



За экономию и бережливость

УДК [621.311.23:629.12].001.4

**ПРИНЦИПЫ СОКРАЩЕНИЯ
ТРУДОЕМКОСТИ ИСПЫТАНИЙ
И КОНТРОЛЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**

О. Г. Захаров

Несмотря на то, что трудоемкость контроля и испытаний судового электрооборудования не превышает 15% трудоемкости настроечных работ, их проведение отвлекает значительное число специалистов различных профессий, требуя немалых затрат энергетических и материальных ресурсов. Согласно работе [1] неэкономичность обусловлена в основном повышенной трудоемкостью испытаний головных судов и необходимостью нахождения значений параметров, изменить которые в процессе настройки нельзя, так как они задаются конструкцией элементов судовой электростанции.

Эти же причины в качестве главных выдвигаются и в ряде других работ. Однако их авторы не совсем точно трактуют причины повышения трудоемкости испытаний электростанций на головных судах, в результате чего выводы о путях сокращения трудовых затрат тоже не всегда точны и определены.

Как известно, любое выпускаемое промышленностью изделие проходит через «сито» типовых, периодических и приемо-сдаточных испытаний, назначение и содержание которых регламентируется нормативно-техническими документами. Как правило, первые два вида испытаний проводят на специально изготовленных образцах изделия, а последнему виду подвергается каждое выпускаемое заводом изделие. В силу специфичности рассматриваемого изделия — судовой электростанции — невозможно построить специальные образцы электростанций для проведения на них типовых и периодических испытаний. Поэтому для проверки принятых схемных и конструктивных решений, а также последствий замены того или иного элемента, входящего в электростанцию, приходится испытывать единственный образец — электростанцию головного судна, что и является первопричиной повышения трудоемкости. Отметим, что предварительные испытания составных элементов не могут служить гарантией их успешной совместной работы в конкретной схеме, возможности которой и проверяются на головном образце. Вместе с тем, неизбежность увеличения трудоемкости испытаний головного судна не исключает, а даже требует установления рационального состава контролируемых параметров. Таким образом, принципы, позволяющие уменьшить трудовые затраты на проведение испытаний, одинаковы как для головных, так и серийных электростанций.

Из всех этих принципов в работе [1] назван единственный — исключение из программы испытаний параметров, значение которых нельзя изменить воздействием на регулировочные элементы. Но одно только это не в силах обеспечить сокращение объема испытаний и, кроме того, приводит к противоречивым выводам. Так, например, провал напряжения является параметром, значение которого изменить нельзя, так как он определяется сопротивлениями генератора и параметрами нагрузки. На этом основании можно сделать вывод о неправомерности включения в действующие программы испытаний проверки значения провала напряжения при набросе номинальной нагрузки. Но информация о нем все же нужна для обоснованного суждения об устойчивости работы коммутационной аппаратуры при снижении напряжения, поэтому данная проверка включается и в программу, обладающую меньшей, по сравнению с существующей, трудоемкостью [1].

Чтобы избежать подобных противоречий, на наш взгляд, необходимо руководствоваться иными принципами сокращения трудоемкости испытаний, а именно: исключение из программ испытаний проверок, несущих избыточную информацию, получить которую можно либо непосредственно из других проверок, либо из их совокупности; замена используемых методов определения параметров менее трудоемкими, а в случае невозможности изменения метода — замена трудоемкого параметра другим, несущим такую же информацию, но требующим меньших трудовых затрат; выбор рациональной последовательности проверок, сокращающей непроизводительные затраты труда, возникающие при переходе от проверки одного контролируемого параметра к другому.

Если условия последнего пункта вполне выполнимы с помощью формальных методов, например описанных в работе [2], то реализовать остальные принципы путем формализации нельзя, так как невозможно представить всю необходимую информацию в виде количественных показателей. Поэтому приходится использовать логические и внелогические методы оценки и переработки исходной информации, не содержащей количественных показателей [3]. Такая информация о составе и последовательности контроля параметров при испытаниях судовых электростанций содержится, например, в работе [4]. Исходным положением следует также считать, что совокупность контролируемых параметров обладает информационной избыточностью.

Применяя изложенные выше принципы, следует обратить внимание сначала на такие элементарные параметры, как ток, напряжение, частота тока. Единственный возможный резерв сокращения трудовых затрат на определение этих параметров — применение измерительных приборов с выходом на цифрочитающее устройство с обработкой заключенной в значениях этих параметров информации о работоспособности электростанции средствами вычислительной техники. Объясняется это тем, что методы определения их предельно просты.

