

09, сентябрь 2016

УДК 621.224.7

Экспериментальные исследования низконапорной микроГЭС с сифонным водоводом и анализ её эксплуатационных параметров¹

*Дружинин А.А., магистрант
Россия, 111250, г. Москва, НИУ «МЭИ»,
кафедра «Паровых и Газовых Турбин им. А.В. Щегляева»,
подразделение «Гидромеханики и Гидравлических Машин им. В.С. Квятковского»*

*Научный руководитель: Волков А.В., д.т.н, профессор
Россия, 111250, г. Москва, НИУ «МЭИ»
VolkovAV@mpei.ru*

Современное положение гидроэнергетического потенциала (ГЭП) показывает необходимость разработки гидравлического оборудования, способного к эффективной выработке электроэнергии в условиях малых равнинных рек нашей страны, т.е. при низких располагаемых напорах и скоростях течения в русле. На основании этой задачи, входящей в госпрограмму «Энергоэффективность и развитие энергетики» на период 2013-2020 г. проведена научно-исследовательская работа по разработке и экспериментальным исследованиям модели микроГЭС [1]. На последующих этапах исследований разработан полноразмерный гидроагрегат микроГЭС [2], представленный на рис. 1 с целью исследования работоспособности и характера изменения параметров гидроэнергетической уста-

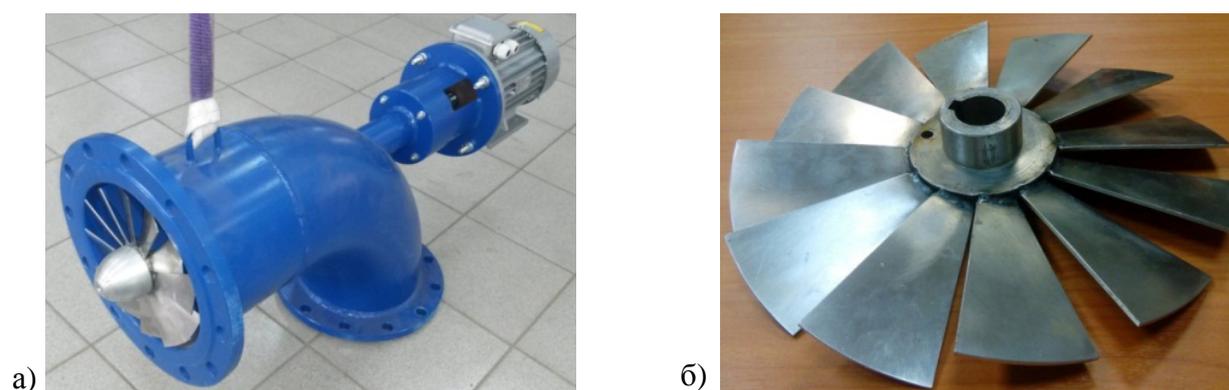


Рис. 1. Фотоснимок гидроэнергетической установки:

а – гидроагрегат в сборе, б – осевое рабочее колесо гидроагрегата

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках Соглашения о предоставлении субсидии №14.574.21.0076 от 27.06.2014 г. (уникальный идентификационный номер RFMEFI57414X0076).

новки (ГЭУ) в реальных условиях эксплуатации. Она представляет собой гидроагрегат с пропеллерной гидротурбиной со следующими техническими характеристиками:

номинальная мощность эл. машины	2,2 кВт;
синхронная частота вращения вала эл. машины.....	1000 об/мин;
расчётная частота вращения выходного вала гидротурбины.....	1000 об/мин;
внешний диаметр рабочего колеса гидротурбины.....	0,25 м;
полный расчётный напор гидротурбины	1,33 м;
масса гидроагрегата в сборе.....	37 кг.

Для возможности проведения экспериментальных исследований, на базе насосной станции лаборатории гидроаэромеханики НИУ «МЭИ» (рис. 2), разработан и реализован гидротурбинный стенд с установленным на нём гидроагрегатом. Снятие экспериментальных параметров осуществлялось прямым измерением давлений и скорости потока.



