — гасители		
1.1. Гасители энергии высокоскоростных потоков воды	Гидротехника, водоснабжение	Проектные предложения для семи гидроэлектростанций в странах бывшего СССР, модельные испытания; масштабные серии; крупномасштабные модели; авторские свидетельства, патент [14—22]; публикации; диссертации; доклады на конференциях
1.2. Гасители энергии высокоскоростного потока нефти (редукторы)	Нефтедобыча; трубопроводный транспорт нефти	Принципиальные схемы
1.3. Гидрогасители	Авиационное и космическое двигателестроение	Принципиальные схемы; проектное предложение
1.4. Устройства для аварийного выпуска пара, газа	Теплоэнергетика; трубопроводный транспорт природного газа	Принципиальные схемы
1.5. Регуляторы давления	Пневмоавтоматика, пневмоника	Принципиальные схемы
1.6. Гасители энергии скоростного потока газа	Двигателестроение (глушители); самолетостроение (ранцевый двигатель; крыло летательного аппарата на воздушной подушке)	Принципиальные схемы, авторское свидетельство [23]
2. Устройства, использующие искусственную турбулентность для перемешивания однофазных сред — смесители		
2.1. Смесители	Химическая, пищевая, парфюмерная промышленность; промышленность строительных материалов	Принципиальные схемы, модельные исследования, патент [24]
3. Устройства, использующие искусственную турбулентность для перемешивания разнофазных сред		
3.1. Аэраторы	Ферментеры микробиологических технологий; инженерная гидроэкология; рыборазводное хозяйство; биологические очистные сооружения; бытовая техника (насадки на водопроводные краны); установки водоподготовки	Опытно-промышленные демонстрационные образцы; рабочие проекты; рабочие и натурные испытания; реализованные промышленные объекты; модельные и натурные испытания; авторские свидетельства [25, 26]; публикации; диссертации; доклады на конференциях

Окончание табл.

Устройства	Отрасль техники	Степень реализации и разработки
3.2. Флотаторы	Химическая технология	Реализованное промышленное устройство на предприятии искусственного волокна «Сиболокно»
3.3. Гомогенизаторы	Насосостроение; насосное перекачивание газонасыщенные жидкостей	Модельные испытания
3.4. Эмульгаторы, ингаляторы	Химическая технология; медицинское приборостроение; системы жизнеобеспечения	Принципиальные схемы
3.5. Пенообразователи	Производство строительных материалов	Принципиальные схемы
3.6. Форсунки; жиклеры карбюраторов; реактивные двигатели	Двигателестроение	Авторские свидетельства [27, 28]; принципиальные схемы
4. Устройства, использующие искусственную турбулентность для интенсификации теплообмена		
4.1. Теплообменники	Энергетика; охлаждение и нагревание рабочих жидкостей; отопление	Принципиальные схемы
4.2. Градирни	Теплоэнергетика	Авторские свидетельства [29, 30]
4.3. Нагреватели	Машиностроение; двигателестроение (свечи зажигания); теплотехника; бытовая техника (зажигалки)	Принципиальные схемы
5. Устройства, использующие искусственную турбулентность для дезинтеграции конгломератов, возбуждения механических колебаний и кавитации		
5.1. Дезинтеграторы	Горнодобывающая промышленность; промышленность строительных материалов	Эскизные проекты
5.2. Кавитаторы	Целлюлозно-бумажная промышленность	Принципиальные схемы
5.3. Вибраторы	Металлургия; строительные технологии	Принципиальные схемы

Наиболее привлекательным представляется использование контрвихревых устройств в авиационном и космическом двигателестроении, микробиологической промышленности и биосинтезе (в т.ч. в условиях невесомости), инженерной гидроэкологии [31—43], теплотехнике, теплоэнергетике, трубопроводном транспорте нефти и газа, химической и парфюмерной промышленности, гидротехнике, водоснабжении и канализации, пресноводном и морском рыбозаведении и других отраслях современной техники.

Авторы по роду своей деятельности основное внимание уделили разработке, исследованиям и созданию конструкций контрвихревых гасителей энергии водосбросов высоконапорных гидроузлов и контрвихревых аэраторов [44—58] различного назначения. Контрвихревые устройства другого назначения были испытаны (гомогенизаторы, флотаторы) и защищены патентами или для них предложены принципиальные схемы.

Разработанный метод расчета геометрической формы проточной полости контрвихревых устройств основывается на результатах многочисленных экспериментальных модельных и натурных исследований, на усовершенствованном авторами ранее общем методе расчета завихрителей и на условии полного взаимного гашения энергии циркуляции в цилиндрической камере при взаимодействии потоков [59—73]. Результаты испытаний опытных и промышленных контрвихревых устройств подтвердили адекватность разработанного метода расчета, что позволяет рекомендовать его для широкого применения в различных отраслях техники.

В процессе многолетних научных исследований контрвихревых устройств авторами уделялось основное внимание изучению следующих фундаментальных проблем:

влиянию конструкций, напора и условий выхода на интегральные показатели работы устройств (пропускную способность, эффективность гашения энергии, эжекцию воздуха и т.д.);

особенностям моделирования процессов и явлений на разных участках течения и контрвихревых устройств в целом;

особенности каскадного процесса преобразования энергии; турбулентным, динамическим, кавитационным и другим локальным характеристикам потока;

определению статических и динамических нагрузок на конструкции контрвихревых устройств со стороны протекающих потоков.

Авторами на базе фундаментальных теоретических и экспериментальных исследований и опытно-конструкторских разработок созданы эффективные контрвихревые устройства, успешно эксплуатируемые в различных отраслях народного хозяйства в течение последних 35 лет. В настоящее время продолжают работы по исследованиям контрвихревых устройств, совершенствованию методов их расчета, созданию новых конструкций и пропаганде эффективности применения таких устройств в различных отраслях техники. Так, например, продвигаются работы по изучению особенностей контрвихревых течений с количеством потоков, более двух с осевыми лопаточными системами закрутки потоков.

Учитывая обзорный характер статьи, авторы приводят обширный библиографический список своих работ, в которых отражены исследования описанного выше эффекта взаимодействия коаксиальных противоположно закрученных потоков применительно к различным отраслевым задачам.

Библиографический список

1. Волианик В.В., Зуйков А.Л., Елисеев Н.А., Коновалов Е.С., Кривченко Г.И., Леванов А.В., Мордасов А.П., Правдивец Ю.П. Режимы работы крупномасштабной модели контрвихревого гасителя // Методы исследований и гидравлических расчетов

водосбросных гидротехнических сооружений : материалы конф. и совещ. по гидротехнике. Л. : Энергоатомиздат, 1985. С. 154—157.

2. *Волишаник В.В., Зуйков А.Л., Мордасов А.П., Кривченко Г.И.* Закрученные потоки в гидротехнических сооружениях. СПб. : Энергоатомиздат, 1990. 280 с.

3. *Волишаник В.В., Мордасов А.П., Зуйков А.Л.* Проекты использования закрученных потоков в высоконапорных водосбросах // Гидротехника и мелиорация. 1983. № 8. С. 3—7.

4. *Волишаник В.В., Зуйков А.Л., Орехов Г.В., Чурин П.С.* Пропуск холостых расходов через турбинный блок средне- или высоконапорной ГЭС. Ч. 1. // Гидротехническое строительство. 2013. № 4. С. 51—56.

5. *Зуйков А.П., Волишаник В.В., Мордасов А.П.* Применение контрвихревых устройств для гашения энергии высокоскоростных потоков воды и аэрации жидкостей // Тр. I науч. конф. Политехнического института. Брно, Чехословакия. 1989. Т. 16. С. 90—94.

6. *Зуйков А.Л., Кривченко Г.И., Мордасов А.П.* Высоконапорные водосбросные системы с вихревыми и контрвихревыми устройствами и практика гидротехнического строительства // Развитие гидроэнергетики СССР в XII пятилетке : тр. Всесоюз. науч.-техн. совещ., г. Саяногорск, 1988.

7. *Зуйков А.Л., Чепайкин Г.А.* Исследования модели высоконапорного глубинного водосброса со взаимодействием концентрических закрученных потоков // Гидротехническое строительство. 1986. № 12. С. 29—33.

