

УДК 621.311.21, 621.232.524, 681.513.1

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТИ В РАБОТЕ ШНЕКОВОЙ ГИДРОТУРБИНЫ

¹Умбетов Е.С., ¹Уткин Л.А., ²Омаров Р.А., ³Осмонов Ы.Д

¹НАО «Алматинский университет энергетики и связи, Алматы, e-mail: erumbetov64@mail.ru;

²НИИ электрификации и механизации сельского хозяйства, Алматы, e-mail: kazniimesh@yandex.kz;

³Кыргызский национальный аграрный университет, Бишкек, e-mail: Osmonov.yzman@mail.ru

Настоящая статья посвящена моделированию пространственного вязкого течения жидкости в проточной части микроГЭС. По результатам исследования получены локальные и интегральные характеристики рабочего процесса, показавшие возможность использования рабочей части турбины с различной конфигурации лопатки для эффективной работы установки.

Ключевые слова: шнековая гидротурбина, рабочее колесо, несжимаемая жидкость, микрогэс

MODELING OF FLUID FLOW IN THE AUGER HYDRO TURBINE

¹Umbetov E.S., ¹Utkin L.A., ²Omarov R.A., ³Osmonov I.D.

¹Almaty university of power engineering and telecommunication, Almaty, e-mail: erumbetov64@mail.ru;

²Research institute of electrification and mechanization of agriculture, Almaty,
e-mail: kazniimesh@yandex.kz;

³Kyrgyz National Agricultural University, Bishkek, e-mail: Osmonov.yzman@mail.ru

The article under review deals with the modeling of viscous fluid flow in the flow part of the micro hydropower plants. In the result of the research local and integral characteristics of the operation process were obtained, that showed the possibility of using the operation part of the turbine with blades of different configurations for effective operation of installation.

Keywords: auger hydro turbine, working wheel, incompressible fluid, micro hydro plant

Представлены результаты расчетного исследования пространственного течения вязкой несжимаемой жидкости в проточной части шнековой турбины. Проточная часть включала спиральную и цилиндрическую камеру, рабочее колесо в виде объемно-шнековой гидротурбины и отсасывающую трубу.

Известны исследования течения жидкости в осевых поворотно-лопастных гидротурбинах, которая имеет сложную пространственную структуру [1-2].

Известна работа А.В. Русанова и др. [3-4] в котором приведена математическое моделирование движения потока воды в прямоточной гидротурбине, которая выполнена приближенным методом позволяющие определить качественно физические свойства изучаемого явления. Для обоснования параметров гидротурбины были заданы начальные и граничные условия, которые позволили определить распределение скоростей на внешней и внутренней стороне лопастей гидротурбины. Используя расчетные данные, были разработаны профиль лопастей по его ширине и длине. Профиль лопастей имеет трехмерную размерность.

Однако анализ представленных работ показывает, что за счет изменения угла поворота лопастей, получают адаптированные гидротурбины к условиям эксплуатации.

Поэтому для рационального проектирования новых гидротурбин необходимо знать характеристики пространственного течения во всех элементах проточной части.

Нами представлен другой подход, где объемно-шнековая гидротурбина адаптирована к идеальному процессу пространственного течения жидкости.

Предлагаемая шнековая гидротурбина состоит условно из трех частей в котором учитываются все процессы объемного течения жидкости, в частности:

- режим входа в гидротурбину, т.е. изначально течение имеет вращательное течение, обусловленным углом наклона направляющих, соответственно верхняя часть турбины выполнена в виде спиральной камеры;
- режим плавного перехода для ускорения турбины, т.е. течение полностью подготавливается к переходу от потенциальной энергии в кинетическую энергию;
- режим закрутки, т.е. острый угол турбины полностью ускоряет вращательный момент.

Представленная шнековая гидротурбина учитывает и копирует все направления течения жидкости, т.е. объемный шнековый профиль полностью адаптирован к пространственному течению жидкости в цилиндрической камере проточной части.

Соответственно регулирование мощности происходит автоматически к условиям эксплуатации. Классически высота напора в поворотно-лопастных гидротурбинах имеет решающее значение для получения мощности, а в шнековой гидротурбине наиболее оптимально происходит течение жидкости, т.е. высота напора уменьшается на порядок, что обуславливает повышение энергетической эффективности микроГЭС.

Для моделирования были использованы следующие параметры микроГЭС, которые приведены в табл. 1.

