

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

С. Г. Саркисян

Определение показателя аварийности оборудования
ГЭС в гидроэнергетических системах

Бесперебойность энергоснабжения [потребителей обеспечивается путем наименьшего снижения рабочей мощности системы, а это может быть достигнуто осуществлением следующих мероприятий:

1. Установление рационального режима работы основного оборудования электрических станций системы.

2. Своевременное и качественное проведение планово-предупредительных ремонтов и ревизий всего основного оборудования электрических станций.

3. Создание оперативного резерва, необходимого для ликвидации последствий нарушения нормальной эксплуатации в любой части энергосистемы.

4. Внедрение автоматических устройств, позволяющих ограничивать действие аварии, уменьшение ее последствий для остальной части системы, сокращение аварийного простоя оборудования (путем принятия мер по повышению устойчивости, устройства быстродействующей защиты, автоматическое повторное включение и т. д.).

Одним из условий нормальной, бесперебойной работы энергосистемы является создание аварийных резервов мощности и энергии, которые входят в состав оперативного резерва. Назначение аварийного резерва мощности заключается в ликвидации дефицита рабочей мощности системы, вызванного аварией того или иного оборудования электрических станций. Аварийный резерв энергии призван сократить недовыработку энергии, вызванную авариями*.

Чтобы определить эту недовыработку, надо знать продолжительность нахождения агрегата в аварии. Понятно, однако, что возможная продолжительность аварий рабочих агрегатов, зависящая от разнообразных причин, есть величина неопределенная, а потому надо исходить из какой-то средней продолжительности аварии, основанной на статистических данных эксплуатируемых систем. Таким образом, задача сводится к определению возможной средней продолжительности аварии одного агрегата в году, и уже на этой основе можно

* Вопросы недоотпуска энергии потребителям является предметом специального исследования.

перейти к определению величины аварийного резерва системы. Последняя задача выходит за рамки данной статьи.

Изучению подверглись отчетные материалы по авариям на гидроэлектростанциях двух действующих гидроэнергетических систем за пятнадцать лет эксплуатации (1937—1951 гг.).

В таблице 1 приводится число аварий на один агрегат по системам №№ 1 и 2.

Таблица 1
Число аварий по гидроэлектростанциям систем
№№ 1 и 2

Система № 1		Система № 2	
годы	число аварий на один агрегат	годы	число аварий на один агрегат
1937	3,33	1937	1,5
1938	1,75	1938	1,17
1939	0,75	1939	0,417
1940	0,417	1940	0,50
1941	0,825	1941	0,75
1942	0,353	1942	0,417
1943	0,50	1943	0,417
1944	0,25	1944	—
1945	0,53	1945	0,167
1946	0,294	1946	0,25
1947	0,646	1947	0,25
1948	0,353	1948	—
1949	0,167	1949	0,133
1950	0,288	1950	0,055
1951	0,40	1951	0,238

Таблица 2
Число часов аварийного простоя различного оборудования и сооружений ГЭС в системах №№ 1 и 2

Система № 1		Система № 2	
годы	доля годового времени	годы	доля годового времени
1937	0,00333	1937	0,0164
1938	0,0035	1938	0,0122
1939	0,00291	1939	0,00074
1940	0,00241	1940	0,00094
1941	0,0185	1941	0,0075
1942	0,00059	1942	0,0035
1943	0,00384	1943	0,00002
1944	0,000129	1944	—
1945	0,00135	1945	0,00024
1946	0,0000135	1946	0,0094
1947	0,0162	1947	0,0031
1948	0,00005	1948	—
1949	0,00199	1949	0,0000012
1950	0,00022	1950	0,00001
1951	0,0034	1951	0,00077

В таблицу 2 сведены данные аварийного простоя (в долях годового времени) оборудования и сооружений в системах №№ 1 и 2 за пятнадцать лет их эксплуатации.

Приведенные выше данные дают представление о числе аварий и их продолжительности на гидростанциях систем №№ 1 и 2. Однако различное оборудование и сооружение гидростанций в разной степени подвергаются износу и выходу из строя. В этой связи весьма любопытно выяснить уязвимость того или иного узла гидростанции и ее влияние на бесперебойную работу энергосистемы. В зависимости от того, какое оборудование или сооружение более подвергается аварийному повреждению, следует либо увеличить его прочность, либо предусмотреть резерв, способный заменить вышедшую из строя рабочую мощность. С этой целью на станции выделяются следующие узлы:

1. Агрегаты (рабочие и собственных нужд);
2. Подстанции любого напряжения;
3. Гидротехнические сооружения;
4. Вторичная коммутация (включающая в себя: цепи управления, релейную защиту, цепи автоматики и телемеханики).