8. *Карелин В.Я., Кривченко Г.И., Волишаник В.В., Мордасов А.П., Зуйков А.Л.* Использование закрученных потоков для защиты от кавитации в высоконапорных водосбросных системах // Тр. Междунар. симпоз. по кавитации. Сендай, Япония. 1986. С. 287—291.

9. *Кривченко Г.И., Мордасов А.П., Квятковская Е.В., Волишаник В.В., Зуйков А.Л.* Высоконапорная водосбросная система с контрвихревым гасителем энергии потока воды // Гидротехническое строительство. 1981. № 10. С. 29—31.

10. *Кривченко Г.И., Квятковская Е.В., Мордасов А.П., Волишаник В.В., Зуйков А.Л.* Высоконапорные водосбросные системы с контрвихревыми гасителями энергии потока // Тез. докл. IV науч.-техн. совещ. Гидропроекта. М., 1982. С. 41—42.

11. *Кривченко Г.И., Квятковская Е.В., Мордасов А.П., Волишаник В.В., Зуйков А.Л.* Шахтный вихревой водосброс с контрвихревым гасителем для высоконапорных гидроузлов // Тр. Мос. инж.-строит. инст. М. : МИСИ, 1983. Вып. 189. С. 151—157.

12. *Кривченко Г.И., Мордасов А.П., Квятковская Е.В., Волишаник В.В., Зуйков А.Л., Леванов А.В.* Гасители энергии высоконапорных водосбросных сооружений, основанные на взаимодействии соосных закрученных потоков // Тр. XX Конгр. Междунар. асс. по гидравлическим исследованиям. Москва, 1983. Т. 7. С. 464—467.

13. *Слисский С.М., Мордасов А.П., Правдивец Ю.П., Лактионова Э.А., Кузнецова Е.В., Наймарк Л.И.* Гидравлические исследования контрвихревого гасителя // Энергетическое строительство. 1984. № 10. С. 47—49.

14. А. с. на изобретение СССР № 812876, МКИ E02B8/06. Способ гашения энергии потока / Г.И. Кривченко, Е.В. Квятковская, В.В. Волишаник, А.Л. Зуйков. Заявка № 2754985/29-15 ; заявл. 20.04.1979 ; опубл. 15.03.1981. Бюл. № 10. С. 111—112.

15. А. с. на изобретение СССР № 812877, МКИ E02B8/06. Водосбросное устройство / Г.И. Кривченко, Е.В. Квятковская, А.П. Мордасов, В.В. Волишаник, А.Л. Зуйков. Заявка № 2766983/29-15 ; заявл. 17.05.1979 ; опубл. 15.03.1981. Бюл. № 10. С. 112.

16. А. с. на изобретение СССР № 819254, МКИ E02B8/06. Водосбросное устройство / А.П. Мордасов, Б.А. Животовский. Заявка № 2783220/29-15 ; заявл. 20.06.1979 ; опубл. 07.04.1981. Бюл. № 13. С. 119.

17. А. с. на изобретение СССР № 874853, МКИ E02B8/06. Гаситель энергии потока воды / Г.И. Кривченко, В.Л. Куперман, Е.В. Квятковская, А.П. Мордасов, В.В. Волшаник, А.Л. Зуйков. Заявка № 2924103/29-15 ; заявл. 23.10.1980 ; опубл. 29.05.1981. Бюл. № 39. С. 161.

18. А. с. на изобретение СССР № 920099, МКИ E02B8/06. Водосбросное устройство / Г.И. Кривченко, Е.В. Квятковская, А.П. Мордасов, В.В. Волшаник, А.Л. Зуйков. Заявка № 2787006/29-15 ; заявл. 29.06.1979 ; опубл. 15.04.1982. Бюл. № 14. С. 91.

19. А. с. на изобретение СССР № 924233, МКИ E02B8/06. Водосбросное устройство и его вариант / А.П. Мордасов, В.В. Волшаник, А.Л. Зуйков. Заявка № 3226699 ; заявл. 30.12.1980 ; опубл. 30.04.1982. Бюл. № 16. С. 140.

20. А. с. на изобретение СССР № 1010184, МПК E02B8/06. Способ гашения энергии потока / Г.А. Чепайкин, И.С. Редченко, А.Л. Зуйков. Заявка № 3217678/29-15 ; заявл. 19.11.1980 ; опубл. 07.04.1983. Бюл. № 13. С. 179.

21. А. с. на изобретение СССР № 1233548, МПК A01K63/04. Гаситель энергии потока глубинного водосброса / Г.И. Кривченко, С.М. Слисский, А.П. Мордасов, Ю.П. Правдивец, Е.В. Квятковская, В.В. Волшаник, А.Л. Зуйков, А.В. Леванов. Заявка № 3641463; заявл. 14.09.1983 ; опубл. 30.05.1989. Бюл. № 20.

22. Пат. № 2483158 РФ, МПК B02B8/06. Вихревой водосброс / В.В. Волшаник, А.Л. Зуйков, Г.В. Орехов, П.С. Чурин ; патентообладатель ФГБОУ ВПО «МГСУ». Заявка № 2011140562/13 ; заявл. 06.10.2011 ; опубл. 27.05.2013. Бюл. № 15. 11 с.

23. А. с. на изобретение СССР № 1073489, МПК F01N1/06. Глушитель шума газового потока / А.П. Мордасов, В.В. Волшаник, А.Л. Зуйков, А.В. Леванов. Заявка № 3504045/25-06 ; заявл. 26.10.1982 ; опубл. 15.02.1984. Бюл. № 6. 118 с.

24. Пат. № 2206378 РФ, МПК B0F5/04. Универсальный смеситель / В.В. Волшаник, А.Л. Зуйков, М.Г. Скаткин. Заявка № 2001130700/12 ; заявл. 14.11.2001 ; опубл. 20.06.2003. Бюл. № 17. С. 620.

25. А. с. на изобретение СССР № 856415, МПК A01K63/04. Устройство для аэрации воды в рыбоводных водоемах / А.П. Мордасов, В.В. Волшаник, А.Л. Зуйков. Заявка № 2840145 ; заявл. 11.11.1979 ; опубл. 23.08.1981. Бюл. № 31. 5 с.

26. А. с. на изобретение СССР № 1143076, МПК A01K63/04. Аппарат для выращивания микроорганизмов (и его варианты) / В.В. Волшаник, А.П. Мордасов, С.В. Кан, Г.И. Мещанкин, В.Г. Попов, А.Н. Григорян, Б.А. Литманс, Т.И. Краснолуцкая, Ю.А. Горкин, Ю.И. Юрьевич. Заявка № 3628255 ; заявл. 22.07.83.

27. А. с. на изобретение СССР № 963362, МКИ E02B8/06. Двухкомпонентная форсунка / А.П. Мордасов, В.В. Волшаник, А.Л. Зуйков. № 3226249 ; заявл. 30.12.80.

28. А. с. на изобретение СССР № 1083684, МПК A01K63/04. Реактивный двигатель / А.П. Мордасов, В.В. Волшаник, А.Л. Зуйков, А.В. Леванов. Заявка № 3504044 ; заявл. 26.10.82.

29. А. с. на изобретение СССР № 1188498, МПК F28C1/00. Градирня / А.П. Мордасов, В.В. Волшаник, А.Л. Зуйков, А.В. Леванов. Заявка № 3552449/24-06 ; заявл. 09.02.1983 ; опубл. 30.10.1985. Бюл. № 40. С. 147.

30. А. с. на изобретение СССР № 1467350, МПК F28C1/00. Градирня / А.П. Мордасов, В.В. Волшаник, А.Л. Зуйков, А.В. Леванов, Н.А. Ходанков. № 4288989 ; заявл. 22.07.1987; опубл. 23.03.1989. Бюл. № 11. С. 27.

31. Богданов В.М., Боровков В.С., Волшаник В.В. Очистка большого пруда московского зоопарка системой замкнутого водооборота и струйно-вихревой аэрации // Чистый город. 2000. № 1. С. 42—48.

32. Бойкова И.Г., Волшаник В.В., Карпова Н.Б., Печников В.Г., Пупырев Е.И. Эксплуатация, реконструкция и охрана водных объектов в городе. М. : Изд-во АСВ, 2008. 256 с.

