

Концепция гидротурбины мощностью 1020МВт для Эвенкийской ГЭС.

Демьянов В. А., Пылев И. М., Сотников А. А.

ОАО «Силовые машины» филиал «ЛМЗ»

Сооружение одной из крупнейших в мире Эвенкийской ГЭС в Сибири планируется в соответствии с Генеральной схемой размещения объектов электроэнергетики до 2020 года с вводом в эксплуатацию 8 гидроагрегатов общей мощностью 8000МВт.

Эвенкийская ГЭС будет вводиться на реке Нижняя Тунгуска, притоке Енисея. Предполагаемая мощность Эвенкийской ГЭС 12000 – 14000МВт (в пределе 20000МВт).

Основные параметры ГЭС:

- напор максимальный	184 м
- напор минимальный	150 м
- мощность гидротурбины при расчетном напоре 158м	1020 МВт
- количество агрегатов	12
- температура окружающего воздуха	минус 63°

Передачу электроэнергии потребителю предполагается осуществлять по сетям постоянного тока.

Сравнение характеристик гидроагрегатов Эвенкийской ГЭС с характеристиками крупнейших гидроагрегатов показано в таблице 1.

Таблица 1

ГЭС	Расчетный напор, м	Мощность, МВт	Частота вращения, мин ⁻¹	Коэффициент $K=n_s * H^{0.5}$
Эвенкийская	158	1020	107.1	2832
Саяно-Шушенская (Россия)	194	650	142.8	2585
Итайпу (Бразилия)	126	750	90.9	2443
Лонтань (Китай)	160	609	115.4	2336
Три ущелья (Китай)	78	710	75	2810

Из таблицы 1 следует, что параметры гидротурбины Эвенкийской ГЭС являются уникальными. Коэффициент интенсивности рабочего процесса $K=n_s * H^{0.5}$ превышает достигнутый мировой уровень.

С целью уменьшения срока окупаемости ГЭС пуск гидроагрегатов планируется осуществить в период незавершенного строительства плотины, начиная с напора 60м.

Продолжительность работы на пусковых напорах 60-150м около 10 лет.

Создание гидротурбин, работающих в условиях изменения напоров от 60 до 184м, представляет сложную научно-техническую проблему, так как гидроагрегаты обычной конструкции надежно работают при отношении максимального напора к минимальному не более 1,5.

Рассматриваются две концепции гидротурбинных установок:

- применение сменных рабочих колес для диапазона пусковых напоров 60-120 м, заменяемых на штатные для установившегося диапазона напоров 154-184 м, частота вращения постоянная ($n=107,1 \text{ мин}^{-1}$);

- применение гидроагрегатов с изменяемой частотой вращения для всего диапазона эксплуатационных напоров 60-184 м ($n=\text{var}$).

Анализ показывает, что каждая из концепций имеет свои недостатки и преимущества.

На заданные исходные данные (расчетный напор 158м, номинальная мощность 1020МВт, частота вращения 107,1мин⁻¹) штатное рабочее колесо имеет диаметр $D=8,2\text{м}$. Для работы на пусковых напорах (60-150м) спроектировано два сменных рабочих колеса: тихоходное $D=8,2\text{м}$ и быстроходное $D=7,8\text{м}$.

Выбор типа сменного рабочего колеса зависит от продолжительности работы на напорах ниже 80м.

Гидротурбина с тихоходным рабочим колесом предпочтительна для работы в диапазоне напоров 80-140м, а с быстроходным – в диапазоне напоров 60-120м. На основании проведенных проработок по оптимизации эффективности использования водотока в период строительства продолжительность эксплуатации первого гидроагрегата при напоре 60м составляет 4-5 месяцев. В этих условиях гидротурбина с тихоходным сменным рабочим колесом является предпочтительной.

Основной период эксплуатации ($H=150-184 \text{ м}$).

Сравнение значений КПД для основного периода эксплуатации для этих вариантов приведены в таблицах 2 и 3. Значения средневзвешенного КПД определены как среднеарифметические значения для основных напоров 158 м, 169 м и 184 м и мощности 100%, 90% и 80% от номинальной мощности.

Таблица 2
Значения КПД для варианта с постоянной частотой вращения $n=107.1 \text{ мин}^{-1}$

Напор, м	Значение КПД, %		
	100% $N_{\text{ном}}$	90% $N_{\text{ном}}$	80% $N_{\text{ном}}$
158	93,89	95,98	95,82
169	95,88	95,61	94,16
184	94,93	93,63	91,60

$$\eta_{\text{ср.ар.}}=94,61\%$$

Таблица 3
Значения КПД для варианта с переменной частотой вращения.