Результаты такого выделения даны в таблице 3.

Таблица 3

Число аварий и число часов аварийного простоя по отдельным узлам гидростанций систем №№ 1 и 2 за 15 лет

Наименование узла	Система № 1		Система № 2	
	число аварий	Аварийн. простой в часах	число аварий	Аварийн. простой в часах
1. Агрегат (турбина—генератор)	88	7865	28	3342
2. Подстанция	41	193	28	2022
3. Гидротехн. сооружения	18	215	13	979
4. Вторичная коммутация	7	4	9	2
Всего по системе	154	8277	78	6345
Ав. простой агрег. в проц. от всей продолжительности простоев	—	95,0	—	52,6

Из таблицы 3 видно, что наиболее уязвимыми в аварийном отношении являются рабочие агрегаты (от 52,6 до 95% общего аварийного простоя). Далее идут гидротехнические сооружения и оборудование подстанций любого напряжения. На долю вторичной коммутации падает совсем ничтожная (0,031%) величина аварийного простоя за многолетие.

Для бесперебойного энергоснабжения потребителей резерв в сетевых устройствах необходим в неменьшей мере, чем резерв мощности. Однако считаем, что установив резервные агрегаты, исходя из средних данных об аварийности рабочих машин, можно покрыть дефицит мощности, вызванный выходом из строя любого другого оборудования системы, в том числе сетевых устройств.

Касаясь вопроса аварийности сетевых устройств, следует учесть

существующее в руководящих указаниях по проектированию электрических систем положение, согласно которому «Аварийный выход из работы участков сети, одновременное аварийное отключение нескольких участков сети, а также совпадение аварий агрегатов на электростанциях с аварийными отключениями участков сети, не рассматриваются. В развитых сетях допускается учитывать совпадение плановой ревизии линии с аварийным выходом из работы одной из линий, находящейся в другом районе» [1].

Как видно из приведенной цитаты, принятое нами решение — исследовать аварийность только агрегатов, не противоречит существующим директивным указаниям, а следовательно, вопрос исследования аварийности электрических сетей может быть исключен из рассмотрения без особого ущерба для результата.

В таблице 4 приведены числа часов аварийного простоя только агрегатов систем №№ 1 и 2. Из общего числа выделены случаи выхода из строя одновременно двух, трех и т. д. агрегатов, откуда видно, что наибольшее число часов аварийного простоя приходится на выход из строя одного агрегата (97,5% общей продолжительности простоев агрегатов в системе № 1 и 99,8% — в системе № 2).

Таким образом, при наличии одного резервного агрегата в рассмотренных нами системах «надежность» последней резко увеличится, а «аварийность» сократится до весьма малой величины.

Таблица 4
Число часов аварийного простоя агрегатов в системах №№ 1 и 2

Количество агрегатов, находившихся в аварии	Система № 1		Система № 2	
	фактич. простой в агр/час.	в проц. от всей продолжит. простоев	фактич. простой в агр/час.	в проц. от всей продолжит. простоев
Один агрег.	7664	97,5	3336	99,8
Два "	194	2,47	—	—
Три "	3,5	0,3	1,3	0,06
Четыре "	2,0			
Пять "	1,5			
Шесть "	—		4,0	0,14
Итого	7865,0	100,0	3342	100,0

Как показал опыт эксплуатации, одновременный выход большого числа агрегатов маловероятен и за изучаемый период имел только один случай выхода пяти агрегатов (в системе № 1) и два случая выхода шести агрегатов (в системе № 2), причем длительность каждой из аварий колебалась в пределах от 14 мин. до 1 ч. 20 мин.

Прежде чем перейти к подсчету возможной средней продолжительности аварийного простоя одного агрегата, необходимо указать, что используемый в энергетике показатель «надежности»

$$q = \frac{T_k - T_{от}}{T_k} \quad (1')$$

и вытекающий из него показатель „аварийности“

$$p = 1 - q = \frac{T_{от}}{T_k} \quad (2)$$

не учитывают времени нахождения оборудования в ремонте и в резерве.