Анализируя другие параметры — активную мощность, степень неравномерности распределения активных и реактивных нагрузок, температуру перегрева отдельных частей машин и приводных двигателей, нетрудно заключить, что трудоемкость их может быть уменьшена при изменении метода определения. Так, для измерения активной мощности сейчас обычно используют смонтированные на ГРЩ стационарные приборы или измерительные комплекты типа К-505. В связи с тем, что на ГРЩ не устанавливают приборы для измерения реактивной мощности, вычисление степени неравномерности распределения реактивных нагрузок требует значительных затрат труда и времени, а также знания помимо активной мощности еще тока и напряжения. Поэтому представляется целесообразным в период испытаний применять более технологичный метод измерения мощности по схеме двух однофазных ваттметров, существенно упрощающий вычисления степени неравномерности распределения активных и реактивных нагрузок, так как помимо показаний ваттметров в делениях шкалы (а не в единицах мощности) никаких других данных для расчетов не требуется. При этом используют следующие формулы:

$$\delta_{aj} = \left[(D_1 + D_2)_j / Q_j \sum_{i=1}^m (D_1 + D_2)_i \right] - 1;$$

$$\delta_{pj} = \left[(D_1 - D_2)_j / Q_j \left(\sum_{i=1}^n D_{1i} - \sum_{i=1}^n D_{2i} \right) \right] - 1,$$

где D_1 ; D_2 — показания ваттметров в делениях шкалы; $Q_j = P_{jn} / P_{стн}$ — пропорциональная доля j -го генератора в общей нагрузке станции; P_{jn} ; $P_{стн}$ — номинальные мощности j -го генератора и станции, состоящей из n генераторов соответственно; n — число генераторов станции, работающих в данном режиме параллельно; δ_{aj} ; δ_{pj} — степени неравномерности распределения активной и реактивной нагрузок соответственно. Кроме того, по показаниям двух ваттметров с помощью известных способов нетрудно найти значения активной и реактивной мощностей, а также коэффициент мощности (по отношению показаний двух ваттметров). Таким образом, изменение метода измерения только одного параметра позволило упростить расчеты и других связанных с ним параметров.

Рассмотренный пример показывает, что узаконенная в стандартах тенденция применения при испытаниях только стационарных приборов не всегда ведет к экономии трудовых ресурсов и упрощению процесса испытаний. Поэтому в каждом отдельном случае вопрос о применении стационарного или специального переносного прибора должен решаться

только после сопоставления затрат на определение параметров в каждом варианте.

Рассмотрим возможности сокращения трудовых затрат на таком параметре, как температура перегрева отдельных частей генераторных агрегатов и других объектов, составляющих судовую электростанцию. Цель определения данного параметра — установление влияния тепловыделений от этих объектов, работающих с номинальной нагрузкой, на работу станции в целом, а также проверка качества монтажа таких частей, как воздухопроводы и газовыхлопы. Так как изменить параметр нельзя, то представляется целесообразным сократить трудоемкость его нахождения, используя фундаментальное свойство кривых нагревания — постоянство скорости изменения температуры. На основании этого свойства ее повышение можно прогнозировать по начальной части кривой нагревания. При таком методе измерения производят перед нагружением генераторов, а затем еще дважды, через равные промежутки времени. В том случае, когда контролируемый параметр изменяется не в соответствии с кривой нагревания вследствие наличия каких-либо дефектов, результат вычислений по формуле, приведенной ниже, получается лишним смыслом (отрицательным или меньшим исходного)

$$\theta_y = (\Delta\theta_1 \cdot \theta_2 - \Delta\theta_2 \cdot \theta_1) / (\Delta\theta_2 - \Delta\theta_1),$$

где $\Delta\theta_1 = \theta_1 - \theta_0$ — изменение температуры за время t после приложения нагрузки; $\Delta\theta_2 = \theta_2 - \theta_1$ — то же, но за промежуток времени от t до $2t$; θ_2 — температура в контролируемой точке к моменту времени $2t$; θ_1 — то же, но через время t после приложения нагрузки; θ_0 — то же, но в холодном состоянии (перед приложением нагрузки).

Такой способ определения температуры позволяет сократить продолжительность работы станции с номинальной нагрузкой не менее чем на 50%, а погрешность прогнозирования значения температуры по приведенной формуле даже при использовании измерителей с погрешностью 0,5К не превышает 4К, что вполне допустимо для швартовых испытаний. Обращая внимание на то, что действующими нормативными документами предписывается находить значение перегрева элементов станции и в режиме перегрузки по мощности, необходимо отметить следующее: ни фактическое значение температуры в конце этого режима, ни характер ее изменения в процессе работы с перегрузкой по мощности не несут никакой информации о работоспособности станции, так как из-за отсутствия базы для сравнения (изготовители отдельных частей станции не регламентируют значения данного параметра при перегрузке) невозможно вынести какое-либо обоснованное суждение. Таким образом, качество работы электростанции в этом режиме определяется только способностью нести заданную нагрузку требуемый промежуток времени.