Рис. 2. Гидротурбинный лабораторный стенд НИУ «МЭИ»

Все эксперименты основную часть времени проходили при малых изменениях расхода, что подтверждает практически эквидистантный характер изменения напора и мощности гидроагрегата на осциллограммах (рис. 3,4), полученных непрерывным считыванием параметров со стенда по времени.

Осциллограмма мощности гидроагрегата (см. рис. 3), демонстрирующая переход ГЭУ из насосного режима в турбинный, показывает устойчивость и кратковременность данного процесса (2,5 – 3,0 с.), доказывая её работоспособность.

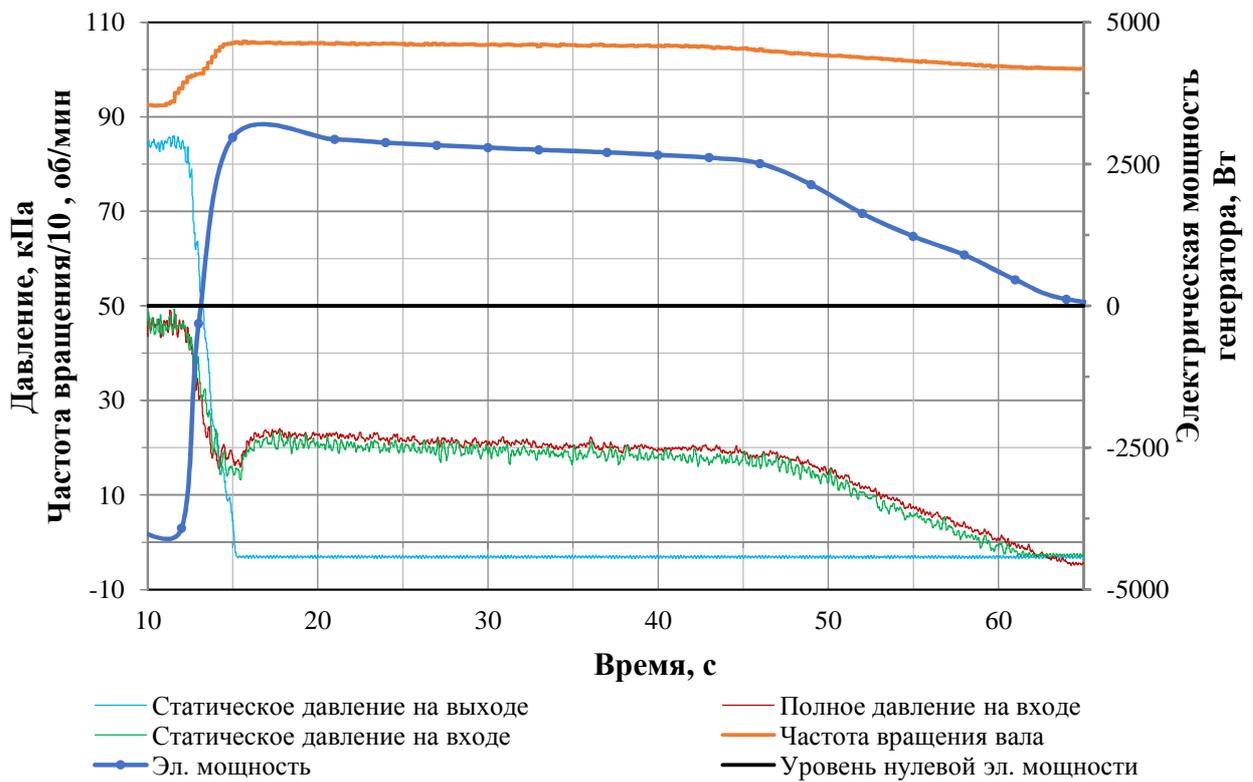


Рис. 3. Осциллограмма параметров $p_1, p_2, p_3, N, n=f(t)$ гидроагрегата микроГЭС, $n=1000 \text{ мин}^{-1}$