33. Боровков В.С., Волишаник В.В. Комплексные технологии реконструкции городских водных объектов (Часть 1) // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2003. № 8 (55). С. 44—45.
34. Боровков В.С., Волишаник В.В., Карелин В.Я., Пупырев Е.И., Баяраа У. Системы поддержания качества воды в городских водных объектах // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2005. № 5 (76). С. 62—66.
35. Боровков В.С., Волишаник В.В., Орехов Г.В. Инженерная система поддержания качества воды в городских водных объектах // Экология и жизнь : материалы Междунар. науч.-практ. конф. Пенза, 1999. С. 109—112.
36. Боровков В.С., Волишаник В.В., Орехов Г.В. Оборудование и высокоэффективные технологии восстановления и эксплуатации городских водных объектов // Передовые технологии на пороге XXI века : тр. Междунар. конф., 5—9 октября 1998 г. М., 1998.
37. Боровков В.С., Волишаник В.В., Орехов Г.В. Технологии поддержания самоочищающей способности воды в городских водных объектах // Инженерная защита окружающей среды : тез. докл. Междунар. конф. Москва, 1999. С. 65—67.
38. Волишаник В.В., Орехов Г.В. Дефицит растворенного кислорода в водоемах на селитебных территориях и системы искусственной аэрации и замкнутого водооборота // Вестник МГСУ. 2008. № 1. С. 243—246.
39. Гидравлические расчеты водосбросных гидротехнических сооружений : справочное пособие. М. : Энергоатомиздат, 1988. С. 233—248.
40. Зуйков А.Л. Гидродинамика циркуляционных течений. М. : Изд-во АСВ, 2010. 216 с.
41. Орехов Г.В. Водные объекты на урбанизированных территориях и инженерные системы аэрации и замкнутого водооборота // Экология урбанизированных территорий. 2008. № 2. С. 88—93.
42. Орехов Г.В. Гидромеханический способ улучшения качества воды в водных объектах // Вестник МГСУ. 2008. № 4. С. 175—180.
43. Боровков В.С., Волишаник В.В., Орехов Г.В. Опыт классификации городских водных объектов по генетическим и инженерно-экологическим признакам // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2004. № 4 (63). С. 62—65.
44. Ахмедов В.К., Волишаник В.В. Расчет течений с возвратными зонами в камере отстойника. 1996. № 5. С. 29—31.
45. Боровков В.С., Волишаник В.В., Галант М.А., Доркина И.В., Карелин В.Я. Инженерная система поддержания качества воды прудов Лефортовского парка // Вестник Отделения строительных наук Российской академии архитектуры и строительных наук. 2001. № 4. С. 28—38.
46. Боровков В.С., Волишаник В.В., Орехов Г.В. Инженерные системы водооборота и аэрации для очистки воды в городских водных объектах // Экология урбанизированных территорий. 2010. № 2. С. 21—31.
47. Боровков В.С., Волишаник В.В., Орехов Г.В. Инженерные системы замкнутого водооборота для интенсификации процессов самоочищения воды в городских водных объектах // Инженерная защита окружающей среды: Очистка вод. Утилизация отходов / под ред. Ю.А. Бирма, Н.Г. Вурдова. М. : Изд-во АСВ, 2002. С. 74—91.
48. Волишаник В.В., Анискин Н.Н. Об использовании активных гидродинамических режимов при искусственной аэрации сточных вод // Создание и внедрение современных аппаратов с активными гидродинамическими режимами для текстильной промышленности и производства химических волокон : тез. докл. Всесоюз. конф. (14—16 ноября 1989 г.). М., 1989. С. 147—148.
49. Волишаник В.В., Зуйков А.Л., Карелин В.Я., Орехов Г.В. Вихревые аэраторы — принцип действия и конструкции // Сб. науч. тр. МГСУ. М. : МГСУ, 2001. С. 95—101.

50. Волишаник В.В., Зуйков А.Л., Орехов Г.В., Баяраа У. Особенности рабочего процесса контрвихревых аэраторов и задачи их гидравлических исследований // Экология урбанизированных территорий. 2013. № 2. С. 74—80.
51. Волишаник В.В., Зуйков А.Л., Орехов Г.В., Баяраа У. Расход воды и эжекция воздуха в контрвихревом аэраторе // Экология урбанизированных территорий. 2014. № 2. С. 33—40.
52. Волишаник В.В., Зуйков А.Л., Орехов Г.В., Баяраа У. Течение в камере смешения контрвихревого аэратора // Экология урбанизированных территорий. 2015. № 1. С. 23—28.
53. Волишаник В.В., Зуйков А.Л., Орехов Г.В., Свитайло В.Д., Скоткин М.Г. Использование вихревых аэраторов для интенсификации процессов очистки природных вод // Инженерная защита окружающей среды. Очистка вод. Утилизация отходов / под общ. ред. Ю.А. Бирмана, Н.Г. Вурдовой. М. : Изд-во АСВ, 2002. С. 97—106.
54. Волишаник В.В., Мордасов А.П., Ахметов В.К. Экологическая эффективность применения струйно-вихревых аэраторов по результатам модельных и натурных испытаний // Физическое и математическое моделирование гидравлических процессов : тез. науч.-техн. совещ., г. Дивногорск, 1989. С. 62—63.
55. Волишаник В.В., Мордасов А.П., Иванова Т.А., Кротова А.В., Савина М.М. Гидравлический расчет контрвихревых аэраторов и задачи стандартизации их конструкций // Тр. XI Междунар. науч. симпоз. студентов, молодых науч. работ., г. Зелена Гура, Польша. 1989. С. 206—211.
56. Волишаник В.В., Мордасов А.П., Орехов Г.В. Проекты контрвихревых аэраторов для повышения качества воды в водохранилищах // Состояние и перспективы развития гидроэнергетики : тез. Всесоюзн. совещ. Саяно-Шушенская ГЭС, 14—16 сентября 1988.
57. Волишаник В.В., Погорелов А.Е. Применение контрвихревых аэраторов в качестве устройства подачи и смешения коагулянта // Проекты развития инфраструктуры города. Проектирование городских инженерных систем : сб. науч. тр. М. : Прима-пресс Экспо, 2010. Вып 10. С. 54—58.
58. Карелин В.Я., Волишаник В.В., Зуйков А.Л., Орехов Г.В. Экспериментальное обоснование оптимальной формы проточной полости вихревого аэратора // Вестник Отделения строительных наук Российской академии архитектуры и строительных наук. 2005. № 9. С. 229—237.
59. Ахметов В.К., Волишаник В.В., Зуйков А.Л., Орехов Г.В. Моделирование и расчет контрвихревых течений / под ред. А.Л. Зуйкова. М. : МГСУ, 2012. 252 с.
60. Карелин В.Я., Волишаник В.В., Зуйков А.Л. Научное обоснование и техническое использование эффекта взаимодействия закрученных потоков // Вестник Отделения строительных наук Российской академии архитектуры и строительных наук. 2000. № 3. С. 37—44.
61. Волишаник В.В., Зуйков А.Л., Карелин В.Я., Мордасов А.П., Орехов Г.В. Контрвихревые устройства для интенсификации процессов перемешивания, массо- и теплообмена, гашения энергии, дезинтеграции конгломератов. Часть 2 // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2004. № 09 (68). С. 44—45.
62. Волишаник В.В., Зуйков А.Л., Орехов Г.В. Гидравлический расчет проточной части контрвихревых аэраторов // Водоснабжение и санитарная техника. 2009. № 12. С. 50—56.
63. Волишаник В.В., Орехов Г.В., Зуйков А.Л., Карелин В.Я. Инженерная гидравлика закрученных потоков жидкости // Гидротехническое строительство. 2000. № 11. С. 23—26.
64. Волишаник В.В., Зуйков А.Л., Орехов Г.В. Циркуляционные течения в науке и технике // Деловая слава России. 2011. № 2 (30). С. 48—50.

