

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ НАТУРНЫХ ИСПЫТАНИЙ В ЦЕЛЯХ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГЕНЕРИРУЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

И.Л. РИГА, Ю.С. ЛЯСИНА, М.М. СУЛТАНОВ

Филиал Национального исследовательского университета «МЭИ» в
г. Волжском

Энергоэффективность работы ГЭС напрямую зависит от качества работы энергетического оборудования. Необходимость повышения энергоэффективности диктует существующая в настоящее время система координат, в которой приходится жить и работать: это ОРЭМ (рынок электроэнергии и мощности), рейтинг компании как ОАО, федеральный закон об энергоэффективности и энергосбережении, налог на используемые ресурсы (вода), экологические и другие надзорные органы. Чем выше КПД при производстве электроэнергии и мощности, тем выше энергоэффективность работы гидрогенераторов и, соответственно, успешнее компания, владеющая данным производственным комплексом. Оценить энергоэффективность производства можно с помощью энергетических испытаний. Энергетические испытания выполняются абсолютным и индексным методами. Абсолютный метод предусматривает определение фактических значений КПД. При индексном методе определяется индексное или относительное значение КПД, т.е. степень изменчивости КПД от мощности. При проведении испытаний используется ГОСТ 28842-90 и Международные правила натурных приемочных испытаний по определению гидравлических характеристик турбин, аккумулирующих насосов и обратимых турбин. По результатам испытаний строится эксплуатационная характеристика гидроагрегата, на которой указываются фактические значения КПД в абсолютных единицах. В процессе энергетических испытаний определяются потери напора в водоподводящем тракте. Полученные в результате испытаний графики оптимальных комбинаторных зависимостей сравниваются с рекомендованными заводом-изготовителем и фактическими комбинаторными зависимостями. При несоответствии фактических и оптимальных комбинаторных зависимостей производится наладка комбинаторной связи.

Ключевые слова: энергоэффективность, энергетическое оборудование, энергетические испытания, абсолютный метод, индексный метод.

Введение

Для организации эффективной и надежной эксплуатации гидротурбинных установок необходимо после комплексного их опробования (в период освоения) провести натурные испытания. Эти испытания позволят: выявить недостатки проектирования, изготовления и монтажа оборудования; проверить выполнение технических условий и заводских гарантий по энергетическим и механическим характеристикам, гарантий регулирования гидротурбин; проверить надежность отдельных узлов и гидроагрегатов в целом; установить оптимальные режимы и условия работы гидроагрегатов; определить действительные запасы статической и

динамической устойчивости гидрогенераторов при параллельной работе в энергосистеме [1–6].

Энергетические испытания могут выполняться абсолютным и индексным методами.

1. Абсолютный метод

Абсолютный метод предусматривает определение фактических (абсолютных) значений КПД. При проведении испытаний следует руководствоваться требованиями ГОСТ 28842-90 и Международных правил натурных приемочных испытаний по определению гидравлических характеристик турбин, аккумулирующих насосов и обратимых турбин (стандарт МЭК 4 (ЦБ) 48). При проведении испытаний абсолютным методом рекомендуется использовать наиболее отработанный в отечественной практике метод «площадь – скорость», при котором расход воды определяется интегрированием поля местных скоростей, измеряемых гидрометрическими вертушками. При этом испытания следует проводить при напоре, близком к расчетному. При проведении испытаний абсолютным методом должна быть произведена градуировка расходомерного створа спиральной камеры, которая может быть использована для определения энергетических характеристик в полном диапазоне изменений напора путем проведения испытаний индексным методом.

2. Индексный метод

Для проведения испытаний индексным методом необходимо наличие как минимум двух пьезометрических выводов из спиральной камеры, расположенных в одном и том же радиальном ее сечении, один из которых размещается на внешнем радиусе спирали, другой – на внутреннем радиусе у статорных колонн. Испытания индексным методом должны проводиться на всех гидроагрегатах ГЭС не менее чем при трех значениях напоров, охватывающих полный диапазон их изменения (при выполнении гарантий завода-изготовителя по высоте отсасывания).