Для моделирования использованы четыре типа профиля турбин:

- Турбина типа шнек;
- Турбина –шнек с изменяющимся шагом;
- Турбина –шнек сложным профилем лопасти;
- Турбина – шнек с использованием п. 2) и 3).

Моделировалась работа турбин при следующих условиях:

- 1) Изменение расхода воды при постоянном напоре и частоте вращения турбин;
- 2) Изменение напора воды при постоянстве расхода воды и скорости вращения турбины.

Моделирование турбулентных эффектов выполнялось с помощью ПО Comsol 4.3.

Для моделирования течения в проточной части агрегата микроГЭС, состоящего из входного цилиндра, использовалась расчетная сетка с суммарным числом ячеек около 800 тысяч, сеточная независимость была проверена путем выполнения расчетов для одного из режимов на более густой и более разреженной сетках. На входе в гидродинамическую камеру во всех случаях задавался расход соответствующий скорости потока 2 м/с, на выходе – статическое давление. Общий вид сетки показан на рис. 1.

Таблица 1

Заданные параметры для микроГЭС

Параметры	Значения
Напор (нетто), м	3,5-7
Расход воды, м ³ /с	0,1-0,25
Вырабатываемая мощность, кВт	до 10
Частота вращения, об/мин	1500
Диаметр рабочего колеса, мм	150
Диаметр подводящего трубопровода, мм	200

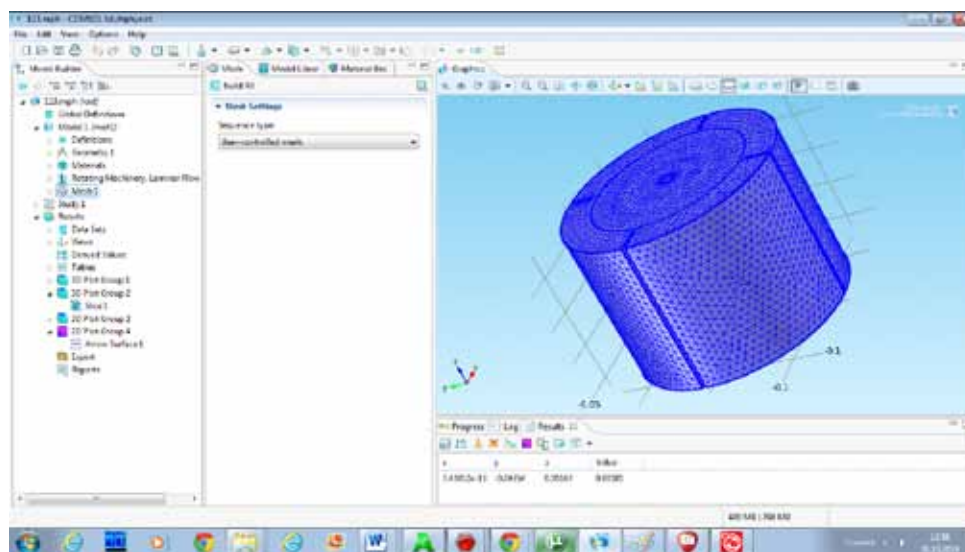


Рис. 1. Расчетная область гидротурбины микроГЭС с построенной сеткой

Расчеты выполнены для пяти потока воды при постоянной частоте вращения рабочего колеса $n = 1500 \text{ мин}^{-1}$. Результатами расчетов являются кинематические характеристики пространственного потока, значения скоростей и давлений во всей области течения, обработка которых позволило определить такие величины, как потери энергии в элементах проточной части, КПД, мощность и др.

На рис. 1.2 показаны турбулентный поток на кромках лопастей при значении скорости потока $8,03 \text{ м/с}$.

На рис. 3 приведены эпюры распределения давления P на лицевой и тыльной сторонах лопасти расположенных вблизи втулочного, среднего и периферийного ци-

линдрических сечений (соответственно 90, 50 и 10% размаха лопасти) для режима с $v = 10,3 \text{ м/с}$. Характер обтекания лопасти на данном режиме носит безотрывный характер с отсутствием значительных градиентов давления P по высоте, что обеспечивает отсутствие перетоков по размаху лопасти.

На рис. 4 представлена визуализация векторного поле скоростей, полученная для одного из режимов работы, из которой видно, что течение в проточной части гидротурбины микроГЭС, является безотрывным. На данном режиме показано частичное срабатывание циркуляции, что свидетельствует о необходимости доработке профиля для создания близкого к осевому углу выхода потока из лопастной системы.