Напор, м	Значение КПД, %		
	100% $N_{\text{ном}}$	90% $N_{\text{ном}}$	80% $N_{\text{ном}}$
158	93,71	95,90	95,83
169	96,24	95,65	94,16
184	95,40	94,03	92,29

$$\eta_{\text{ср.ар.}}=94,81\%$$

Значение мощности для основного периода эксплуатации при различных напорах приведены в таблице 4.

Таблица 4

Напор, м	Мощность гидротурбины, МВт	
	Вариант с $n=107.1 \text{ мин}^{-1}$	Вариант с $n=var$
105	550	~420
120	660	~640
150	950	950
158-184	1020	1020

Сравнение энергетических и пульсационных показателей этих вариантов для основного периода эксплуатации приведены на рис. 1 и 2 в виде кривых для основных эксплуатационных напоров.

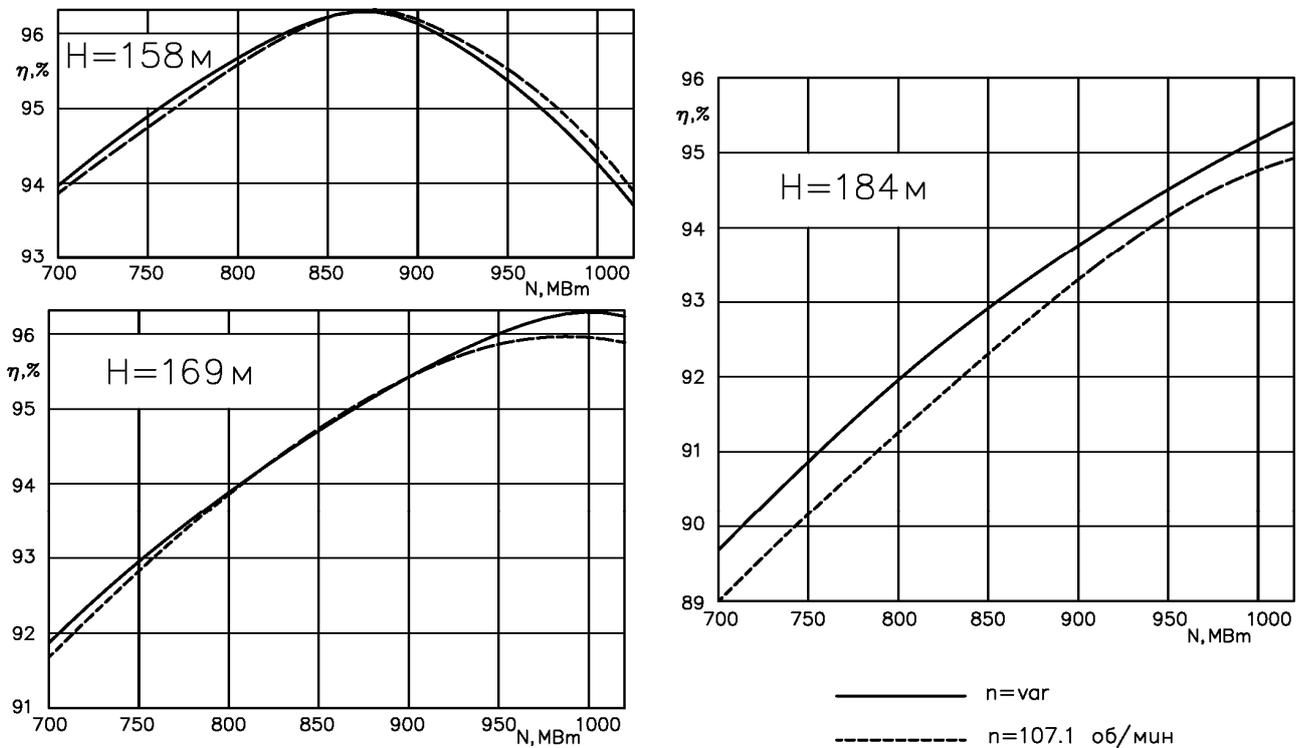


Рис.1 Зависимость КПД от мощности для основного периода эксплуатации

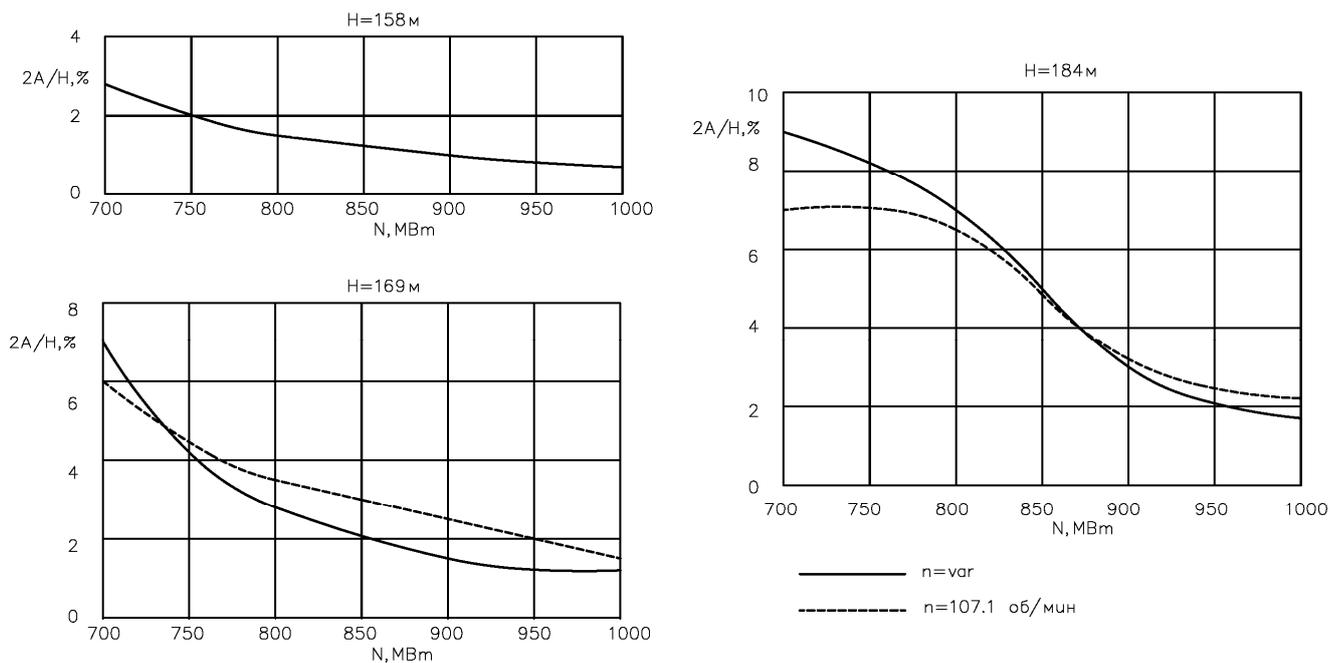


Рис.2 Зависимость пульсаций давления для основного периода эксплуатации

На основании приведенных кривых и значений КПД в таблицах можно сделать следующие выводы:

1. Значения КПД для основного периода эксплуатации для этих вариантов практически одинаковы. Преимущество по КПД варианта с переменной частотой вращения проявляется на максимальном напоре 184 м во всем диапазоне нагрузок в среднем на 0.5-0.8%. Преимущество на других напорах несущественно – до 0.2-0.3%.

2. По пульсационным характеристикам в основной период эксплуатации на частичных нагрузках небольшое преимущество имеет вариант с постоянной частотой вращения.

Начальный период эксплуатации (H=60 -140 м).

Сравнение энергетических и пульсационных показателей этих вариантов для начального периода эксплуатации приведены на рис. 3 и 4 в виде кривых для основных эксплуатационных напоров.