При выполнении работ по модернизации гидротурбинного оборудования рекомендуется выполнять испытания индексным способом как старой, так и вновь установленной гидротурбины.

По результатам испытаний строится эксплуатационная характеристика гидроагрегата, на которой должны быть указаны либо фактические значения КПД (при известной градуировке), либо прогнозируемые значения КПД в абсолютных единицах (полученные из условия равенства максимального значения индексного КПД максимальному значению КПД, гарантированному заводом-изготовителем). В процессе энергетических испытаний должны быть определены потери напора в водоподводящем тракте. Испытания по определению оптимальной комбинаторной зависимости поворотного-лопастных гидротурбин должны проводиться на всех вновь введенных в эксплуатацию гидроагрегатах, а также после замены или модернизации турбинного оборудования не менее чем при трех значениях напоров, охватывающих полный диапазон их изменения. При этом гидроагрегат должен работать на ручном регулировании с разобщенной комбинаторной связью. Оптимальные по КПД соотношения между открытиями направляющего аппарата и углами разворота лопастей рабочего колеса получают из пропеллерных характеристик. Каждая такая характеристика представляет собой зависимость индексного КПД от мощности гидроагрегата при неизменном угле разворота лопастей. В некоторых случаях такую характеристику удобнее строить при неизменном открытии направляющего аппарата. Полученные в результате испытаний графики оптимальных комбинаторных

зависимостей следует сравнить с рекомендованными заводом-изготовителем и фактическими комбинаторными зависимостями. При несоответствии фактических и оптимальных комбинаторных зависимостей следует произвести наладку комбинаторной связи. При больших несоответствиях, не устранимых наладкой, следует изменить профиль пространственного кулачка комбинатора или произвести перепрограммирование устройства, задающего комбинаторную зависимость.

3. Энергетические испытания гидроагрегата №20 на Волжской ГЭС

Целью энергетических испытаний гидроагрегата №20 на Волжской ГЭС являлось:

- определение формы рабочих характеристик гидроагрегата и гидротурбины;
- определение мощностной и расходной характеристик гидроагрегата;
- проверка гарантий по мощности гидротурбины и соответствия формы фактической рабочей характеристики гидротурбины с данными завода-изготовителя;
- определение оптимальных комбинаторных зависимостей гидротурбины и эксплуатационной характеристики.

Энергетические испытания были проведены при напорах ГЭС 24,15; 21,21 и 17,29 м. В результате испытаний получены индексные энергетические характеристики гидроагрегата и турбины, оптимальные комбинаторные зависимости, эксплуатационная и расходно-мощностная характеристики [2].

Результаты натурных испытаний показали различия с заводскими характеристиками гидроагрегата. На эксплуатационной характеристике (рис. 1) видно, что при одинаковом КПД и расходе воды можно добиться более высоких показателей по выработке мощности, изменяя напор воды.