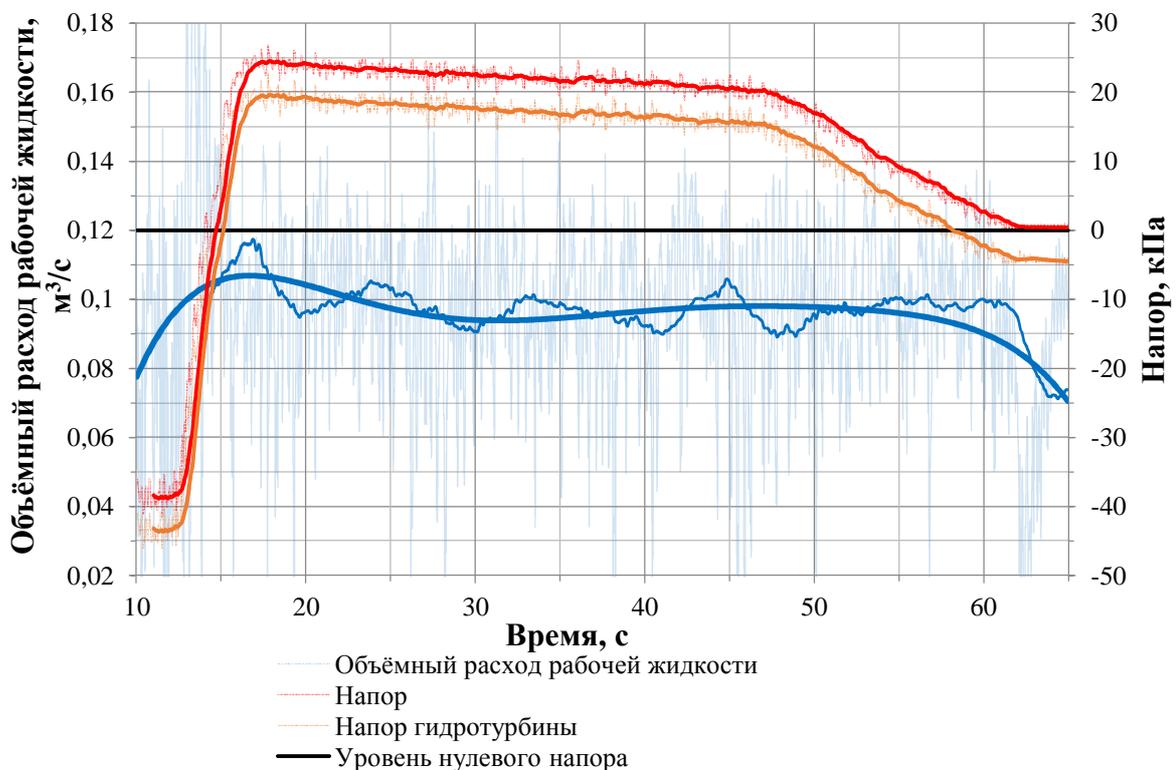


Рис. 4. Осциллограмма параметров $H, H_{гт}, Q=f(t)$ гидроагрегата микроГЭС, $n=1000 \text{ мин}^{-1}$

Максимальная мощность N_{max} гидроагрегата, полученная в ходе экспериментальных исследований составила $N_{max} = 2,970$ кВт, что превышает расчётное значение $N_{max}=1,5$ Вт при частоте вращения приводного вала $n = 1000$ об/мин. Однако, в реальных условиях эксплуатации микроГЭС на объекте, имеют место колебания уровней бьефов, влекущих за собой изменение параметров потока, а также и колебания нагрузки в зависимости от варьируемого количества подключённых потребителей. Это влечёт за собой эксплуатацию гидроагрегата на нерасчётных режимах, поэтому необходимо оценить энергетическую эффективность ГЭУ за пределами оптимальной рабочей точки. Для этого проведены исследовательские испытания гидроагрегата методом сравнения экспериментальных характеристик, полученных для различных значений напора при различных частотах вращения вала, с расчётными характеристиками, причём диапазон изменения H определялся возможностями экспериментального стенда, а изменение n было выбрано в диапазоне от 600 об/мин до 1200 об/мин с шагом 100 об/мин. Далее, на рис. 5,6 приведены аналогичные осциллограммы эксплуатационных параметров гидроагрегата для крайних частот вращения из исследуемого диапазона: $n=600$ об/мин и $n=1200$ об/мин.