65. Волишаник В.В., Данек М., Зуйков А.Л., Мордасов А.П., Рыбникар И. Гидравлический расчет гидротехнических сооружений с закруткой потока. М. : МИСИ, 1992. 64 с.
66. Мордасов А.П., Волишаник В.В., Зуйков А.Л., Леванов А.В. Использование взаимодействующих закрученных потоков в решении проблем защиты окружающей среды // Известия высших учебных заведений. Строительство и архитектура. 1984. № 8. С. 97—101.
67. Орехов Г.В., Зуйков А.Л., Волишаник В.В. Контрвихревое ползущее течение // Вестник МГСУ. 2013. № 4. С. 172—180.
68. Зуйков А.Л., Орехов Г.В., Волишаник В.В. Модель течения Громеки — Бельтрами // Вестник МГСУ. 2013. № 4. С. 150—159.
69. Зуйков А.Л., Орехов Г.В., Волишаник В.В. Распределение азимутальных скоростей в ламинарном контрвихревом течении // Вестник МГСУ. 2013. № 5. С. 150—161.
70. Карелин В.Я., Кривченко Г.И., Мордасов А.П., Волишаник В.В., Зуйков А.Л., Ахметов В.К. Физическое и математическое моделирование систем гашения энергии в вихревых водосбросах // Физическое и математическое моделирование гидравлических процессов : тез. науч.-техн. совещ., г. Дивногорск, 1989. С. 11—12.
71. Карелин В.Я., Мордасов А.П., Зуйков А.Л., Волишаник В.В. Численные методы экспериментального исследования характеристик закрученного потока жидкости // Тр. симпозиума МАГИ. Белград, Югославия, 1990.
72. Волишаник В.В., Евстигнеев Н.М., Зуйков А.Л., Орехов Г.В. Влияние турбулентной диффузии на процесс сепарации нефтесодержащих примесей в цилиндрическом гидроциклоне // Межвуз. сб. науч. тр. по гидротехническому и специальному строительству / под ред. А.И. Альхименко, М.Г. Зерцалова. М. : МГСУ, 2002. С. 55—62.
73. Волишаник В.В., Зуйков А.Л., Мордасов А.П. Аналитический метод гидравлического расчета вихревых шахтных водосбросов // Гидротехническое строительство. 1989. № 4. С. 38—42.

Поступила в редакцию в мае 2015 г.

Об авторах: **Волишаник Валерий Валентинович** — доктор технических наук, профессор, профессор кафедры гидравлики и водных ресурсов, **Московский государственный строительный университет (ФГБОУ ВПО «МГСУ»)**, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, 8 (499) 182-99-58, tvgl806@gmail.com;

Орехов Генрих Васильевич — кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры гидравлики и водных ресурсов, **Московский государственный строительный университет (ФГБОУ ВПО «МГСУ»)**, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, 8 (499) 182-99-58, orehov_genrih@mail.ru.

Для цитирования: *Волишаник В.В., Орехов Г.В. Области применения взаимодействующих закрученных потоков жидкости // Вестник МГСУ. 2015. № 7. С. 87—104.*

V.V. Volshanik, G.V. Orekhov

AREAS OF USE OF INTERACTING SWIRL LIQUID AND GAS FLOWS

Swirled flows of liquid and gas are widely used in modern technology because of many of their unique aerodynamic, thermodynamic, and hydro-mechanical qualities. They are used for spraying liquid fuel mixing and dispersing liquid, aerosol formation, formation of the flame, classification of disperse materials and drying, dehydration, de-aeration, cooling and heating, distillation and purification (rectification of working fluids), ash and dust-collecting, generating vapor separation of suspensions, absorption materials, separation materials, excitation of mechanical vibrations and formation of a sound signal, transportation of materials and many other technological purposes.

The proposals for the use of interacting (counter vortex) swirling flows were caused by the requirements of the practice of mixing fluids and gases and quenching of excess kinetic energy of the high-speed flow of water in the high-pressure hydro spillways. The method for energy dissipation by reacting flows (jets) is based on the idea of separating the stream into parts and creating the conditions for mutual energy damping of individual parts of during subsequent reunification.

As it is known, while moving from the upper pool to the lower one the water flow may dampen its energy performing useful work on the hydraulic turbines or overcoming the reaction forces, which arise when passing through the dampers. The energy of one part of a stream in interaction with the energy of the other part is used for creating the forces equivalent to the jet forces developed by quenchers. Such interaction can give the best effect in the conditions of rational breakdown of a stream and creation of the respective movement directions of its parts in relation to each other.

In the cylindrical camera of counter vortex devices coaxial flows are formed consisting of two or more oppositely swirling flows of liquid or gas, the interaction of which can convert practically the whole mechanical energy source of the interacting flows into excess turbulence energy.

The nature and intensity of hydro-mechanical, aerodynamic and mechanical processes occurring in the counter vortex devices provide the efficiency of their application in various branches of modern technology for mixing of single-phase and multiphase media, quenching the excess mechanical energy of the flow of liquid and gas, for disintegration of conglomerates, creating a homogeneous systems, excitation of mechanical vibrations and obtaining other effects.

Authors due to the nature of their activity paid the main attention to the development, researches and creation of the designs of counter vortex quenchers of spillways energy of high-pressure water-engineering systems and counter vortex aerators of different purpose. Counter vortex devices have been tested for other purposes (homogenizer, flotators), protected by patents or circuit diagram are proposed for them.

Key words: interacting swirl flows, liquid, gas, hydraulic characteristics, turbulence, vortices, cavitation, stream pressure, stream energy dissipation.

References

1. Volshanik V.V., Zuykov A.L., Eliseev N.A., Konovalov E.S., Krivchenko G.I., Levannov A.V., Mordasov A.P., Pravdivets Yu.P. Rezhimy raboty krupnomasshtabnoy modeli kontrvikhrevogo gasitelya [Modes of Operation of Large-Scale Models of Counter Vortex Damper]. *Metody issledovaniy i gidravlicheskiye raschetov vodosbrosnykh gidrotekhnicheskikh sooruzheniy : materialy konferentsii i soveshchaniya po gidrotekhnike* [Materials of the Conference and Meeting "Research Methods and Hydraulic Calculations of Intakes of Hydraulic Structures"]. Leningrad, Energoatomizdat Publ., 1985, pp. 154—157. (In Russian)
2. Volshanik V.V., Zuykov A.L., Mordasov A.P., Krivchenko G.I. *Zakruchennyye potoki v gidrotekhnicheskikh sooruzheniyakh* [Swirl Flows in Hydraulic Structures]. Saint Petersburg, Energoatomizdat Publ., 1990, 280 p. (In Russian)
3. Volshanik V.V., Mordasov A.P., Zuykov A.L. Proekty ispol'zovaniya zakruchennykh potokov v vysokonapornykh vodosbrosakh [Projects of Use of Swirling Spillway in High-Pressure Outlets]. *Gidrotekhnika i melioratsiya* [Hydraulic Engineering and Land Reclamation]. 1983, no. 8, pp. 3—7. (In Russian)
4. Volshanik V.V., Zuykov A.L., Orekhov G.V., Churin P.S. Propusk kholostykh raskhodov cherez turbinnyy blok sredne- ili vysokonapornoy GES. Ch. 1 [Skip of Idling Consumption through the Turbine Unit of a Medium or High Pressure HPS. Part 1]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Hydraulic Engineering]. 2013, no. 4, pp. 51—56. (In Russian)
5. Zuykov A.P., Volshanik V.V., Mordasov A.P. Primenenie kontrvikhrevykh ustroystv dlya gasheniya energii vysokoskorostnykh potokov vody i aeratsii zhidkostey [Application of Counter Vortex Devices for Energy Dissipation of High-Speed Streams of Water and Aeration of Liquids]. *Trudy I nauchnoy konferentsii Politekhnicheskogo instituta* [Proceedings of the First Scientific Conference of the Polytechnic Institute]. Brno, Czechoslovakia. 1989, vol. 16, pp. 90—94. (In Russian)

