

скорости ветра пыль, отлетающая с поверхности хвостохранилищ, будет оседать в прилегающих районах. Эффективно будет применение орошения для снижения пыления хвостохранилищ (установка мелиоративной системы), а при выводе сооружения из эксплуатации - рекультивация с зелёными насаждениями.

Для снижения внешних нагрузок необходимо следить за состоянием реки Волкуши, которая расположена в непосредственной близости с рассматриваемым объектом и взаимосвязана с данной технической системой.

**Выводы.** На сегодняшний день невозможно точно предсказать климатические изменения не только на глобальном, но и на локальном уровне, особенно на сколь долгий период. Таким образом, на данный момент, мы можем лишь предполагать с той или иной долей вероятности, какие мероприятия будут необходимыми для сохранения жизнеспособности существующих природных и антропогенных систем. Однако, зная существующие тенденции и соответственно среагировав, имеется возможность не только сохранять эту жизнеспособность, но и снизить потенциальные риски.

Для предотвращения увеличения рисков необходимо в существующих сооружениях искусственно повышать надёжность системы целом, а в будущих проектных решениях как новых сооружений, так и проектов по рекультивации хвостохранилищ необходимо закладывать повышенные требования из-за изменения климата для обеспечения безопасности сооружений и окружающей среды.

#### **Библиографический список:**

1. Гула, К.Е. К вопросу оценки хвостохранилища как источника загрязнения объектов природной среды / К.Е. Гула, Л. Т. Крупская, А.М. Дербенцева, К.В. Ионкин, А. В. Крупский // Горный информационно-аналитический бюллетень – 2009г.С. 234 – 242/

2. Зимнюков, В.А., Зборовская, М.И., Абрамова, М.В. Влияние климатических изменений на работу шламонакопителя. В сборнике Доклады ТСХА. Материалы международной научной конференции. – М.: РГАУ-МСХА, 2018г. С 177 – 179.

УДК 626/627

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ НА ПЛОСКИЙ ГОРИЗОНТАЛЬНЫЙ СЕКТОР-ОТРАЖАТЕЛЬ С ПОМОЩЬЮ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ANSYS FLUENT**

*Михайлец Дмитрий Петрович, аспирант кафедры гидротехнических сооружений Института мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова, ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва*

**Аннотация:** Приведены результаты численного моделирования по двум стандартным моделям турбулентности  $k-\varepsilon$  и  $k-\omega$  в модуле Fluent программного комплекса Ansys. Полученные на численных моделях кривые

распределения давления на плоский горизонтальный сектор-отражатель по продольной оси сопоставлены с данными полученными на физической модели. Кривые схожи по своей форме, максимальные величины кривых, построенных по численным моделям, отличаются на 36% и 31% от физической модели, минимальные – на 59% и 78%.

**Ключевые слова:** концевой участок, напорное водопропускное сооружение, вертикальный выход потока, сектор-отражатель, численное моделирование, *Ansys Fluent*

При проектировании концевых участков напорных водопропускных сооружений одной из основных задач является определение нагрузок, возникающих в процессе их работы. Для получения значений нагрузок от воздействия потока в случае использования нетривиальных конструкций концевых участков возможно только с помощью проведения гидравлического эксперимента. В настоящее время наряду с физическим моделированием применяется численное моделирование, которое позволяет воспроизвести физические явления с приемлемой для заданной задачи точностью. Наиболее разумным подходом при проведении исследований является использование гибридного моделирования, совмещающего в себе оба вида постановки гидравлического эксперимента.

С применением гибридного моделирования исследовался концевой участок напорного водопропускного сооружения, выполненный в виде плоского горизонтального-сектора отражателя (рис. 1) [1].

Принцип работы такого концевого участка следующий – поступающий из выходного сечения вертикально восходящего водовода поток соударяется сектором-отражателем, растекаясь по его нижней поверхности. При этом на сходе с сектора формируется струя, расширяющаяся в соответствии с углом раструбности (углом роспуска потока) отражателя [2].

Для возможности сравнения результаты, полученные на физической модели, пересчитывались к масштабу численной модели. Масштабный коэффициент составил приблизительно М1:11. Соотношения геометрических размеров, таких как угол роспуска потока  $\alpha=90^\circ$ , относительный радиус сектора  $R=4,5d$  и относительная высота расположения сектора  $t=1,13d$  на физической и численной моделях сохранялись. Диаметр водовода на численной модели равнялся 1,0 м.