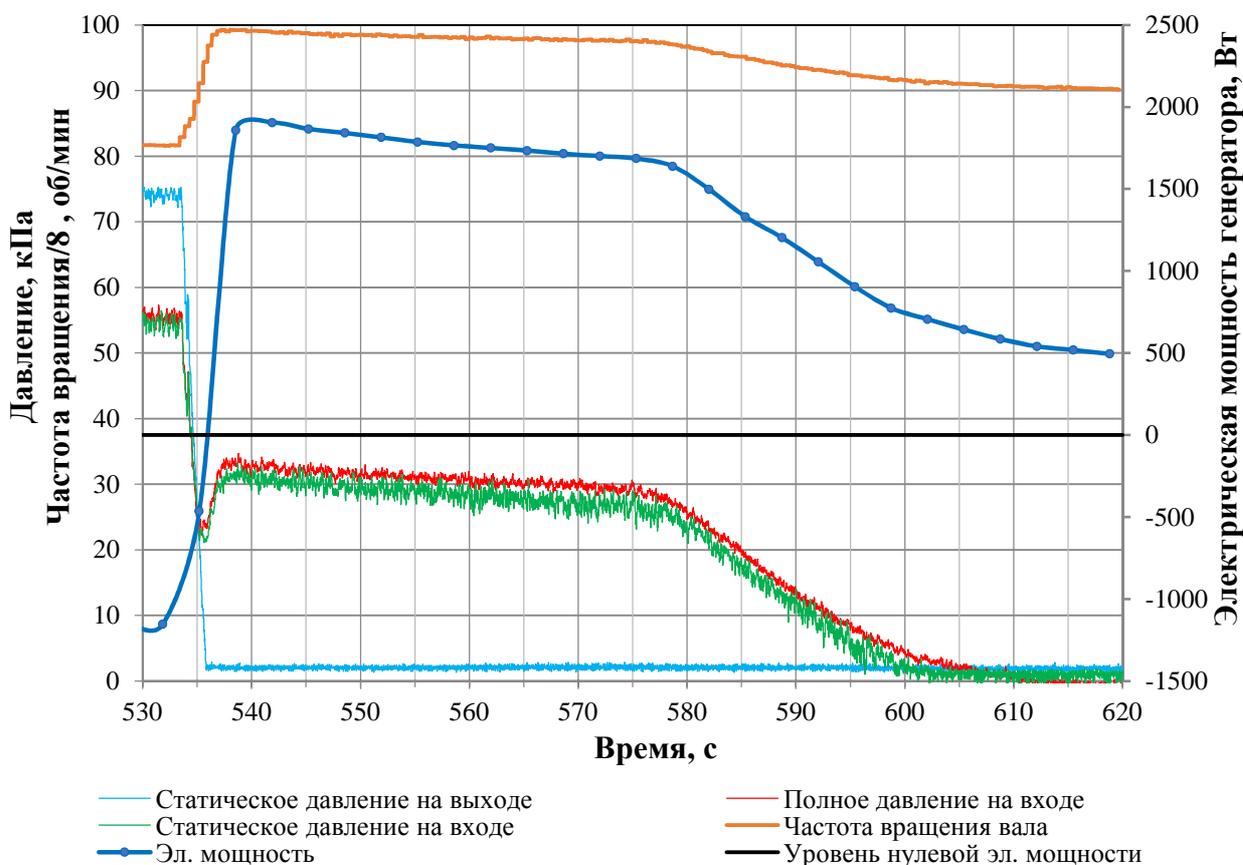


Рис. 5. Осциллограмма параметров $p_1, p_2, p_3, N, n=f(t)$ гидроагрегата микроГЭС, $n=600$ мин⁻¹