6. Zuykov A.L., Krivchenko G.I., Mordasov A.P. Vysokonapornye vodosbrosnye sistemy s vikhrevymi i kontrvikhrevymi ustroystvami i praktika gidrotekhnicheskogo stroitel'stva [High-pressure Waste Water Systems with Vortex and Counter Vortex Devices and Practice of Hydrotechnical Construction]. *Razvitie gidroenergetiki SSSR v XII pyatiletke : trudy Vsesoyuznogo nauchno-tekhnicheskogo soveshchaniya* [Proceedings of the All-Union Scientific and Technical Meeting "The Development of Hydropower in the 12th Five-Year Plan of the USSR]. Sayanogorsk, 1988. (In Russian)
7. Zuykov A.L., Chepaykin G.A. Issledovaniya modeli vysokonapornogo glubinnogo vodosbrosa so vzaimodeystviem kontsentricheskikh zakruchennykh potokov [Studies of High-Pressure Deep Spillway Model in Interaction of Concentric Swirling Flows]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Hydraulic Engineering]. 1986, no. 12, pp. 29—33. (In Russian)
8. Karelin V.Ya., Krivchenko G.I., Volshanik V.V., Mordasov A.P., Zuykov A.L. Ispol'zovanie zakruchennykh potokov dlya zashchity ot kavitatsii v vysokonapornykh vodosbrosnykh sistemakh [Using Swirl Flows for Cavitation Protection in High-Pressure Intake Systems]. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma po kavitatsii* [Proceedings of the International Symposium on Cavitation]. Sendai, Japan, 1986, pp. 287—291. (In Russian)
9. Krivchenko G.I., Mordasov A.P., Kvyatkovskaya E.V., Volshanik B.B., Zuykov A.L. Vysokonapornaya vodosbrosnaya sistema s kontrvikhrevym gasitelem energii potoka vody [High-Pressure Wastewater System with a Counter Vortex Quencher of Water Flow Energy]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Hydraulic Engineering]. 1981, no. 10, pp. 29—31. (In Russian)
10. Krivchenko G.I., Kvyatkovskaya E.V., Mordasov A.P., Volshanik V.V., Zuykov A.L. Vysokonapornye vodosbrosnye sistemy s kontrvikhrevymi gasitelyami energii potoka [High Pressure Water Discharge System with Counter Vortex Absorbers of Flow Energy]. *Tezisy dokladov IV nauchno-tekhnicheskogo soveshchaniya Gidroproekta* [Abstracts of the 4th Scientific and Technical Meeting of the Hydroproject]. Moscow, 1982, pp. 41—42. (In Russian)
11. Krivchenko G.I., Kvyatkovskaya E.V., Mordasov A.P., Volshanik V.V., Zuykov A.L. Shakhthnyy vikhrevoi vodosbros s kontrvikhrevym gasitelem dlya vysokonapornykh gidrouzlov [Mine Vortex Spillway With a Countervortex Absorber for High-Pressure Water-Engineering Systems]. *Trudy Moskovskogo inzhenerno-stroitel'nogo instituta* [Works of the Moscow Construction Institute]. Moscow, MISI Publ., 1983, no. 189, pp. 151—157. (In Russian)
12. Krivchenko G.I., Mordasov A.P., Kvyatkovskaya E.V., Volshanik B.B., Zuykov A.L., Levanov A.V. Gasiteli energii vysokonapornykh vodosbrosnykh sooruzheniy, osnovannye na vzaimodeystvii soosnykh zakruchennykh potokov [Absorbers of High-Energy Intakes and Facilities Based on the Interaction of Coaxial Swirling Flows]. *Trudy XX Kongressa Mezhdunarodnoy assotsiatsii po gidravlicheskim issledovaniyam* [Proceedings of the 20th Congress of the International Association for Hydraulic Research]. Moscow, 1983, vol. 7, pp. 464—467. (In Russian)
13. Slisskiy C.M., Mordasov A.P., Pravdivets Yu.P., Laktionova E.A., Kuznetsova E.V., Naymark L.I. Gidravlicheskie issledovaniya kontrvikhrevogo gasitelya [Hydraulic Studies of Counter Vortex Absorber]. *Energeticheskoe stroitel'stvo* [Energy Construction]. 1984, no. 10, pp. 47—49. (In Russian)
14. Krivchenko G.I., Kvyatkovskaya E.V., Volshanik V.V., Zuykov A.L. A. s. na izobretenie SSSR № 812876, MKI E02V8/06. Sposob gasheniya energii potoka [Certificate of Authorship of the USSR no. 812876, MKI E02V8/06. Way of Energy Dissipation]. Zayavka № 2754985/29-15 ; zayavl. 20.04.1979 ; opubl. 15.03.1981. Byul. № 10 [Notice no. 2754985/29-15 ; appl. 20.04.1979 ; publ. 15.03.1981. Bulletin no. 10]. Pp. 111—112. (In Russian)
15. Krivchenko G.I., Kvyatkovskaya E.V., Mordasov A.P., Volshanik V.V., Zuykov A.L. A. s. na izobretenie SSSR № 812877, MKI E02V8/06. Vodosbrosnoe ustroystvo [Certificate of Authorship of the USSR no. 812877, MKI E02V8/06. Spillway Device]. Zayavka № 2766983/29-15 ; zayavl. 17.05.1979 ; opubl. 15.03.1981. Byul. № 10 [Notice no. 2766983/29-15 ; appl. 17.05.1979 ; publ. 15.03.1981. Bulletin no. 10, p. 112. (In Russian)
16. Mordasov A.P., Zhivotovskiy B.A. A. s. na izobretenie SSSR № 819254, MKI E02V8/06. Vodosbrosnoe ustroystvo [Certificate of Authorship of the USSR no. 819254, MKI E02V8/06. Spillway Device]. Zayavka № 2783220/29-15 ; zayavl. 20.06.1979 ; opubl. 07.04.1981. Byul. № 13 [Notice no. 2783220/29-15 ; appl. 20.06.1979 ; publ. 07.04.1981. Bulletin no. 13]. P. 119. (In Russian)