Известно, что календарное время для оборудования электрических станций τ_0 , в частности агрегатов, складывается из: рабочего времени ($\tau_{раб.}$), в течение которого оборудование несет нагрузку, выполняя свои непосредственные технологические функции; времени, проведенного в резерве ($\tau_{рез.}$), что вызывается либо отсутствием нагрузки, либо недостаточностью энергоресурса; времени нахождения в ремонте ($\tau_{рем.}$). Последнее можно разделить на время, проводимое в плановых ремонтах ($\tau_{п.р.}$), выполняемых в соответствии с требованиями „Правил технической эксплуатации электрических станций и сетей“ и время, проводимое в аварийных ремонтах ($\tau_{ав.р.}$), вызванных повреждением оборудования электрических станций.

Таким образом:

$$\tau_0 = \tau_{раб.} + \tau_{рез.} + \tau_{рем.} = \tau_{раб.} + \tau_{рез.} + \tau_{п.р.} + \tau_{ав.р.} \quad (3)$$

При заданном режиме работы системы можно заранее планировать такой порядок проведения планово-предупредительных ремонтов, при котором была бы сохранена бесперебойность энергоснабжения потребителей, а следовательно, член $\tau_{п.р.}$ можно не учитывать.

На надежность системы не влияет также простой части ее мощности либо из-за отсутствия нагрузки, либо из-за недостаточности энергоресурса. Иначе обстоит дело в случае возникновения аварий оборудования электрических станций. В этом случае степень бесперебойности энергоснабжения и величина аварийного резерва мощности и энергии зависят от величины вышедшей из строя мощности и длительности аварийного простоя. Следовательно, отношение времени, проводимого в аварийном простое, ко времени, проводимому в работе и аварийном простое, характеризует степень „аварийности“ того или иного оборудования. Приведенную формулировку аналитически можно представить в следующем виде:

$$p = \frac{\tau_{ав.}}{\tau_{раб.} + \tau_{ав.}}; \quad (4)$$

величина

$$q = 1 - p = 1 - \frac{\tau_{ав.}}{\tau_{раб.} + \tau_{ав.}} = \frac{\tau_{раб.}}{\tau_{раб.} + \tau_{ав.}} \quad (5)$$

характеризует степень „надежности“.

* Здесь T_k — календарная длительность рассматриваемого периода; $T_{от}$ — суммарная длительность тех периодов, в которые энергия потребителю или не отпускалась вовсе (полное отключение) или отпускалась в пониженном против потребности количестве.

Пренебрегая в знаменателе выражения (4) величиной $\tau_{ав.}$ — в тех случаях, когда она весьма мала по сравнению с первым слагаемым, получим

$$p = \frac{\tau_{ав.}}{\tau_{раб.}} \quad (6)$$

Пользуясь формулой (4) и данными числа часов аварийного простоя агрегатов систем №№ 1 и 2 были определены средние аварийности одного агрегата в году, а затем и средняя продолжительность аварии агрегата в году в среднем за многолетие, которая для рассматриваемых систем составляла от 0,4 до 0,7% годового времени.

Таблица 5
Число часов аварийного простоя агрегатов систем
№№ 1 и 2

Система № 1		Система № 2	
годы	доля времени работы агрегата в году	годы	доля времени работы агрегата в году
1937	0,00334	1937	0,016
1938	0,00616	1938	0,0095
1939	0,00467	1939	0,00128
1940	0,00371	1940	0,00159
1941	0,0358	1941	0,00474
1942	0,00135	1942	0,00625
1943	0,00955	1943	0,0000023
1944	0,000277	1944	—
1945	0,00196	1945	0,000405
1946	0,0000033	1946	0,00037
1947	0,0336	1947	0,015
1948	0,0000078	1948	—
1949	0,00426	1949	0,0000012
1950	0,000054	1950	0,00000263
1951	0,00435	1951	0,00093

Из таблицы 5 видно, что в отдельные годы величина p принимает произвольные значения, по которым трудно судить об ее изменениях в многолетнем разрезе. За рассматриваемый период имели место случаи, когда средняя продолжительность аварии одного агрегата достигала значительных величин (3,58% годового времени в 1941 г. и 3,36% годового времени в 1947 г. по системе № 1, 1,6% годового времени в 1937 г. и 1,5% годового времени в 1947 г. по системе № 2). Однако подобные годы весьма редки и не характеризуют изучаемый ряд. Если изучить среднюю продолжительность аварии одного агрегата за последние 10 лет (с 1942 г. по 1951 г.), то, за исключением 1947 г. когда эта величина принимает значение 3,36% годового времени для системы № 1 и 1,5% годового времени для системы № 2, увидим, что величина p всегда меньше 1% годового времени. Большая аварийность в 1947 г. получилась из-за наложения друг на друга нескольких аварий, часть которых вызвана повреждением оборудования по вине заводов изготовителей.