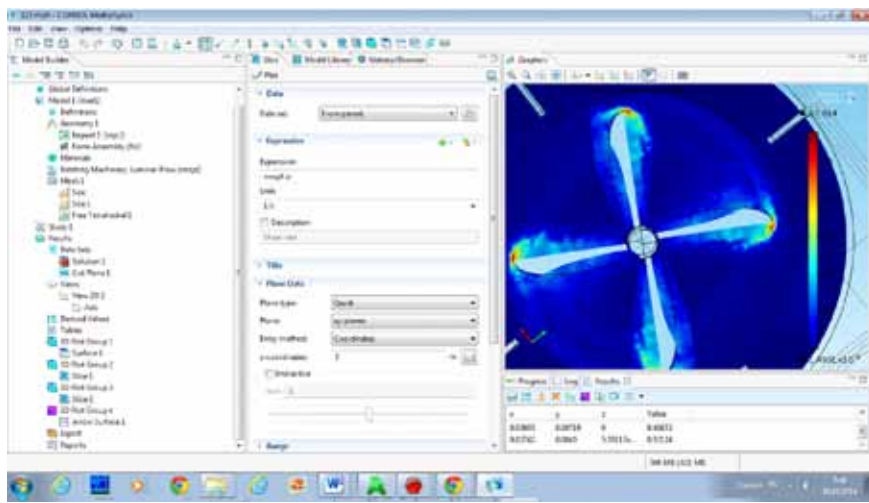


Рис. 2. Турбулентность потока гидротурбины на кромке при входе на рабочую поверхность