17. Krivchenko G.I., Kuperman V.L., Kvyatkovskaya E.V., Mordasov A.P., Volshanik V.V., Zuykov A.L. *A. s. na izobretenie SSSR № 874853, MKI E02V8/06. Gasitel' energii potoka vody* [Certificate of Authorship of the USSR no. 874853, MKI E02V8/06. Energy Dissipating Device]. Zayavka № 2924103/29-15 ; zayavl. 23.10.1980 ; opubl. 29.05.1981. Byul. № 39 [Notice no. 2924103/29-15 ; appl. 23.10.1980 ; publ. 29.05.1981. Bulletin no. 39]. P. 161. (In Russian)
18. Krivchenko G.I., Kvyatkovskaya E.V., Mordasov A.P., Volshanik V.V., Zuykov A.L. *A. s. na izobretenie SSSR № 920099, MKI E02V8/06. Vodosbrosnoe ustroystvo* [Certificate of Authorship of the USSR no. 920099, MKI E02V8/06. Spillway Device]. Zayavka № 2787006/29-15 ; zayavl. 29.06.1979 ; opubl. 15.04.1982. Byul. № 14 [Notice no. 2787006/29-15 ; appl. 29.06.1979 ; publ. 15.04.1982. Bulletin no. 14]. P. 91. (In Russian)
19. Mordasov A.P., Volshanik V.V., Zuykov A.L. *A. s. na izobretenie SSSR № 924233, MKI E02V8/06. Vodosbrosnoe ustroystvo i ego variant* [Certificate of Authorship of the USSR no. 924233, MKI E02V8/06. Spillway Device and its Variant]. Zayavka № 3226699 ; zayavl. 30.12.1980 ; opubl. 30.04.1982. Byul. № 16 [Notice no. 3226699 ; appl. 30.12.1980 ; publ. 30.04.1982. Bulletin no. 16]. P. 140. (In Russian)
20. Chepaykin G.A., Redchenko I.S., Zuykov A.L. *A. s. na izobretenie SSSR № 1010184, MPK E02V8/06. Sposob gasheniya energii potoka* [Certificate of Authorship of the USSR no. 1010184, MKI E02V8/06. Way of Energy Dissipation]. Zayavka № 3217678/29-15 ; zayavl. 19.11.1980 ; opubl. 07.04.1983. Byul. № 13 [Notice no. 3217678/29-15 ; appl. 19.11.1980 ; publ. 07.04.1983. Bulletin no. 13]. P. 179. (In Russian)
21. Krivchenko G.I., Slisskiy S.M., Mordasov A.P., Pravdivets Yu.P., Kvyatkovskaya E.V., Volshanik V.V., Zuykov A.L., Levanov A.V. *A. s. na izobretenie SSSR № 1233548, MPK A01K63/04. Gasitel' energii potoka glubinnogo vodosbrosa* [Certificate of Authorship of the USSR no. 1233548, MPK A01K63/04. Way of Energy Dissipation of Bottomwater Outlet]. Zayavka № 3641463 ; zayavl. 14.09.1983 ; opubl. 30.05.1989. Byul. № 20 [Notice no. 3641463 ; appl. 14.09.1983 ; publ. 30.05.1989. Bulletin no. 20. (In Russian)
22. Volshanik V.V., Zuykov A.L., Orekhov G.V., Churin P.S. *Pat. № 2483158 RF, MPK V02V8/06. Vikhrevoy vodosbros* [Russian Patent no. 2483158 RF, MPK V02V8/06. Vortex Water Disposal]. Zayavka № 2011140562/13 ; zayavl. 06.10.2011 ; opubl. 27.05.2013. Byul. № 15 [Notice no. 2011140562/13 ; appl. 06.10.2011 ; publ. 27.05.2013. Bulletin no. 15]. Patent holder FGBOU VPO MGSU, 11 p. (In Russian)
23. Mordasov A.P., Volshanik V.V., Zuykov A.L., Levanov A.V. *A. s. na izobretenie SSSR № 1073489, MPK F01N1/06. Glushitel' shuma gazovogo potoka* [Certificate of Authorship of the USSR no. 1073489, MPK F01N1/06. Gas Flow Noise Suppressor]. Zayavka № 3504045/25-06 ; zayavl. 26.10.1982 ; opubl. 15.02.1984. Byul. № 6 [Notice no. 3504045/25-06 ; appl. 26.10.1982 ; publ. 15.02.1984. Bulletin no. 6]. 118 p. (In Russian)
24. Volshanik V.V., Zuykov A.L., Skatkin M.G. *Pat. № 2206378 RF, MPK V0F5/04. Universal'nyy smesitel'* [Russian Patent no. 2206378 RF, MPK V0F5/04. Multimixer]. Zayavka № 2001130700/12 ; zayavl. 14.11.2001 ; opubl. 20.06.2003. Byul. № 17 [Notice no. 2001130700/12 ; appl. 14.11.2001 ; publ. 20.06.2003. Bulletin no. 17]. P. 620. (In Russian)
25. Mordasov A.P., Volshanik V.V., Zuykov A.L. *A. s. na izobretenie SSSR № 856415, MPK A01K63/04. Ustroystvo dlya aeratsii vody v rybovodnykh vodoemakh* [Certificate of Authorship of the USSR no. 856415, MPK A01K63/04. Device for Water Aeration in Fish-Breeding Basins]. Zayavka № 2840145 ; zayavl. 11.11.1979 ; opubl. 23.08.1981. Byul. № 31 [Notice no. 2840145 ; appl. 11.11.1979 ; publ. 23.08.1981. Bulletin no. 31]. 5 p. (In Russian)
26. Volshanik V.V., Mordasov A.P., Kan S.V., Meshchankin G.I., Popov V.G., Grigoryan A.N., Litmans B.A., Krasnolutskaya T.I., Gorkin Yu.A., Yur'evich Yu.I. *A. s. na izobretenie SSSR № 1143076, MPK A01K63/04. Apparat dlya vyrashchivaniya mikroorganizmov (i ego varianty)* [Certificate of authorship of the USSR no. 1143076, MPK A01K63/04. Device for Microorganisms Breeding (and Its Variants)]. Zayavka № 3628255 ; zayavl. 22.07.83 [Notice no. 3628255 ; appl. 22.07.83. (In Russian)
27. Mordasov A.P., Volshanik V.V., Zuykov A.L. *A. s. na izobretenie SSSR № 963362, MKI E02V8/06. Dvukhkomponentnaya forsunka* [Certificate of Authorship of the USSR no. 963362, MKI E02V8/06. Doublet Injector]. No. 3226249 ; appl. 30.12.80. (In Russian)
28. Mordasov A.P., Volshanik V.V., Zuykov A.L., Levanov A.V. *A. s. na izobretenie SSSR № 1083684, MPK A01K63/04. Reaktivnyy dvigatel'* [Certificate of Authorship of the USSR no. 1083684, MPK A01K63/04. Jet Engine]. Zayavka № 3504044 ; zayavl. 26.10.82 [Notice no. 3504044 ; appl. 26.10.82. (In Russian)

29. Mordasov A.P., Volshanik V.V., Zuykov A.L., Levanov A.V. A. s. *na izobretenie SSSR № 1188498, MPK F28C1/00. Gradimya* [Certificate of Authorship of the USSR no. 1188498, MPK F28C1/00. Water Cooling Tower]. Zayavka № 3552449/24-06 ; zayavl. 09.02.1983 ; opubl. 30.10.1985. Byul. № 40 [Notice no. 3552449/24-06 ; appl. 09.02.1983 ; publ. 30.10.1985. Bulletin no. 40]. P. 147. (In Russian)
30. Mordasov A.P., Volshanik V.V., Zuykov A.L., Levanov A.V., Khodankov N.A. A. s. *na izobretenie SSSR № 1467350, MPK F28C1/00. Gradimya* [Certificate of Authorship of the USSR no. 1467350, MPK F28C1/00. Water Cooling Tower] № 4288989 ; zayavl. 22.07.1987 ; opubl. 23.03.1989. Byul. № 11 [No. 4288989 ; appl. 22.07.1987 ; publ. 23.03.1989. Bulletin no. 11]. P. 27. (In Russian)
31. Bogdanov V.M., Borovkov V.S., Volshanik V.V. Ochistka bol'shogo pruda moskovskogo zooparka sistemoy zamknutogo vodooborota i struyno-vikhrevooy aeratsii [Cleaning the Large Pond of the Moscow Zoo by Closed Water System and the Swirling Jet Aeration]. *Chistyy gorod* [Clean City]. 2000, no. 1, pp. 42—48. (In Russian)
32. Boykova I.G., Volshanik V.V., Karpova N.B., Pechnikov V.G., Pupyrev E.I. *Ekspluatatsiya, rekonstruktsiya i okhrana vodnykh ob'ektov v gorode* [Exploitation, Reconstruction and Protection of Water Resources in Urban Areas]. Moscow, ASV Publ., 2008, 256 p. (In Russian)
33. Borovkov V.S., Volshanik V.V. Kompleksnye tekhnologii rekonstruktsii gorodskikh vodnykh ob'ektov (Chast' 1) [Complex Technologies of Water Objects Reconstruction. (Part 1)]. *Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tekhnologii XXI veka* [Building Materials, Equipment and Technologies of the 21st Century]. 2003, no. 8 (55), pp. 44—55. (In Russian)
34. Borovkov V.S., Volshanik V.V., Karelin V.Ya., Pupyrev E.I., Bayaraa U. Sistemy podderzhaniya kachestva vody v gorodskikh vodnykh ob'ektakh [Systems of Maintaining the Water Quality in Urban Water Bodies]. *Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tekhnologii XXI veka* [Building Materials, Equipment and Technologies of the 21st Century]. 2005, no. 5 (76), pp. 62—66. (In Russian)
35. Borovkov V.S., Volshanik V.V., Orekhov G.V. Inzhenernaya sistema podderzhaniya kachestva vody v gorodskikh vodnykh ob'ektakh [Engineering System of Maintaining Water Quality in Urban Water Objects]. *Ekologiya i zhizn' : materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Ecology and Life: Materials of International Science and Practice Conference]. Penza, 1999, pp. 109—112. (In Russian)
36. Borovkov V.S., Volshanik V.V., Orekhov G.V. Oborudovanie i vysokoeffektivnye tekhnologii vosstanavlivaniya i ekspluatatsii gorodskikh vodnykh ob'ektov [Equipment and High Technology Restoration and Operation of Urban Water Objects]. *Peredovye tekhnologii na poroge XXI veka : trudy Mezhdunarodnoy konferentsii, 5—9 oktyabrya 1998 g.* [High Technologies on the Threshold of the 21st Century : Works of the International Conference, October 5—9, 1998]. Moscow, 1998. (In Russian)
37. Borovkov V.S., Volshanik V.V., Orekhov G.V. Tekhnologii podderzhaniya samoochishchayushchey sposobnosti vody v gorodskikh vodnykh ob'ektakh [Technologies of Maintaining Self-Purification Ability of Water in Urban Water Objects]. *Inzhenernaya zashchita okruzhayushchey sredy : tezisy dokladov Mezhdunarodnoy konferentsii* [Abstracts of the International Conference "Environmental Engineering"]. Moskva, 1999, pp. 65—67. (In Russian)
38. Volshanik V.V., Orekhov G.V. Defitsit rastvorenogo kisloroda v vodoemakh na selitebnykh territoriyakh i sistemy iskusstvennoy aeratsii i zamknutogo vodooborota [Deficiency of Dissolved Oxygen in Ponds in Residential Areas and Artificial Aeration Systems and Closed Water Rotation]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2008, no. 1, pp. 243—246. (In Russian)
39. *Gidravlicheskie raschety vodosbrosnykh gidrotekhnicheskikh sooruzheniy : spravochnoe posobie* [Hydraulic Calculations of Waterworks Intakes : Reference Book]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1988, pp. 233—248. (In Russian)
40. Zuykov A.L. *Gidrodinamika tsirkulyatsionnykh techeniy* [Hydrodynamics of Circulating Currents]. Moscow, ASV Publ., 2010, 216 p. (In Russian)
41. Orekhov G.V. Vodnye ob'ekty na urbanizirovannykh territoriyakh i inzhenernye sistemy aeratsii i zamknutogo vodooborota [Water Objects in Urban Areas and Engineering of the Aeration System and Closed Water Rotation]. *Ekologiya urbanizirovannykh territoriy* [Ecology of Urbanized Territories]. 2008, no. 2, pp. 88—93. (In Russian)

42. Orekhov G.V. Gidromekhanicheskiy sposob uluchsheniya kachestva vody v vodnykh ob"ektakh [Hydromechanical Way to Improve Water Quality in Water Objects]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2008, no. 4, pp. 175—180. (In Russian)
43. Borovkov V.S., Volshanik V.V., Orekhov G.V. Opyt klassifikatsii gorodskikh vodnykh ob"ektov po geneticheskim i inzhenerno-ekologicheskim priznakam [Experience of Urban Water Objects Classification According to Genetic and Engineering-Environmental Grounds]. *Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tekhnologii XXI veka* [Construction Materials, Equipment, Technologies of the 21st Century]. 2004, no. 4 (63), pp. 62—65. (In Russian)
44. Akhmedov V.K., Volshanik V.V. *Raschet techeniy s vozvratnymi zonami v kamere otstoynika* [Calculation of Flows with Reverse Zones in Settling Basin]. 1996, no. 5, pp. 29—31. (In Russian)
45. Borovkov V.S., Volshanik V.V., Galant M.A., Dorkina I.V., Karelin V.Ya. Inzhenernaya sistema podderzhaniya kachestva vody prудov Lefortovskogo parka [Engineering System to Maintain Water Quality in the Ponds of Lefortovo Park]. *Vestnik Otdeleniya stroitel'nykh nauk Rossiyskoy akademii arkhitektury i stroitel'nykh nauk* [Bulletin of the Department of Civil Engineering of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences]. 2001, no. 4, pp. 28—38. (In Russian)
46. Borovkov V.S., Volshanik V.V., Orekhov G.V. Inzhenernye sistemy vodooborota i aeratsii dlya ochistki vody v gorodskikh vodnykh ob"ektakh [Engineering Systems of Water Circulation and Aeration for Water Purification in Urban Water Objects]. *Ekologiya urbanizirovannykh territoriy* [Ecology of Urbanized Territories]. 2010, no. 2, pp. 21—31. (In Russian)
47. Borovkov V.S., Volshanik V.V., Orekhov G.V. Inzhenernye sistemy zamknutogo vodooborota dlya intensivatsii protsessov samoochishcheniya vody v gorodskikh vodnykh ob"ektakh [Engineering Systems of Closed Water Rotation to Intensify the Process of Water Self-Purification in Urban Water Objects]. *Inzhenernaya zashchita okruzhayushchey sredy: Ochistka vod. Utilizatsiya otkhodov* [Engineering Protection of the Environment: Water Purification. Waste Disposal]. Moscow, ASV Publ., 2002, pp. 74—91. (In Russian)
48. Volshanik V.V., Aniskin N.N. Ob ispol'zovanii aktivnykh gidrodinamicheskikh rezhimov pri iskusstvennoy aeratsii stochnykh vod [On the Use of Active Hydrodynamic Regimes for Artificial Aeration of Wastewater]. *Sozdanie i vnedrenie sovremennykh apparatov s aktivnymi gidrodinamicheskimi rezhimami dlya tekstil'noy promyshlennosti i proizvodstva khimicheskikh volokon : tezisy dokladov Vsesoyuznoy konferentsii (14—16 noyabrya 1989 g.)* [Abstracts of the All-Union conference "Development and Implementation of Modern Devices with Active Hydrodynamic Regimes for the Textile Industry and Production of Chemical Fibers]. Moscow, 1989, pp. 147—148. (In Russian)
49. Volshanik V.V., Zuykov A.L., Karelin V.Ya., Orekhov G.V. Vikhrevye aeratory — print-sip deystviya i konstruksii [Swirl Aerators — Action Principle and Design]. *Sbornik nauchnykh trudov MGSU* [Collection of Scientific Papers of Moscow State University of Civil Engineering]. Moscow, MGSU Publ., 2001, pp. 95—101. (In Russian)
50. Volshanik V.V., Zuykov A.L., Orekhov G.V., Bayaraa U. Osobennosti rabocheho protsessa kontrvikhrevykh aeratorov i zadachi ikh gidravlicheskikh issledovaniy [Features of the Working Process of Counter Vortex Aerators and Objectives of Hydraulic Studies]. *Ekologiya urbanizirovannykh territoriy* [Ecology of Urbanized Territories]. 2013, no. 2, pp. 74—80. (In Russian)
51. Volshanik V.V., Zuykov A.L., Orekhov G.V., Bayaraa U. Raskhod vody i ezhektsiya vozdukha v kontrvikhrevom aeratore [Water Consumption and Air Ejection in Counter Vortex Aerator]. *Ekologiya urbanizirovannykh territoriy* [Ecology of Urbanized Territories]. 2014, no. 2, pp. 33—40. (In Russian)
52. Volshanik V.V., Zuykov A.L., Orekhov G.V., Bayaraa U. Tehenie v kamere smesheniya kontrvikhrevogo aeratora [The Flow in the Mixing Chamber of Counter Vortex Aerator]. *Ekologiya urbanizirovannykh territoriy* [Ecology of Urbanized Territories]. 2015, no. 1, pp. 23—28. (In Russian)
53. Volshanik V.V., Zuykov A.L., Orekhov G.V., Svitaylo V.D., Skatkin M.G. Ispol'zovanie vikhrevykh aeratorov dlya intensivatsii protsessov ochistki prirodnykh vod [Using Vortex Aerators for Intensifying the Processes for Wastewater Treatment]. *Inzhenernaya zashchita okruzhayushchey sredy. Ochistka vod. Utilizatsiya otkhodov* [Engineering Protection of the Environment. Water Purification. Waste Disposal]. Moscow, ASV Publ., 2002, pp. 97—106. (In Russian)

54. Volshanik V.V., Mordasov A.P., Akhmetov B.K. Ekologicheskaya effektivnost' primeneniya struyno-vikhrevykh aeratorov po rezul'tatam model'nykh i naturnykh ispytaniy [Environmental Efficiency of Jet Vortex Aerators according To the Results of Modeling and Field Tests]. *Fizicheskoe i matematicheskoe modelirovanie gidravlicheskiy protsessov : tezisy nauchno-tekhnicheskogo soveshchaniya* [Abstracts of Scientific-Technical Conference "Physical And Mathematical Modeling of Hydraulic Processes"]. Divnogorsk, 1989, pp. 62—63. (In Russian)

55. Volshanik V.V., Mordasov A.P., Ivanova T.A., Krotova A.V., Savina M.M. Gidravlicheskiy raschet kontrvikhrevykh aeratorov i zadachi standartizatsii ikh konstruktsey [Hydraulic Calculation of Counter Vortex Aerators and Objectives of Standardization of Their Designs]. *Trudy XI Mezhdunarodnogo nauchnogo simpoziuma studentov, molodykh nauchnykh rabotnikov* [Proceedings of the 11th International Scientific Symposium of Students, Young Scientists]. Zielona Gora, Poland, 1989, pp. 206—211. (In Russian)

56. Volshanik V.V., Mordasov A.P., Orekhov G.V. Proekty kontrvikhrevykh aeratorov dlya povysheniya kachestva vody v vodokhranilishchakh [Projects of Counter Vortex Aerators to Improve Water Quality in Reservoirs]. *Sostoyaniye i perspektivy razvitiya gidroenergetiki : tezisy Vsesoyuznogo soveshchaniya. Sayano-Shushenskaya GES. 14—16 sentyabrya 1988* [Abstracts of All-Union Conference "Status and Development Prospects of Hydropower". September 14—16, 1988]. (In Russian)