Численное моделирование выполнялось в модуле *Fluent* программного комплекса *Ansys*. Оно заключалось в выполнении нескольких задач: построение геометрической модели, задание и генерация расчетной сетки, выбор и настройка решателя и модели турбулентности. От последней во многом зависит результат моделирования. Из заложенных в программу моделей турбулентности при данном исследовании расчеты выполнялись по двум двухпараметрическим моделям со стандартными настройками. В первой модели турбулентности  $k-\varepsilon$  совместно с уравнениями Навье-Стокса осредненными по Рейнольдсу (уравнениями Рейнольдса) решаются два

дополнительных уравнения переноса для турбулентной кинетической энергии  $k$  и скорости диссипации этой энергии в тепло  $\varepsilon$ . Во второй модели вместо определения  $\varepsilon$  решалось уравнение удельной скорости диссипации  $\omega = \varepsilon/k$ .

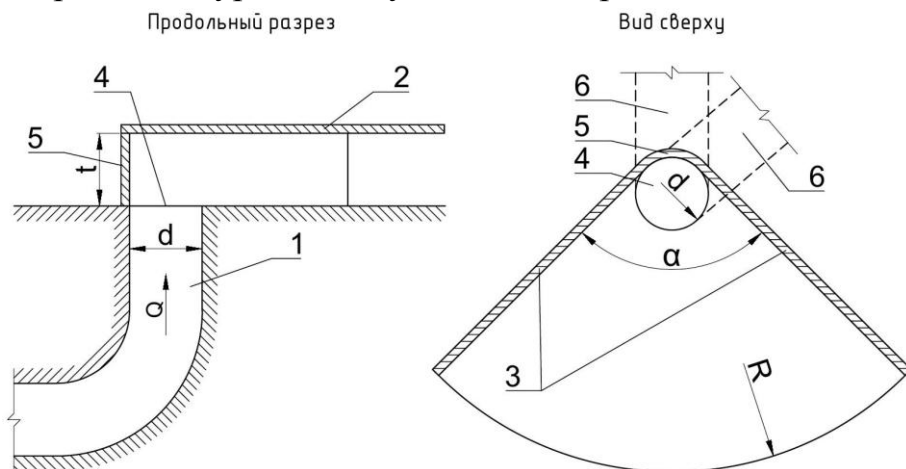


Рис. 1. Схема конструкции концевой участка:

1 – вертикально восходящий водовод; 2 – сектор-отражатель; 3 – направляющие стены; 4 – выходное сечение водовода; 5 – ограничивающая стена; 6 – варианты расположения транзитной части водовода; d – диаметр водовода; t – высота расположения сектора над выходным сечением водовода; R – радиус сектора;  $\alpha$  – угол раструбности

В результате численного моделирования получено решение, позволяющее определить значения различных физических величин. Для выявления соответствия численного решения физическому эксперименту выполнено сравнение характера распределения и значений давления по продольной оси. Давление на физической модели определялось с помощью 11 пьезометров, установленных на нижней поверхности сектора. На рисунке 2 показаны графики давления, полученные на разных моделях при скорости потока в выходном сечении водовода  $v = 7,0$  м/с: 1 – физическая модель; 2 – стандартная модель турбулентности  $k - \varepsilon$ ; 3 – стандартная модель турбулентности  $k - \omega$ .

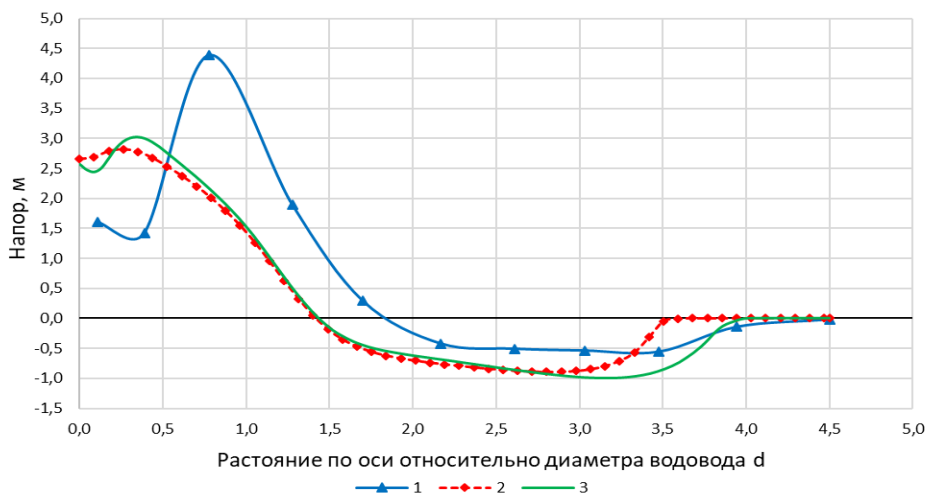


Рис. 2. Графики давления на сектор-отражатель по продольной оси, полученные на различных моделях

Как видно из рисунка 2, все три кривые имеют области положительного и отрицательного давления. Область положительного давления обусловлена воздействием восходящего потока, область отрицательного давления можно объяснить действием силы тяжести и отсутствием воздуха между поверхностью сектора и струёй. Для удобства сопоставления основные показатели графиков сведены в таблицу.

