

II
1914

II
3050
Вып. 23
1979

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СБОРНИК

ВОПРОСЫ СУДОСТРОЕНИЯ

серия:

Судовая электротехника и связь

Выпуск 23

О. Г. ЗАХАРОВ

ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ НАСТРОЙКИ И ПРИЕМОЧНЫХ ИСПЫТАНИЙ СУДОВОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

В статье рассматриваются факторы, определяющие продолжительность настройки и приемочных испытаний судовой электростанции. Предлагается способ настройки, позволяющий существенно сократить продолжительность настроечных работ.

Статья предназначена для проектантов электротехнической части судна, технологов электромонтажных предприятий и настройщиков судового электрооборудования.

При анализе судовых электростанций (СЭС) в литературе принято выделять в них либо функциональные части [7], либо строить граф иерархических связей конструктивной структуры системы с дальнейшим его преобразованием в граф иерархических связей функциональной структуры [2]. Такое разделение СЭС не отвечает целям и задачам настроечных работ и поэтому не может быть использовано.

Для настройки в СЭС, представляющей собой не просто совокупность некоторых функциональных элементов; а систему, надо выделять такие части или подсистемы, каждая из которых может выполнять конечную задачу — генерировать электрическую энергию заданного качества.

Известно, что существует два различных режима работы СЭС: одиночная работа генераторных агрегатов (ГА) и параллельная работа ГА. Поэтому электростанция как объект настройки представляет собой систему с переменной структурой, разной для каждого из режимов работы. В режиме одиночной работы ГА электростанция может быть представлена состоящей из Q подсистем, в каждой из которых настройка может выполняться одновременно и независимо. В каждую такую подсистему помимо ГА входят также все вспомогательные и обслуживающие механизмы, устройства автоматизации управления СЭС, приборы и секции ГРЩ, необходимые для выполнения ГА своей функции — генерирования электроэнергии заданного качества. Количество таких подсистем в конкретной электростанции зависит от многих факторов, в том числе и от технологичности структурной схемы [1] и конструкции ГРЩ, и находится в диапазоне $n \geq Q \geq 1$ (n — число генераторных агрегатов в СЭС).

В режиме параллельной работы подсистемой, характерной для настроечных работ (НР), являются, как минимум, два генератора, работающие параллельно, а также все устройства и аппаратура, обслуживающие этот режим. Количество таких подсистем в СЭС, работающих одновременно и независимо друг от друга, находится в диапазоне $m \geq R \geq 1$ (m — количество вариантов параллельной работы генераторных агрегатов).

Графическое разделение электростанции на подсистемы приведено на рис. 1. При настройке происходит изменение внутренних свойств настраиваемой электростанции, так что она последовательно проходит три состояния: $S1$, $S2$, $S3$. Состояние $S1$ соответствует ненастроенной системе, являющейся только «механическим» соединением различных составляющих частей, состояние $S2$ — окончанию настройки режима одиночной работы, а $S3$ — такому состоянию, когда электростанция отвечает всем требованиям, предъявляемым к ней в отношении работоспособности.

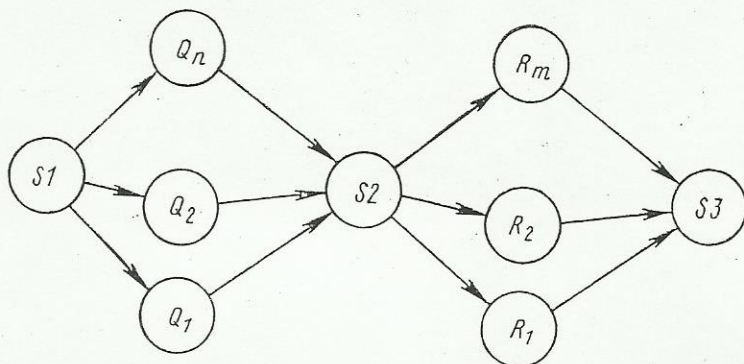


Рис. 1. Разделение электростанции на подсистемы при настройке

Так как при выделении подсистем предъявляется требование возможности их независимой работы, настройка в подсистемах одного уровня может выполняться параллельно, способствуя сокращению общей продолжительности настройки. Каждая из этих работ представляет собой элементарный технологический процесс настройки [4, 5, 6], включающий все операции и приемы настройки, выполняемые в требуемой последовательности. Однако если применить без изменения элементарные технологические процессы к настройке R -х подсистем, придется выполнить подготовительные и часть вспомогательных операций [4] при полностью настроенных Q -х подсистемах, что приводит к непроизводительным затратам и простоям готовых ГА.

Чтобы сократить продолжительность НР на этапе настройки R -х подсистем, представляется целесообразным элементарный технологический процесс изменить, использовав введенное в статье [4] организационное разделение операций настройки. Для этого все подготовительные операции настройки исключаются из элементарных технологических процессов настройки Q -х и R -х подсистем, располагаются в общем технологическом процессе настройки до этапов настройки подсистем и относятся ко всей электростанции в целом. Теперь в элементарные технологические процессы настройки Q -х и R -х подсистем входят только основные и вспомогательные операции и начинаются они с операции «проверка функционирования» (рис. 2).

В настоящее время продолжительность настройки определяется только из общей трудоемкости настройки и приемочных испытаний при постоянном количестве настройщиков в период НР

$$t = \frac{Tf}{k_{\text{пер}} Nd}, \quad (1)$$

где t — продолжительность НР, дни;

N — количество специалистов, занятых настройкой;

Графическое разделение электростанции на подсистемы приведено на рис. 1. При настройке происходит изменение внутренних свойств настраиваемой электростанции, так что она последовательно проходит три состояния: $S1$, $S2$, $S3$. Состояние $S1$ соответствует ненастроенной системе, являющейся только «механическим» соединением различных составляющих частей, состояние $S2$ — окончанию настройки режима одиночной работы, а $S3$ — такому состоянию, когда электростанция отвечает всем требованиям, предъявляемым к ней в отношении работоспособности.

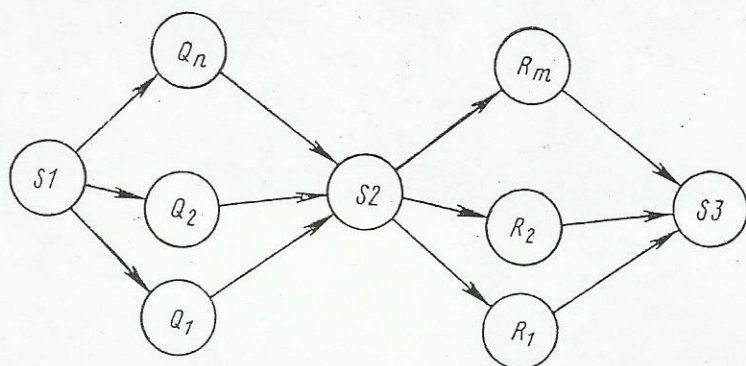


Рис. 1. Разделение электростанции на подсистемы при настройке

Так как при выделении подсистем предъявляется требование возможности их независимой работы, настройка в подсистемах одного уровня может выполняться параллельно, способствуя сокращению общей продолжительности настройки. Каждая из этих работ представляет собой элементарный технологический процесс настройки [4, 5, 6], включающий все операции и приемы настройки, выполняемые в требуемой последовательности. Однако если применить без изменения элементарные технологические процессы к настройке R -х подсистем, придется выполнить подготовительные и часть вспомогательных операций [4] при полностью настроенных Q -х подсистемах, что приводит к непроизводительным затратам и простоям готовых ГА.

Чтобы сократить продолжительность НР на этапе настройки R -х подсистем, представляется целесообразным элементарный технологический процесс изменить, используя введенное в статье [4] организационное разделение операций настройки. Для этого все подготовительные операции настройки исключаются из элементарных технологических процессов настройки Q -х и R -х подсистем, располагаются в общем технологическом процессе настройки до этапов настройки подсистем и относятся ко всей электростанции в целом. Теперь в элементарные технологические процессы настройки Q -х и R -х подсистем входят только основные и вспомогательные операции и начинаются они с операции «проверка функционирования» (рис. 2).

В настоящее время продолжительность настройки определяется только из общей трудоемкости настройки и приемочных испытаний при постоянном количестве настройщиков в период НР

$$t = \frac{Tf}{k_{\text{неп}} Nd}, \quad (1)$$

где t — продолжительность НР, дни;

N — количество специалистов, занятых настройкой;

T — трудоемкость НР, нормо/ч;
 $k_{\text{пер}}$ — коэффициент перевыполнения норм;
 f — коэффициент перевода рабочего времени в календарное;
 d — продолжительность рабочего дня, ч.

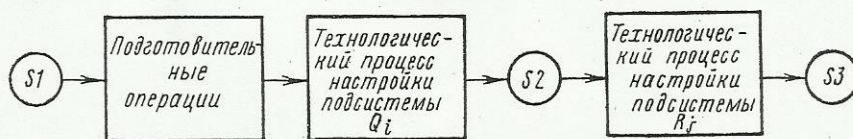


Рис. 2. Измененный технологический процесс настройки электростанции

Значение трудоемкости T может быть найдено с помощью коэффициентов трудоемкости по методике [4].

При увеличении числа специалистов, занятых настройкой, происходит соответствующее сокращение продолжительности настройки (1). Однако это сокращение возможно только до определенного значения N_{max} , после которого увеличение числа специалистов не уменьшает продолжительности.

Объясняется это тем, что при дальнейшем увеличении числа специалистов количество технологически независимых частей электростанции, в которых эти специалисты могут одновременно и независимо проводить настройку, остается неизменным. Максимальное значение N ограничено по условию обеспечения необходимой выработки и производительности труда, а также технологической обитаемостью помещения, в котором производится настройка.

Минимальное значение величины N ограничивается требованиями создания безопасных условий труда. Поэтому возможное число специалистов при настройке постоянным составом находится в диапазоне

$$N_{\text{max}} \geq N \geq 2. \quad (2)$$

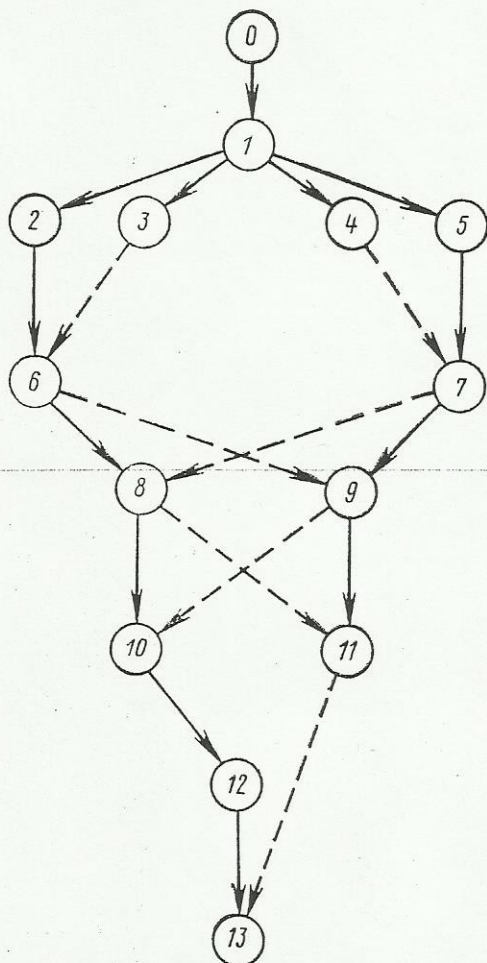


Рис. 3. Сетевой график для предлагаемого способа настройки электростанции

Такой расчет продолжительности базируется на использовании постоянного состава специалистов от начала до конца настройки. В общем случае $Q \neq R$, и поэтому для обеспечения одинаковой производительности труда и выработки количество специалистов, занятых на каждом