Анализируя исходную информацию, можно составить еще одну группу параметров, которые являются информационно избыточными. Особое внимание следует обратить на два из них: проверку возможности перевода нагрузки с генератора на генератор и запуск от предварительно нагруженного генератора потребителя, имеющего наибольшие значения пускового тока или пусковой мощности. Как известно, причина перераспределения нагрузки между генераторами заключается в изменении подачи энергоносителя в приводной двигатель генераторного агрегата, осуществляемой при этой проверке воздействием на регулятор приводного двигателя. Если пределы изменения частоты вращения приводного двигателя, определение которых предусмотрено программой испытаний, находятся в заданном диапазоне, то нет и не может быть физических причин, по которым при изменении подачи энергоносителя не происходило бы перераспределение нагрузки между генераторными агрегатами. С другой стороны, если при испытаниях станции в режиме параллельной работы установлено, что все качественные и количественные показатели, характеризующие ее работу, не выходят за пределы норм, то нет и не может быть схемных дефектов, препятствующих перераспределению нагрузки при изменении подачи энергоносителя. Все это позволяет говорить о том, что проверка возможности перевода нагрузки с одного генератора на другой дублирует выполненные ранее и не дает новой информации. Поэтому она должна быть исключена из программы испытаний станции.

Также излишне такое испытание, как запуск от предварительно нагруженного генератора потребителя наибольшей пусковой мощности или тока, потому что асинхронная «подгрузка» оказывает стабилизирующий эффект, уменьшая мгновенный провал напряжения, а статическая нагрузка практи-

чески не влияет на провал в момент включения нагрузки. Для группы параллельно работающих генераторов стабилизирующий эффект проявляется еще сильнее [5], и поэтому такое испытание не дает дополнительной информации о свойствах электростанции.

В особую группу следует выделить параметры, определение которых не несет той информации, на получение которой рассчитывают при включении их в программу испытаний. Характерным примером может служить контроль устройств распределения активных нагрузок (УРАН), исправность которых согласно действующей документации проверяется при нагружении параллельно работающих генераторов статической и динамической нагрузками. Если при этом степень неравномерности распределения нагрузок остается в пределах допуска, то УРАН считается исправным и соответствующим предъявляемым к нему требованиям. Однако в действительности такой способ не позволяет сделать подобного вывода. Известно, что при изменении нагрузки ее распределение между генераторными агрегатами происходит из-за работы регуляторов первичных двигателей и УРАНа. Так как обе причины действуют одновременно, то установить, какая из них конкретно привела к пропорциональному распределению нагрузки (или же оставила его таким), невозможно. Из проверки, осуществленной по данному способу, можно сделать лишь вывод о том, что УРАН не нарушает устойчивой работы генераторов под действием регуляторов приводных двигателей. Подробно этот вопрос рассмотрен в книге [2], где описан и другой способ реализации проверки.

В заключение необходимо обратить внимание еще на один путь сокращения трудовых и материальных затрат на проведение испытаний — удешевление средств технологического оснащения, используемых для нагружения генераторов. В статических режимах работы генераторных агрегатов эту задачу можно решить, используя в качестве нагрузки береговую сеть, но в динамических режимах этот способ неудобен, поэтому как альтернативу нагрузочным устройствам некоторые авторы предлагают использовать береговые или судовые потребители, а также специальные нагрузочные устройства, рассчитанные на кратковременную работу и не обеспечивающие номинальной нагрузки на генераторы. В последнем случае для определения параметров станции, соответствующих динамическому изменению номинальной нагрузки, предлагаются специальные пересчетные номограммы и кривые. Однако незначительная экономия средств, затрачиваемых на технологическое оснащение, заставляет использовать такие методы, которые требуют значительно больших затрат труда, чем при традиционных, посредством нагрузочных устройств. Выход из этого положения может быть найден в том случае, если для определения параметров в динамических режимах работы вообще отказаться от создания нагрузки на генераторные агрегаты, а все испытания проводить путем мгновенного изменения подачи энергоносителя в приводной двигатель. Полученные характеристики переходного процесса позволяют с достаточной для практики точностью находить значения параметров, соответствующих внезапному изменению нагрузки на генераторе. Отказ от использования того или иного способа создания нагрузки на генератор оказывается перспективным и при испытаниях ряда устройств автоматизации — реле обратной мощности, систем распределения активной нагрузки и др. [2].

Выводы. Сокращение трудоемкости испытаний требует большой работы по оценке информативности ценности параметров и характеристик, создания более экономичных методов их определения. Для использования имеющихся резервов представляется целесообразным использовать принципы, сформулированные в этой статье. Повышенная же трудоемкость испытаний электростанций головных судов не может служить критерием несовершенства программ испытаний серийных судов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Серебряков Л. М. Оптимизация испытаний судовых электростанций. — Судостроение, 1981, № 4.
2. Захаров О. Г. Настройка судового электрооборудования. Л., Судостроение, 1980.
3. Фейнберг Е. Л. Кибернетика, логика, искусство. М., Радио и связь, 1981.
4. Справочник судового электротехника, т. 3. Технологическая электромонтажных работ. Л., Судостроение, 1975.
5. Захаров О. Г. Настройка и сдаточные испытания ЭЭС атомного ледокола. — Судостроение, 1976, № 2.