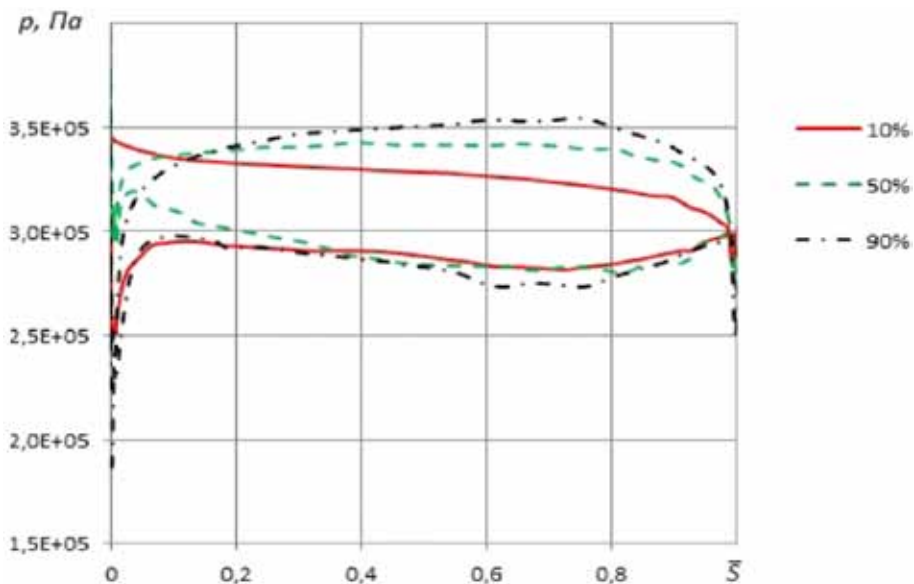


Рис. 3. Распределение давления по поверхности лопасти

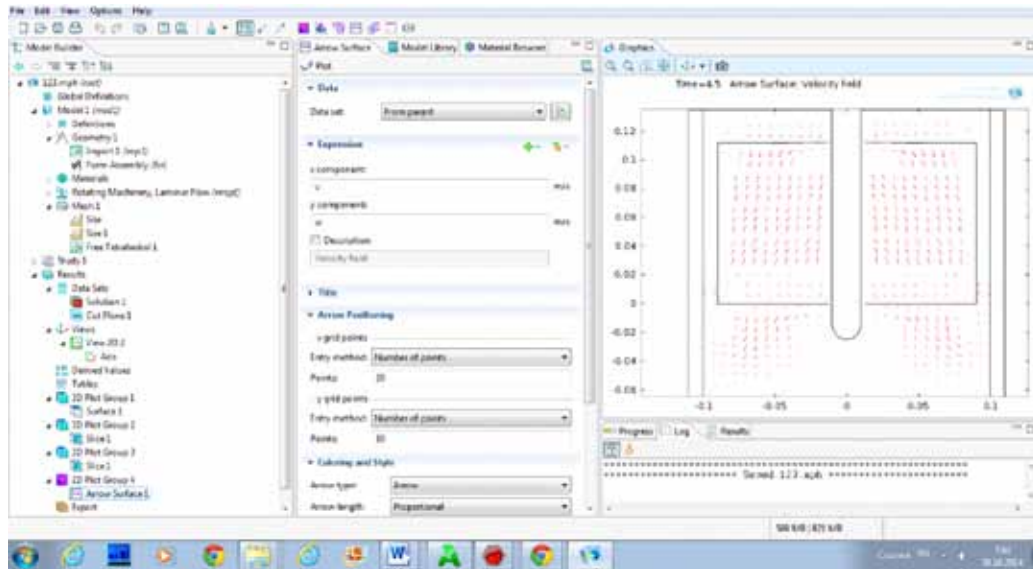


Рис. 4. Векторное поле скоростей по поверхности лопасти

На рис. 5–7 приведены зависимости от изменения расхода Q (или скорости потока) гидравлической мощности, приложенного напора H и гидравлического КПД проточной части турбины. Из представленных результатов видно, что проточная часть гидротурбины микроГЭС обладает относительно высокими энергетическими показателями во всем рассмотренном диапазоне напоров. На режимах минимальных напоров наблюдается снижение величины КПД на 8-10%, что приводит к уменьшению

генерируемой мощности. При изменении профиля наблюдается повышение КПД до 5% и, соответственно, величина генерируемой мощности до 1 кВт, при этом значение КПД близко к максимальному (на уровне 92%). Полученные результаты указывают на возможность применения проточной части при больших напорах (при условии использования соответствующих генератора и регулятора частоты). Турбина со сложным профилем и с изменяющимся шагом имеет наилучшие характеристики.

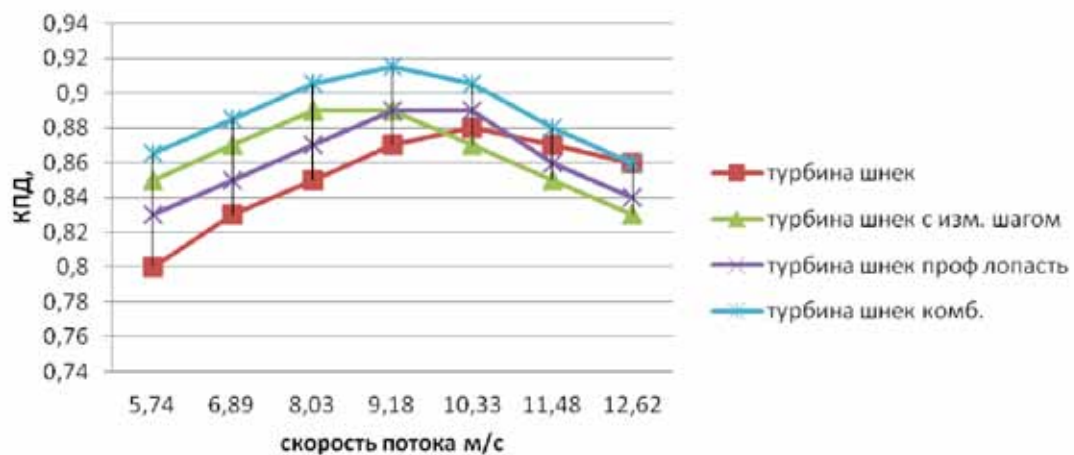


Рис. 5. Зависимости КПД микроГЭС от скорости потока

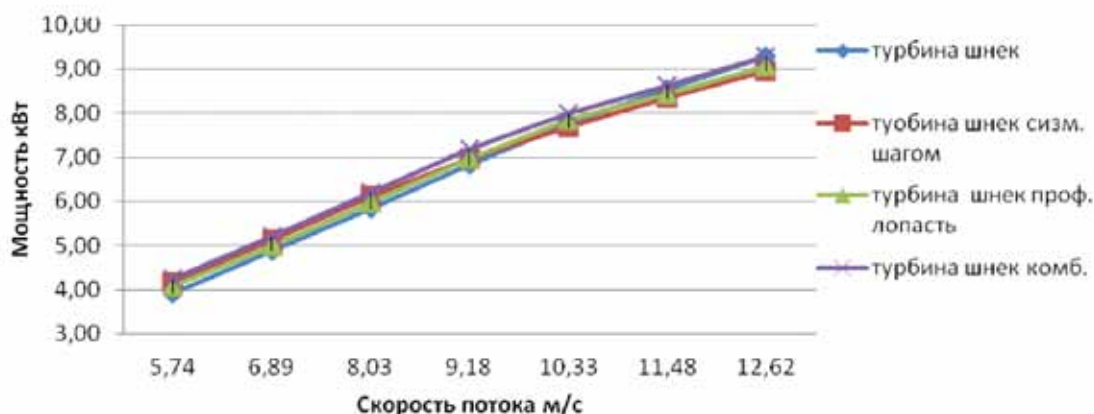


Рис. 6. Зависимости мощности микроГЭС от скорости потока

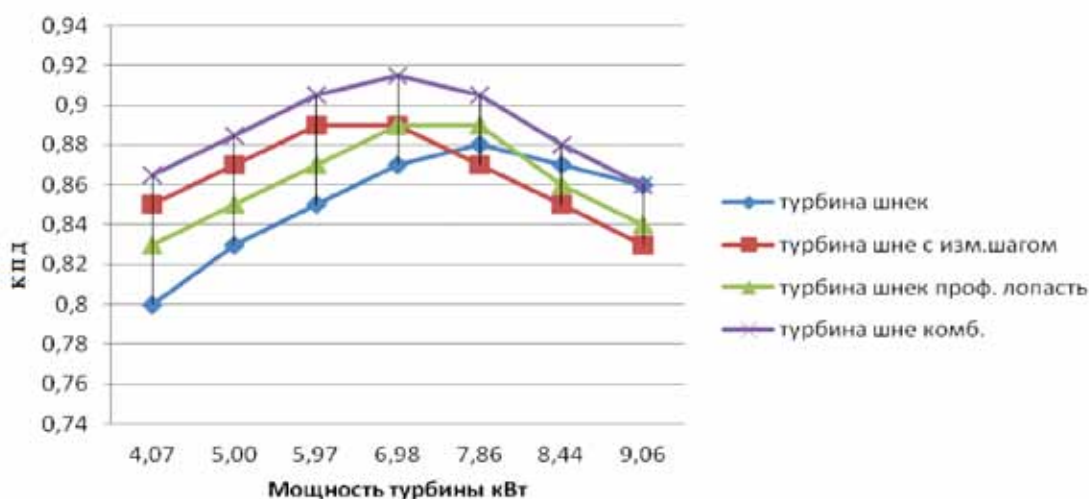


Рис. 7. Зависимости КПД от вырабатываемой мощности микроГЭС

Выводы

1. Выполнено моделирование пространственного вязкого течения жидкости в проточной части микроГЭС, по результатам которого получены локальные и интегральные характеристики рабочего процесса, показавшие возможность использования рабочей части турбины с различной конфигурации лопатки для эффективной работы установки.

2. На режимах минимальных напоров наблюдается снижение величины КПД на 8-10%, что приводит к уменьшению генерируемой мощности.

3. При изменении профиля наблюдается повышение КПД до 5% и, соответственно, величина генерируемой мощности до 9,3 кВт.

4. Полученные данные необходимы для выбора направления работ по оптимизации обеспечения эффективной работы установки.

Список литературы

1. Иванов В.М. и др. Гидроэнергетическая установка с осевой гидротурбиной новой оригинальной конструкции и гидравлический стенд для комплексного моделирования проточных частей гидротурбин // Ползуновский Вестник. – 2010. – № 4/2. – С.54–60.
2. Этинберг И.Э. Теория и расчет проточной части поворотной-лопастных гидротурбин / И.Э. Этинберг. – Л.: Машиностроение, 1965.–350 с.
3. Русанов А.В. и др. Численное исследование физических процессов в проточной части осевой поворотной-лопастной гидротурбины // Авиационно-космическая техника и технология. – 2011. – № 10(87). – С.49–52.
4. Иванов В.М. и др. К вопросу о методике расчета проточной части осевых гидротурбин гидроэнергетических установок малой мощности // Ползуновский Вестник. – 2010. – № 4/2. – С.61–69.