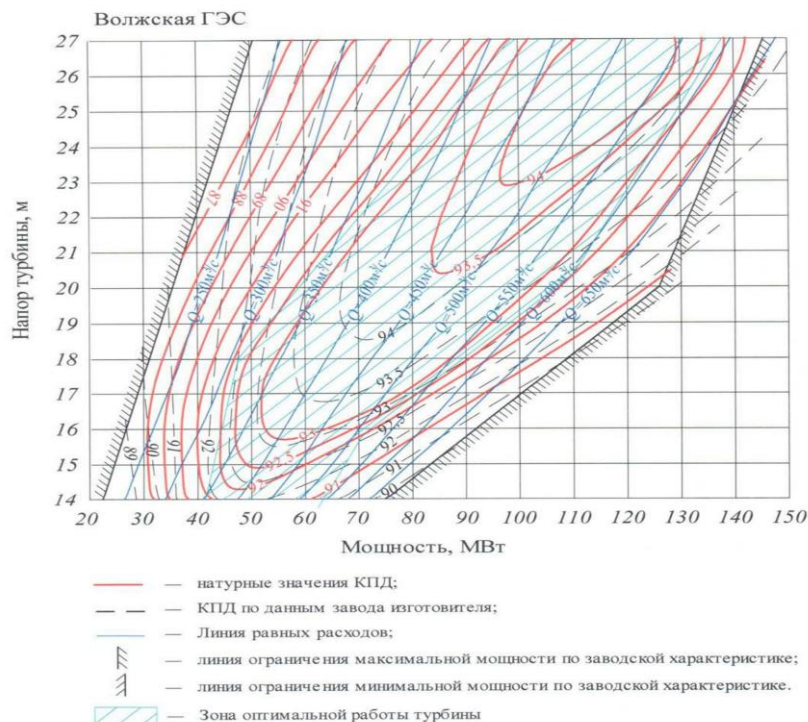


Рис. 1. Натурная эксплуатационная характеристика гидротурбины №20

4. Анализ режимов гидротурбины

В теплоэнергетике для выбора оптимального режима работы паротурбинного оборудования ТЭЦ используются энергетические характеристики в зависимости от вида и расхода топлива на производство электроэнергии и тепла [7].

$$B = \bar{\alpha} + \bar{\beta}N_{\text{Э}} + \bar{\chi}Q_{\text{Т}},$$

где $N_{\text{Э}}$ – электрическая мощность турбоагрегата, МВт; $Q_{\text{Т}}$ – тепловая мощность, МВт; $\bar{\alpha}$, $\bar{\beta}$ и $\bar{\chi}$ – константы теплоэнергетического оборудования энергоблока ТЭЦ, определяемые по трем режимам работы турбоагрегата.

Проведём анализ режимов гидротурбины при различных напорных характеристиках для $N_{\text{Э}} = \text{const}$ (табл.), равной 80, 90, 100 МВт. Выбор оптимального режима нагрузки гидротурбины будем производить по зависимости

$$Q = f(N_{\text{Э}}, H_{\text{ГЭС}}, \eta^{\text{max}}),$$

где Q – расход воды, м³/с; $N_{\text{Э}}$ – электрическая мощность гидротурбины, МВт; $H_{\text{ГЭС}}$ – напор ГЭС, м; η^{max} – КПД гидротурбины, %.

Таблица

Выбор оптимального режима нагрузки гидротурбины						
Мощность $N_{\mathcal{D}}$, МВт						$H_{\text{ГЭС}}$, м
80		90		100		
Q , м ³ /с	η , %	Q , м ³ /с	η , %	Q , м ³ /с	η , %	
536	92,5	616	91,5	700	90,5	17
463	93,3	528	93,3	596	92,5	19
422	93,4	475	93,4	529	93,3	21
375	93,5	418	94,1	464	94,2	24

Для заданного диапазона нагрузок и напорных характеристик определяем наиболее выгодный режим выработки электроэнергии (рис. 2, 3).

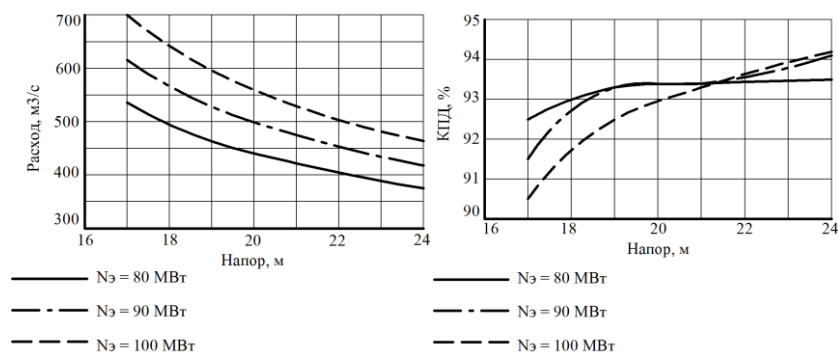


Рис. 2. Зависимость расхода воды от напора Рис. 3. Зависимость КПД от напора

Из графиков видно, что наиболее оптимальный режим работы гидроагрегата будет при напоре, равном 24 м, КПД – 94%, расходе воды – 418 м/с и выработке мощности – 90 МВт.