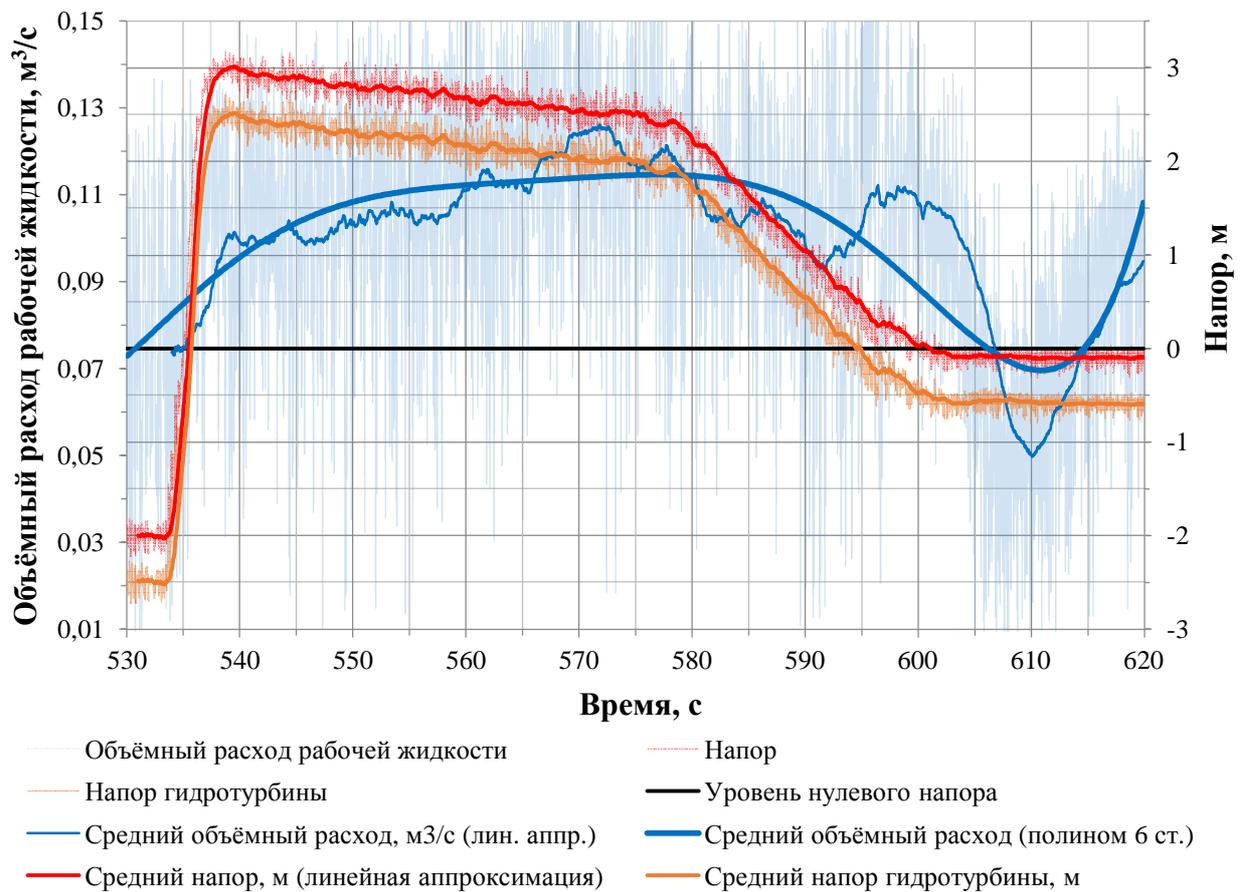


Рис. 6. Осциллограмма параметров $H, H_{ГТ}, Q=f(t)$ гидроагрегата микроГЭС, $n=600 \text{ мин}^{-1}$