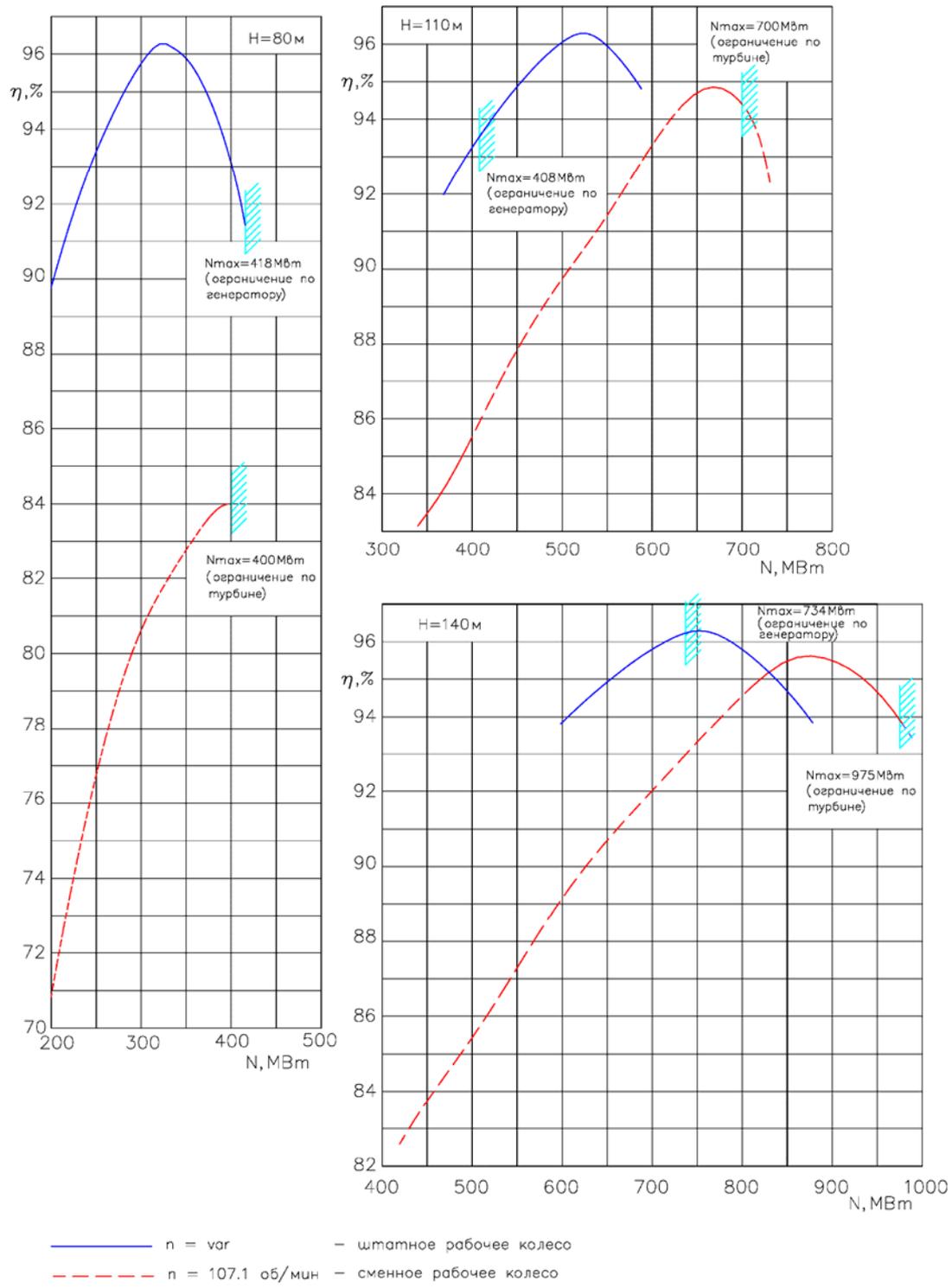


Рис.3 Зависимость КПД от мощности для начального периода эксплуатации

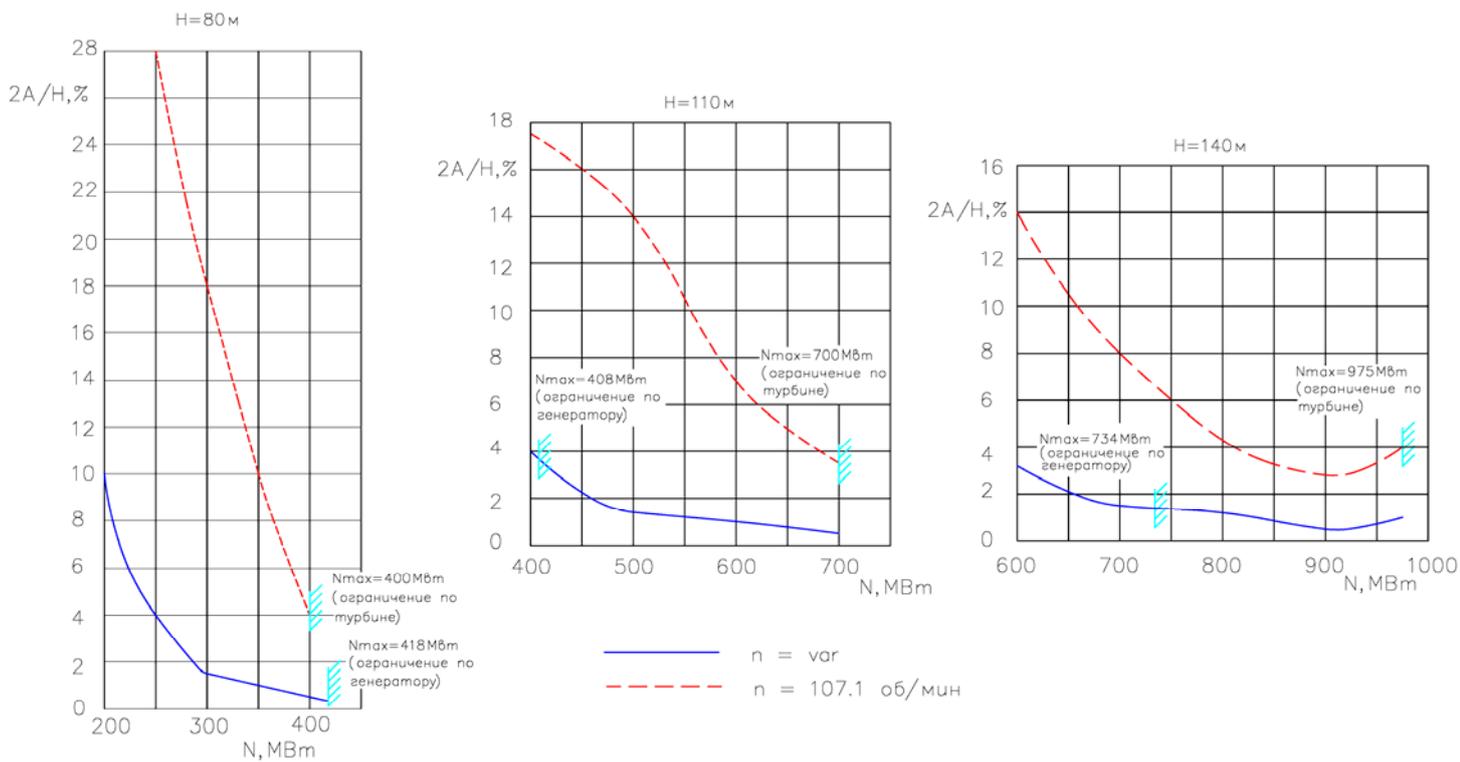


Рис.4 Зависимость пульсаций давления для начального периода эксплуатации

Значение мощности для начального периода эксплуатации при различных напорах приведены в таблице 5.

Таблица 5

Напор, м	Мощность гидротурбины, МВт	
	Вариант с $n=107.1 \text{ мин}^{-1}$	Вариант с $n=\text{var}$
60	250	238
80	400	418
110	700	408
140	975	734

Сравнение показывает:

1. В начальный период эксплуатации (на напорах от 60 до 120 м) значения КПД для варианта с переменной частотой вращения существенно выше (более 8-10%). Гидроагрегат с переменной частотой вращения на низких напорах имеет ограничение по мощности по генератору. Из-за этого ограничения эксплуатация гидротурбин с переменной частотой вращения на отдельных напорах невозможна на высоких мощностях. Следовательно, выработка электроэнергии для варианта с переменной частотой вращения будет ниже.

2. По пульсационным характеристикам в начальный период эксплуатации преимущество имеет вариант с переменной частотой вращения. Для этого варианта гидротурбины работают на оптимальных режимах. Пульсационные характеристики сменного рабочего колеса существенно хуже.

Основные выводы