Вывод

На базе рассмотренных методов проведения натурных испытаний предложена оптимальная методика энергетических испытаний генерирующего оборудования ГЭС. По результатам анализа полученных характеристик предлагается выбор наилучшего режима выработки электроэнергии для условий работы оборудования с различными расходно-напорными характеристиками.

Summary

Energy hydroelectric works depends on the quality of the energy equipment. Increasing the energy efficiency of our dictates that the coordinate system in which we now live and work: it is the wholesale market (electricity and capacity market), ranking the company as OJSC, the Federal Law on energy efficiency and energy saving, tax on used resources (water), environmental and other regulatory authorities. The higher efficiency of the production of electricity and power, the greater the energy efficiency work and SG, respectively, according to the owner of a successful company manufacturing complex. Rate energy efficiency of production can use the power tests. Energy test carried out absolute and index methods. Absolute method involves determining the actual values of efficiency. If the index is determined by the index method, or the relative importance of efficiency, ie, the degree of variability of power efficiency. When testing used GOST 28842-90 and International rules of field acceptance tests to determine the hydraulic characteristics of turbines, accumulating pumps and reversible turbines. According to the results of tests based operational characteristics of the hydraulic unit, which indicated the actual efficiency values in absolute units. During power tests specified pressure losses in water-supply path. The resulting test charts optimal combinatorial dependencies compared to the recommended by the manufacturer and the actual combinatorial dependencies.

At discrepancy of the actual and optimal combinatorial dependencies adjustment made combinatorial communication. For large discrepancies are not fixed in adjustment, change the spatial profile of the cam schemer or produce the reprogramming device defining a combinatorial relationship.

Key words: Energy efficiency, power generating equipment, energy test, absolute method, the index method.

Литература

1. Методические указания по проведению натурных испытаний гидротурбинных агрегатов при вводе их в эксплуатацию на ГЭС. Москва: СПО ОРГРЭС, 2001. 13 с.
2. Дмитриев С.Г., Минаков В.А., Козлов Д.Д., Федосеев И.А. Вибрационные испытания гидроэнергетического оборудования. Натурные испытания гидроагрегатов №13, 20, 21. Проведение вибрационных испытаний гидрогенераторов №5, 20 для перемаркировки на большую мощность Филиала ОАО «Русгидро» - «Волжская ГЭС»: технический отчет (этап 3). Москва, 2014. 75 с.
3. Правила безопасности при обслуживании гидротехнических сооружений и гидромеханического оборудования энергоснабжающих организаций: РД 153-34.0-03.205-2001. М.: «Издательство НЦ ЭНАС», 2001.
4. ГОСТ 28842-90. Турбины гидравлические. Методы натурных приемочных испытаний.
5. Объем и нормы испытаний электрооборудования: РД 34.45-51.300 - 97. М.: ЭНАС, 1998.
6. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации: РД 34.20.501-95. М.: СПО ОРГРЭС, 1996.
7. Кузеванов В.С., Султанов М.М. О распределении нагрузки между энергоблоками с разными видами органического топлива // Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология. 2015. №17–18(181–182). С.128–132.

Поступила в редакцию

21 декабря 2016 г.

Рига Игорь Леонидович – магистрант филиала Национального исследовательского университета Московского энергетического института (НИУ МЭИ) в г. Волжском. Тел. 8-905-398-08-33. E-mail: Irigaigor@yandex.ru.

Ляпина Юлия Сергеевна – магистрант филиала Национального исследовательского университета Московского энергетического института (НИУ МЭИ) в г. Волжском. Тел. 8-961-692-63-90. E-mail: lyasinajulia@yandex.ru.

Султанов Махсуд Мансурович – канд. техн. наук, доцент кафедры «Теплоэнергетика и теплотехника» Национального исследовательского университета Московского энергетического института (НИУ МЭИ) в г. Волжском. Тел 8-960-875-00-06. E-mail: sultanov_mm@mail.ru.