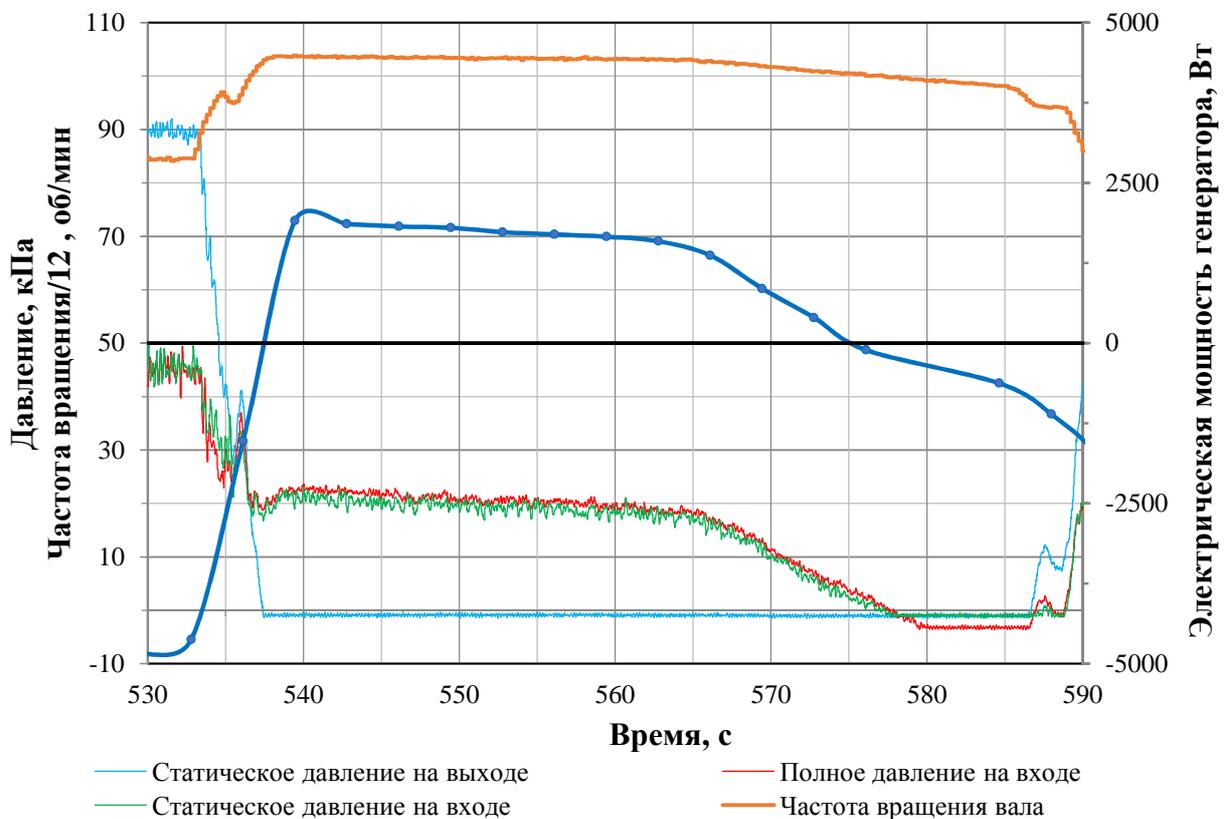


Рис. 7. Осциллограмма параметров $p_1, p_2, p_3, N, n=f(t)$ гидроагрегата микроГЭС, $n=1200 \text{ мин}^{-1}$