этапе, является величиной переменной, зависящей от значений Q и R и трудоемкости настройки на каждом этапе. Для определения продолжительности настройки с учетом величин Q и R , т. е. фактического наличия технологически независимых частей, построим сетевой график (рис. 3), используя графическую интерпретацию процесса настройки при следующих дополнительных условиях:

— настройка любой из Q -ой или R -ой подсистем ведется двумя специалистами так же, как и приемочные испытания;

— подготовительные операции настройки выполняются одновременно N_1 специалистами.

Код и вид работ сетевого графика (рис. 3) следующие:

Код работы	Вид работы
0—1	Подготовительные операции
1—2	Настройка подсистемы Q_1
1—3	” ” Q_2
1—4	” ” Q_3
1—5	” ” Q_4
2—6	” ” R_1
5—7	” ” R_2
6—8	” ” R_3
7—9	” ” R_4
8—10	” ” R_5
9—11	” ” R_6
10—12	Приемочные испытания подсистем Q_1, Q_2, R_1, R_2, R_3
11—13	Приемочные испытания подсистем Q_3, Q_4, R_4, R_5, R_6

Используя эти условия и данные рис. 2, определим продолжительность этапов настройки и приемочных испытаний

$$t_1 = \frac{T_1 f}{N_1 k_{\text{пер}} d}; \quad (3)$$

$$t_Q = \frac{T_Q f}{2k_{\text{пер}} d}; \quad (4)$$

$$t_R = \frac{T_R f}{2k_{\text{пер}} d}; \quad (5)$$

$$t_{\text{п.и}} = \frac{T_{\text{п.и}} f}{2k_{\text{пер}} d}, \quad (6)$$

где t_1, t_Q, t_R — продолжительность выполнения подготовительных операций, настройки Q -ой и R -ой подсистем соответственно;

T_1, T_Q, T_R — трудоемкость подготовительных операций, настройки Q -ой и R -ой подсистем соответственно;

N_1 — количество специалистов, занятых выполнением подготовительных операций;

$t_{\text{п.и}}$ — продолжительность приемочных испытаний;

$T_{\text{п.и}}$ — трудоемкость приемочных испытаний.

Причем

$$T = T_1 + T_Q + T_R + T_{\text{п.и}}. \quad (7)$$

Тогда продолжительность настройки

$$t' = t_1 + p t_Q + k t_R + t_{\text{п.и}}. \quad (8)$$

Коэффициенты p и k — ближайшие большие целые числа к найденным по формуле величинам

$$p = \frac{n}{Q}; k = \frac{m}{R}. \quad (9)$$

Минимальная продолжительность настройки при $p=k=1$

$$t_{\min} = t_1 + t_Q + t_R + t_{\text{п.и.}} \quad (10)$$

По данным анализа технологического и трудового содержания подготовительных операций настройки [4, 6] наибольший эффект от увеличения численности настройщиков достигается именно для этих операций, тогда как для настройки Q -х и R -х подсистем увеличение численности сверх минимально необходимого по требованиям техники безопасности не дает соответствующего сокращения продолжительности.

По выражениям (8—10) коэффициенты p и k характеризуют приспособленность электростанции к настройке и их можно называть коэффициентами технологичности [1]. При прочих равных условиях электростанция тем технологичнее в настройке, чем ближе к 1 значения коэффициентов p и k .

Если при проектировании не были обеспечены значения коэффициентов p и k близкими к 1, то в период подготовки к настройке повысить технологичность электростанции можно путем расшировки секций ГРЩ и рационального подключения нагрузочных устройств. Пример расшировки ГРЩ приведен в [4], а в [1] рассмотрена схема ГРЩ с шинными разъединителями, обеспечивающая значения p и k , близкие к 1.