Таблица

**Сравнение графиков давления на сектор-отражатель по продольной оси**

| № п/п | Наименование показателя           | Результаты, полученные на моделях |       |       |
|-------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------|-------|
|       |                                   | 1                                 | 2     | 3     |
| 1.    | Максимум давления, м              | 4,39                              | 2,82  | 3,03  |
| 2.    | Положение максимума               | 0,78d                             | 0,26d | 0,35d |
| 3.    | Положение нуля между экстремумами | 1,84d                             | 1,45d | 1,43d |
| 4.    | Минимум давления, м               | -0,56                             | -0,89 | -1,00 |
| 5.    | Положение минимума                | 3,48d                             | 2,80d | 3,17d |
| 6.    | Подъём давления до нуля           | 4,50d                             | 3,50d | 3,99d |

Максимумы давлений на моделях  $k - \varepsilon$  и  $k - \omega$  меньше, чем на физической модели на 36% и 31%, минимумы на 59% и 78%, соответственно. Положение максимума на физической модели вероятно обусловлено действием центробежных сил при искривлении потока по направлению к выходному сечению концевой участка.

Положение границы нулевого давления при переходе от области положительного к области отрицательного давления находится в пределах  $1,45 \div 1,84d$ , расхождение составляет 21%.

Численная модель  $k - \omega$  показала наиболее близкий к физическому явлению результат. В области положительных давлений форма кривой имеет подобную форму и если не смотреть на разницу в максимумах полностью повторяет график физической модели. В области отрицательного давления кривые также имеют подобную форму, но выход кривых на нулевые значения происходит на разном расстоянии, что в данном эксперименте более важно, т.к. минимальные значения абсолютного давления и подъём кривой до нуля в конечной части графика соответствует месту, где начинается отлёт или падение струи. На физической модели струя отрывалась от поверхности сектора-отражателя при достижении его кромки, после чего наблюдался отброс струи. При численном моделировании в обоих случаях происходило падение струи в пределах сектора, что показано на графиках в виде повышения давления до атмосферного на расстоянии  $3,5 \div 3,99d$ .

Одной из причин этого расхождения может быть то, что в программе вероятно не учитывается эффект Коанда, который создаётся за счет зоны пониженного давления между поверхностью и струёй. Дальность распространения настилающей струи (полуограниченная струя, всегда развивается только вдоль поверхности ограждения) увеличивается приблизительно в 1,2 раза по сравнению со стеснённой струей. То есть струя, которая настилается на потолок или любую другую поверхность, имеет

большую дальнобойность при остальных одинаковых условиях, чем струя ненастилаяющаяся [3].

Несмотря на то, что использованные модели турбулентности дают приближенные, в части распределения давления на сектор-отражатель, результаты, предсказать значения других физических величин поведения потока не представляется возможным, т.к. проявляются наглядные отличия в истечении потока из-под сектора-отражателя. Полученные результаты говорят о необходимости более детальной настройки или применении других моделей турбулентности.

### **Библиографический список**

1. Пат. 2341616 Российская Федерация МПК7 E02B8/06. Концевой участок раструбного типа напорного водопропускного сооружения с вертикальным выпуском воды/Бахтин Б.М., Кузнецова С.Г.; Заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО Московский государственный университет природообустройства (МГУП). - №2006147134/03; заявл. 29.12.2006; опубл. 20.12.2008, Бюл. № 35.

2. Бахтин Б.М., Михайлец Д.П., Бушуев Д.А. Особенности гидравлического режима потока за концевым участком напорного водопропускного сооружения с вертикальным выходом // Вестник МГСУ. 2018. Т. 13. Вып. 10. С. 1269–1275.

3. Эффект Коанда// Свободная энциклопедия Википедия [Электронный ресурс]. –URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Эффект\\_Коанда](https://ru.wikipedia.org/wiki/Эффект_Коанда)

УДК 504:711

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В РАЗВИТИИ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ В ЗИМБАБВЕ**

*Прайд Табвиракаре* соискатель кафедры гидротехнических сооружений ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, [pridetabvirakare@gmail.com](mailto:pridetabvirakare@gmail.com)

*Черных Ольга Николаевна*, доцент кафедры гидротехнических сооружений ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, [gtsmgur@mail.ru](mailto:gtsmgur@mail.ru)

**Аннотация:** *Представлены результаты анализа использования возобновляемых источников энергии в мировой гидротехнической практике. Отмечается, что в условиях Зимбабве переход к модели зеленой экономики и внедрение зеленых методов может позволить окупить экологические гидротехнические сооружения. Солнечные фотоэлектрические установки могут быть такими же доступными, как и технологические достижения.*

**Ключевые слова:** *альтернативная энергетика, возобновляемые источники энергии, гидроэлектростанция, солнечные фотоэлектрические установки, энергоэффективность, гидроузел.*