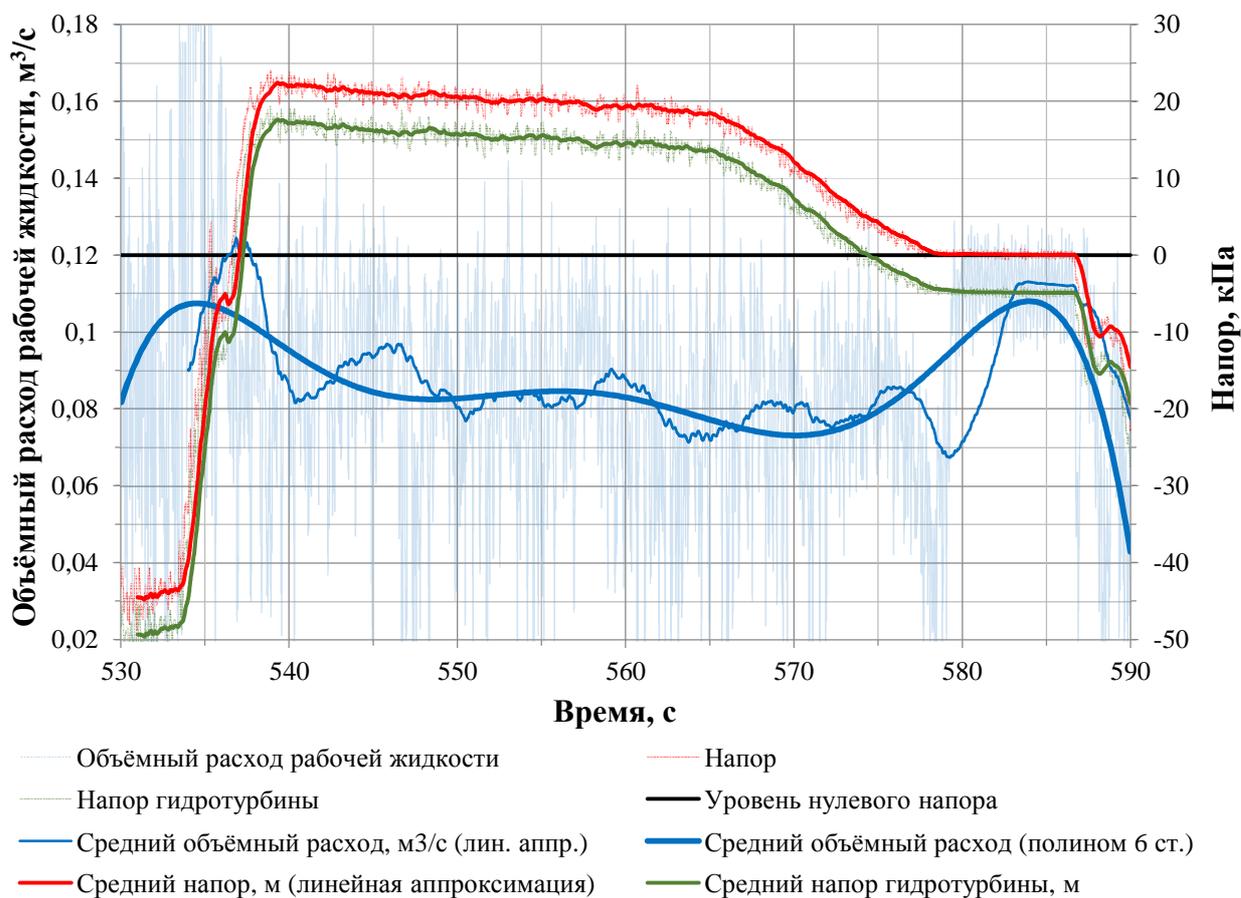


Рис. 8. Оциллограмма параметров $H, H_{ГТ}, Q=f(t)$ гидроагрегата микроГЭС, $n=1200 \text{ мин}^{-1}$

Экспериментальные исследования гидроагрегата проходили при малых изменениях расхода, что подтверждает практически эквидистантный характер изменения напора и мощности гидроагрегата на оциллограммах. Причём напор, представленный на рис. 4,6,8, плавно снижается во времени с практически постоянной тенденцией. Вышеуказанные факты объясняются конструктивными особенностями стенда, схема которого изображена на рис. 9. Постепенное снижение уровня жидкости в верхнем резервуаре (поз. 1) вызывает снижение расхода, однако при этом скорость потока v и подача Q через гидротурбину меняются незначительно, т.к. влияние падающего напора компенсируется ростом производительности насосов (поз.2,3). Результаты измерения параметров гидроагрегата микроГЭС (см. рис. 4,6,8), получены расчётной обработкой эксплуатационных параметров, снимаемых со стенда (рис. 3,5,7). Необходимо обратить внимание на тот факт, что показания датчиков давления имеют значительный высокочастотный шум, который переносится и на рассчитываемые параметры, что не позволяет качественно оценить полученные результаты и провести их анализ. Наличие высокоамплитудного шума объясняется очень малым диаметром приёмников давления в датчиках по сравнению с «живым» сечением потока. Это приводит к тому, что даже малые вихреобразования в турбу-