Вариант гидроагрегата со сменным рабочим колесом имеет увеличенную мощность при пусковых напорах, но требуются дополнительные затраты на изготовление сменных рабочих колес, на перемонтаж, следствием которого является недовыработка электроэнергии.

Вариант гидроагрегата с изменяемой частотой вращения имеет более высокое значение КПД и меньшие динамические нагрузки, но возможно потребуются дополнительные затраты на переключение обмоток при переходе с диапазона низких частот на более высокие и связанная с этим недовыработка электроэнергии. Достигаемая максимальная мощность при напорах 110-140м из-за ограничения по генератору существенно меньше (на 300-250МВт), чем в варианте сменного рабочего колеса.

Создание самой крупной в мире гидротурбины мощностью 1020 МВт (в настоящее время максимальная мощность гидротурбины достигает 700-800 МВт) потребует решения ряда комплексных задач:

- проектирования эффективной сверхбыстроходной проточной части;
- решения задач прочности и динамической устойчивости;
- разработки материалов для условий экстремально холодного климата (минимальная температура до -65° С);
- решения технологических проблем изготовления и транспортировки крупногабаритных узлов (вес рабочего колеса около 300 т);
- разработки принципиально новых систем автоматики и регулирования для гидроагрегатов с изменяемой частотой вращения и др.