Помимо коэффициентов технологичности электростанции на продолжительность настройки влияют и коэффициенты технологичности отдельных схем, входящих в подсистемы Q или R . Их влияние на продолжительность настройки выражается в увеличении трудоемкости настройки той или иной подсистемы.

Сокращение продолжительности настройки электростанции при переменной численности настройщиков составит

$$\Delta t = t - t_{\min} = \frac{f}{k_{\text{пер}} d} \left\{ 2N_1 T - N(2T_1 + N_1 T_2) \right\}, \quad (11)$$

где

$$T_2 = T_Q + T_R + T_{\text{п.и.}}; \quad (12)$$

t — продолжительность настройки, определенная по формуле (1), т. е. при условии постоянной численности.

При продолжительности настройки t_{\min} максимально возможное по условиям сохранения производительности труда количество специалистов

$$N_{\max} = \frac{Tf}{t_{\min} k_{\text{пер}} d}. \quad (13)$$

Значение N_{\max} , определенное по формуле (13), соответствует N_{\max} в неравенстве (2).

При такой стратегии проведения настройки возможны значительные колебания численности специалистов, для исключения колебаний значения N_1 находят из выражения

$$N_1 = 2k. \quad (14)$$

В этом случае настройку проводит такое количество специалистов, которое необходимо для настройки R независимых подсистем одновре-

менно. Определение продолжительности настройки производится по формулам (3)—(6), (8).

Возможна и другая стратегия, которая позволяет сократить продолжительность настройки при невысоких значениях коэффициентов технологичности k . Особенно она удобна при $p > k$. В этом случае на первых двух этапах настройку проводят специалисты, численность которых

$$N_1 = 2p. \quad (15)$$

Настройку режима параллельной работы осуществляет меньшее количество специалистов, их число находится по выражению (14). При такой стратегии удастся при незначительном колебании числа специалистов добиться существенного сокращения продолжительности настройки.

Разделение электростанции на подсистемы и проведение настроечных работ бригадой настройщиков с переменной численностью эффективно при выполнении следующего неравенства:

$$1 \geq \frac{t}{t'} \geq \frac{N_{\text{ср}}}{N}, \quad (16)$$

где t — продолжительность настроечных работ, определенная по формуле (1) при численности настройщиков N ;

t' — продолжительность настроечных работ, определенная по формуле (8) с учетом реального разделения электростанции на подсистемы

$$N_{\text{ср}} = \frac{N_1 t_1 + p N_Q t_Q + k N_R t_R + N_k t_k}{t'}, \quad (17)$$

где N_1, N_Q, N_R, N_k — численность настройщиков на каждом из этапов настроечных работ.

ВЫВОДЫ

1. Возможность существенного сокращения продолжительности НР зависит прежде всего от технологичности электростанции в настройке.

2. Произвольное увеличение количества специалистов, занятых настройкой, сверх N_{max} , определяемой при данной трудоемкости коэффициентами технологичности структурной схемы ГРЩ, не приводит к пропорциональному сокращению продолжительности настройки.

3. Оценка технологичности электростанции в настройке производится по формуле (9).

ЛИТЕРАТУРА

1. Воронков Б. И., Захаров О. Г., Лившиц Ю. С. Унифицированный ГРЩ электростанции переменного тока. — «Судостроение», 1975, № 3, с. 35.

2. Давидович Ф. С. Испытания электроэнергетических систем. Л., «Судостроение», 1975.

3. Дружинин Г. В. Процессы технического обслуживания автоматизированных систем. М., «Энергия», 1973.

4. Захаров О. Г., Лившиц Ю. С. Техническая подготовка работ по настройке и сдаточным испытаниям судовой электрической станции. — «Технология судостроения», 1976, вып. 1, с. 32.

5. Захаров О. Г. Настройка аппаратуры и систем судовой электроавтоматики. Л., «Судостроение», 1975.

6. Захаров О. Г. Настройка и сдаточные испытания электроэнергетической системы атомного ледокола. — «Судостроение», 1976, № 2, с. 22.

7. Эксплуатация судового электрооборудования. М., «Транспорт», 1975.