лентном потоке оказывают значительное влияние на параметры жидкости в

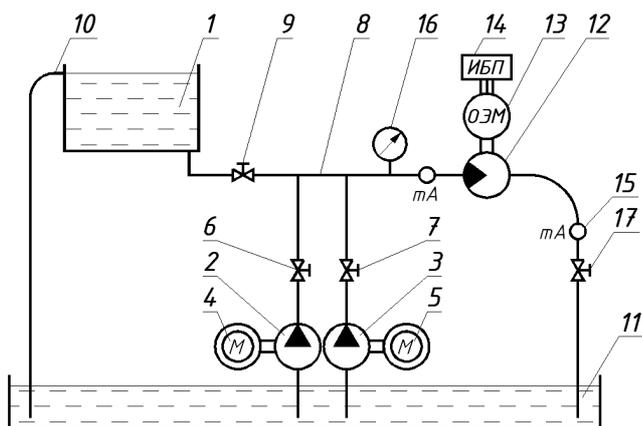


Рис. 9. Принципиальная схема гидротурбинного лабораторного стенда «НИУ «МЭИ»:
1 – резервуар; 2, 3 – насос; 4, 5 – электродвигатель; 6, 7 – напорная задвижка; 8 – трубопровод; 9 – входная задвижка; 10 – сбросной трубопровод резервуара; 11 – бассейн нижнего уровня; 12 – осевая обратимая гидравлическая машина; 13 – обратимая электрическая машина; 14 – измерительный блок параметров электропитания; 15 – расходомер скоростного напора Прандтля; 16 – мановакуумметр; 17 – регулирующая задвижка

измерительных каналах датчиков давления. Для подавления шума на осциллограммах применён алгоритм фильтрации высокочастотных помех, основанный на осреднении показаний датчиков за определённый промежуток времени [3]. Результаты линейной фильтрации представлены на графических зависимостях ярко выраженными линиями, наложенными на «погашённые» исходные сигналы на тех же рисунках.

Результаты выполненной работы показывают, что вырабатываемая максимальная электрическая мощность гидроагрегатом даже при эксплуатации на нерасчётных режимах превышает расчётное значение мощности. Так, при частоте вращения приводного вала $n = 600$ об/мин максимальная мощность составила $N_{max}=1,904$ кВт, а при $n=1200$ об/мин - $N_{max}=1,912$ кВт. Таким образом, гидроагрегаты, подобные представленному, и спроектированные по разработанной методике [4], могут быть представлены для решения задач освоения ГЭП малых рек, электроснабжения автономных потребителей, отвечая высокому уровню энергетической эффективности.

Список литературных источников

- [1]. Дружинин А.А. К вопросу о проектировании понтонной низконапорной микроГЭС // Молодёжный научно-технический вестник. 2015. № 9. Режим доступа: <http://sntbul.bmstu.ru/doc/801672.html>.
- [2]. Викторов Г.В. Подобие и моделирование в гидромашинах. М.: МЭИ, 1980. 85 с.

- [3]. Аксёнова Е.Н. Элементарные способы оценки погрешностей результатов прямых и косвенных измерений. М.: Изд. МИФИ, 2003. 16 с.
- [4]. Šoukal J., Pochylý F., Varchola M., Парыгин А.Г., Волков А.В., Хованов Г.П., Наумов А.В. Выбор параметров осевых турбин для низконапорных микроГЭС // Теплоэнергетика, 2015. № 12. С. 23-28.