57. Volshanik V.V., Pogorelov A.E. Primeneniye kontrvikhrevykh aeratorov v kachestve ustroystva podachi i smesheniya koagulyanta [Applying Counter Vortex Diffusers as Feeder and Mixing the Coagulant]. *Proekty razvitiya infrastruktury goroda. Proektirovaniye gorodskikh inzhenernykh sistem : sbornik nauchnykh trudov* [Collection of Scientific Works "Infrastructure Projects of the City"]. Moscow, Prima-press Ekspo Publ., 2010, no. 10, pp. 54—58. (In Russian)

58. Karelin V.Ya., Volshanik B.B., Zuykov A.L., Orekhov G.V. Eksperimental'noye obosnovaniye optimal'noy formy protochnoy polosti vikhrevogo aeratora [Experimental Substantiation of the Optimal Cavity Form of the Vortex Flow Aerator]. *Vestnik Otdeleniya stroitel'nykh nauk Rossiyskoy akademii arkhitektury i stroitel'nykh nauk* [Bulletin of the Department of Civil Engineering of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences]. 2005, no. 9, pp. 229—237. (In Russian)

59. Akhmetov B.K., Volshanik V.V., Zuykov A.L., Orekhov G.V. *Modelirovaniye i raschet kontrvikhrevykh techeniy* [Modeling and Calculation of Counter Vortex Currents]. Moscow, MGSU Publ., 2012, 252 p. (In Russian)

60. Karelin V.Ya., Volshanik V.V., Zuykov A.L. Nauchnoye obosnovaniye i tekhnicheskoye ispol'zovaniye effekta vzaimodeystviya zakruchennykh potokov [Scientific Substantiation and Technical Use of the Synergies of Swirling Flows]. *Vestnik Otdeleniya stroitel'nykh nauk Rossiyskoy akademii arkhitektury i stroitel'nykh nauk* [Bulletin of the Department of Civil Engineering of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences]. 2000, no. 3, pp. 37—44. (In Russian)

61. Volshanik V.V., Zuykov A.L., Karelin V.Ya., Mordasov A.P., Orekhov G.V. Kontrvikhrevyye ustroystva dlya intensivatsii protsessov peremeshivaniya, masso- i teploobmena, gasheniya energii, dezintegratsii konglomeratov. Chast' 2 [Counter Vortex Devices for Intensification of the Processes of Mixing, Heat and Mass Transfer, Energy Dissipation, Disintegration of Conglomerates. Part 2]. *Stroitel'nye materialy, oborudovaniye, tekhnologii XXI veka* [Construction Materials, Equipment and Technologies of the 21st Century]. 2004, no. 09 (68), pp. 44—45. (In Russian)

62. Volshanik V.V., Zuykov A.L., Orekhov G.V. Gidravlicheskiy raschet protochnoy chasti kontrvikhrevykh aeratorov [Hydraulic Calculation of the Flowing Part of Counter Vortex Aerators]. *Vodosnabzheniye i sanitarnaya tekhnika* [Water Supply and Sanitary Technique]. 2009, no. 12, pp. 50—56. (In Russian)

63. Volshanik V.V., Orekhov G.V., Zuykov A.L., Karelin V.Ya. Inzhenernaya gidravlika zakruchennykh potokov zhidkosti [Engineering Hydraulics of Swirling Flow]. *Gidrotekhnicheskoye stroitel'stvo* [Hydraulic Engineering]. 2000, no. 11, pp. 23—26. (In Russian)

64. Volshanik V.V., Zuykov A.L., Orekhov G.V. Tsirkulyatsionnyye techeniya v nauke i tekhnike [Circulating Currents in Science and Technology]. *Delovaya slava Rossii* [Business Glory of Russia]. 2011, no. 2 (30), pp. 48—50. (In Russian)

65. Volshanik V.V., Danek M., Zuykov A.L., Mordasov A.P., Rybnikar I. *Gidravlicheskiy raschet gidrotekhnicheskikh sooruzheniy s zakrutkoy potoka* [Hydraulic Calculation of Hydraulic Structures with Flow Swirl]. Moscow, MISI Publ., 1992, 64 p. (In Russian)
66. Mordasov A.P., Volshanik V.V., Zuykov A.L., Levanov A.B. Ispol'zovanie vzaimodeystvuyushchikh zakruchennykh potokov v reshenii problem zashchity okruzhayushchey sredy [Using Interacting Swirling Flows in Addressing Environmental Problems]. *Izvestiya vysshihkh uchebnykh zavedeniy. Stroitel'stvo i arkhitektura* [News of the Institutions of Higher Education. Construction and Architecture]. 1984, no. 8, pp. 97—101. (In Russian)
67. Orekhov G.V., Zuykov A.L., Volshanik V.V. Kontrvikhrevoe polzushchee techenie [Counter Vortex Creeping Flow]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2013, no. 4, pp. 172—180. (In Russian)
68. Zuykov A.L., Orekhov G.V., Volshanik V.V. Model' techeniya Gromeki — Bel'trami [Analytical Model of Gromeka — Beltrami Flow]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2013, no. 4, pp. 150—159. (In Russian)
69. Zuykov A.L., Orekhov G.V., Volshanik V.V. Raspredelenie azimutal'nykh skorostey v laminarnom kontrvikhrevom techenii [Distribution of Azimuthal Velocities in a Laminar Counter Vortex Flow]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2013, no. 5, pp. 150—161. (In Russian)
70. Karelin V.Ya., Krivchenko G.I., Mordasov A.P., Volshanik V.V., Zuykov A.L., Akhmetov V.K. Fizicheskoe i matematicheskoe modelirovanie sistem gasheniya energii v vikhrevykh vodosbrosakh [Physical and Mathematical Modeling of Systems of Energy Dissipation in Vortex Spillways]. *Fizicheskoe i matematicheskoe modelirovanie gidravlicheskikh protsessov : tezisy nauchno-tekhnicheskogo soveshchaniya, g. Divnogorsk* [Abstracts of Scientific-Technical Conference "Physical and Mathematical Modeling of Hydraulic Processes", Divnogorsk]. 1989, pp. 11—12. (In Russian)
71. Karelin V.Ya., Mordasov A.P., Zuykov A.L., Volshanik V.V. Chislennyye metody eksperimental'nogo issledovaniya kharakteristik zakruchennogo potoka zhidkosti [Numerical Methods of Experimental Studies of the Characteristics of Swirling Fluid Flow]. *Trudy simpoziuma MAGI* [Works of the MAGI Symposium]. Divnogorsk. Belgrad, Yugoslaviya, 1990. (In Russian)
72. Volshanik V.V., Evstigneev N.M., Zuykov A.L., Orekhov G.V. Vliyanie turbulentnoy diffuzii na protsess separatsii neftesoderzhashchikh primesey v tsilindricheskom gidrotsiklone [Effect of Turbulent Diffusion in the Process of Separation of Oily Contaminants in a Cylindrical Hydrocyclone]. *Mezhvuzovsiy sbornik nauchnykh trudov po gidrotekhnicheskoy i spetsial'nomu stroitel'stvu* [Interuniversity Collection of Scientific Papers on Hydraulic Engineering and Special Construction]. Moscow, MGSU Publ., 2002, pp. 55—62. (In Russian)
73. Volshanik V.V., Zuykov A.L., Mordasov A.P. Analiticheskiy metod gidravlicheskogo rascheta vikhrevykh shakhtnykh vodosbrosov [Analytical Method of Hydraulic Calculation of Vortex Glory Hole Spillway]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Hydraulic Engineering]. 1989, no. 4, pp. 38—42. (In Russian)

About the authors: **Volshanik Valeriy Valentinovich** — Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Hydraulics and Water Resources, **Moscow State University of Civil Engineering (MGSU)**, 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; +7 (499) 182-99-58; tvg1806@gmail.com;

Orekhov Genrikh Vasil'evich — Candidate of Technical Sciences, Professor, Department of Hydraulics and Water Resources, **Moscow State University of Civil Engineering (MGSU)**, 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; +7 (499) 182-99-58, orehov_genrih@mail.ru.

For citation: Volshanik V.V., Orekhov G.V. Oblasti primeneniya vzaimodeystvuyushchikh zakruchennykh potokov zhidkosti [Areas of Use of Interacting Swirl Liquid and Gas Flows]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2015, no. 7, pp. 87—104. (In Russian)