Если за ряд лет определить значение p , а затем сравнить его со средней величиной p , полученной для другого ряда лет, то можно судить об изменении этой величины за многолетний период.

Так, например, за период с 1937 г. по 1943 г. $p=0,925\%$ (система № 1) и $p=0,562\%$ (система № 2), а за период с 1943 г. по 1951 г. включительно $p=0,565\%$ (система № 1) и $p=0,205\%$ (система № 2). Из этих данных следует, что аварийность агрегатов сократилась на $39,2\%$ в системе № 1 и на $63,7\%$ в системе № 2. Подобное снижение аварийности следует приписать, с одной стороны, широкому внедрению новейших достижений науки и техники в области машиностроения и автоматизации производственных процессов и, с другой — применению передовых методов труда.

Опубликованные в научно-технической литературе данные об аварийности рабочих агрегатов наглядно показывают, что величина средней продолжительности аварии одного агрегата неуклонно сокращается. Так, например, по данным иностранной литературы, средняя продолжительность аварий гидроагрегата в 1926 г. равнялась $5,4\%$ годового времени [2], а в 1949 г. эта величина уменьшилась до $1,63\%$ годового времени [3].

Сравнение средних продолжительностей аварий гидроагрегатов, опубликованных за последние годы в Советском Союзе и США, показывает, что эта величина в 3,5 раза меньше для Советского Союза, что следует приписать влиянию приведенных выше факторов. В дальнейшем, вследствие улучшения качества выпускаемой продукции, сократятся аварии оборудования по вине заводов-изготовителей, а также аварии по вине персонала электрических станций из-за неправильных действий.

Из сказанного следует, что полученная на основе опыта эксплуатации величина $p=0,7\%$ годового времени является максимально возможной для рассмотренных систем и в будущем не будет превзойдена. Пользуясь теорией вероятности, возможно определение вероятности выхода из строя различного числа агрегатов системы, причем существующие методы теоретического исследования аварийности, основанные на биномиальном и пуассоновом распределениях, требуют, обязательно, знания величины возможной средней продолжительности аварии агрегата.

Водно-энергетический институт
АН Армянской ССР

Поступило 26 VIII 1953

ЛИТЕРАТУРА

1. Руководящие указания по проектированию электрических систем. "Электричество", № 10, 1946.
2. Ralston F. C., Thomas R. L. Reliability of hydro-electric units. "Report of hydraulic power committee" National electric light association. N.—Y. city. 1926y.
3. An AIEE commite report. Outage rates of steam turbines and boilers and of hydro units. "Transactions of the AIEE", vol. 68, part I, 1949y.

Ս. Գ. Սարգսյան

ՀԻԴՐՈԷՆԵՐԳԵՏԻԿ ՍԻՍՏԵՄՆԵՐՈՒՄ ՀԻԴՐՈԿԱՅԱՆՆԵՐԻ ՍԱՐՔԱՎՈՐՄԱՆ
ՎՅԱՐԱՅԻՆ ՑՈՒՑՁԻ ՈՐՈՇՈՒՄԸ

ԱՄՓՈՓՈՒՄ

Հոգվածում վերլուծված են երկու գործող հիդրոէներգետիկ սխեմաների 15 տարվա շահագործման վթարային հաշվետու նյութերը:

Հիդրոկայանների առանձին հանգույցների վթարայնության վերաբերյալ կատարված հետազոտությունները ցույց են տվել, որ վթարային պարապուրդների ճնշող մասն ընկնում է հիդրոագրեգատների վրա:

Օգտվելով հիդրոագրեգատների վթարային պարապուրդների տվյալներից և վթարային ցուցչի հաշվարկման համար հեղինակի առաջարկած արտահայտությունից, որոշվել է նախագծային պրակտիկայի համար կարևոր՝ վթարային պարապուրդի միջին, հալոնական տեղումնայինը տարվա ընթացքում, Այդ մեծություն միջոցով կարելի է որոշել վթարային ռեգերդի անհրաժեշտ մեծությունը հիդրոէներգետիկ սխեմայում: