

НАСТРОЕЧНЫЕ РАБОТЫ

Одной из главных задач совершенствования любых работ является снижение их трудоемкости при одновременном сокращении продолжительности выполнения.

Применительно к настроечным работам, важность решения этой задачи подтверждается тем, что их трудоемкость достигла 40% трудоемкости электромонтажных работ и сохраняет устойчивую тенденцию роста.

Проблема выполнения постоянно возрастающего объема НР решалась в основном путем привлечения все большего количества специалистов-настройщиков, имеющих среднее или высшее техническое образование. Например, на одном из предприятий численность настройщиков электрооборудования только за три наблюдаемых года выросла на 13% [81].

Однако из-за отсутствия технологической регламентации НР сроки и качество их выполнения полностью определяются личными качествами конкретного специалиста и поэтому увеличение количества настройщиков не привело к адекватному снижению их трудоемкости и продолжительности.

Поэтому основная часть исследований была произведена по следующим основным направлениям:

— совершенствование технологических процессов настройки и их регламентация;

— совершенствование программ, методов и методик швартовых и ходовых приемосдаточных испытаний;

— совершенствование электрооборудования как объекта настройки для обеспечения его максимальной приспособленности к выполнению процессов настройки и испытаний;

— разработка терминологической системы настроечных работ.

В обзоре обобщены публикации по исследованиям, разработке и реализации технологии, типовых технологических процессов настройки и испытаний электрооборудования, а также средств

технологического оснащения (СТО), базирующиеся на следующих основных положениях:

1. Настроечные работы (в дальнейшем — НР) представляют собой самостоятельный производственный процесс, обладающий специфическими свойствами.

2. Электрооборудование при его настройке проявляет вполне определенные свойства, характеризующие его как предмет приложения труда настройщика и задающие содержание, продолжительность и трудоемкость НР.

3. Процесс настройки может быть представлен как процесс последовательного изменения состояния электрооборудования — объекта настройки (ОН), происходящий в результате воздействия на него настройщика и управляемых им средств технологического оснащения.

ОПЕРАЦИОННЫЙ БАЗИС НАСТРОЕЧНЫХ РАБОТ

Основные работы, рассматриваемые в данном разделе, были направлены на исследование взаимосвязи операций в процессах настройки, определения элементов множества операций, характерных для данного вида работ, а также на совершенствование технологии выполнения отдельных операций.

Технико-экономический анализ процессов настройки [2, 8, 32, ..., 42, 75, 86] позволил впервые установить, что все их реальное разнообразие базируется на ограниченном множестве операций $U = \{\omega\}$, причем каждая из операций в свою очередь состоит из одного или нескольких технологических переходов.

Те или иные операции $\omega \in U$ повторяются в различных технологических процессах, а затраты на настройку конкретного ОН зависят как от количества и последовательности выполнения операций $\omega \in U$, так и от технологий выполнения той или иной операции.

В [28] установлено, что множество параметров и характеристик $\{\Delta A_i\}$, описывающее техническое состояние ОН, подразделяется на три непересекающиеся подмножества, а также показана связь классификации операционного базиса НР с результатами воздействия настройщика на ОН, выполняющего блок операций B_n .

При исследованиях технологического и трудового содержания операций и процессов настройки [32...42] было выявлено, что во время выполнения работ, обеспечивающих переход ОН из одного состояния в другое, настройщик выполняет блок операций B_n , содержащий не менее одной операции ω , т. е.

$$B_n \subset U = \{\omega\}, \text{ причем } B_n \neq \emptyset.$$

В любом из блоков B_n возможно применение операций двух типов, одни из которых предназначены для установления соответствия ОН требованиям F_j , характеризующим то или иное его состояние S_n , а другие — для определения причины несоответствия ОН заданным требованиям F_j и устранению этого несоответствия. Поэтому блок операций B_n должен содержать и функции U_z , указывающие условия перехода от одних операций к другим, в зависимости от соответствия ОН требованиям F_j .

Выделение блока операций настройки B_n позволило разработать методику определения трудоемкости настроечных работ, базирующуюся на объективных характеристиках ОН [61]. Основные положения этой методики развиты в работах [279, 280] и регламентированы в отраслевой методике нормирования НР.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ВЫПОЛНЕНИЯ ОПЕРАЦИИ И ПЕРЕХОДОВ

Выделение операционного базиса НР, классификация операций на основе их объективных характеристик (табл. 1), разграничение совокупности воздействий настройщика на ОН на отдельные операции и переходы, позволило обоснованно перейти к

Таблица 1

Классификация и характеристика технологических операций

Операции	Назначение	Примеры операций	Примечания
Подготовительные	Подготовка к выполнению основных операций	Подготовка ОН; ПМ; КИ; Проверка обмоток	Выполняются на неработающем ОН
Основные	Определение качественных и количественных характеристик и параметров ОН	ПФ; КР	Выполняются на работающем ОН
Вспомогательные	Изменение технического состояния ОН и создание условий для выполнения основных операций	Регулировка; ПД; УД	Выполняются как на работающем, так и на неработающем ОН

Примечание. В таблице использованы следующие сокращения: ПМ — проверка монтажа, КИ — контроль изоляции, ПФ — проверка функционирования, КР — контроль работоспособности, ПД — поиск дефекта, УД — устранение дефекта.

разработке технологий их выполнения. Объективное исследование операций и переходов осуществлялось методом выделения микродвижений — треблигов, которые фиксировались в технологических картах. На основе этих карт [2, 15, 24, 35, 37] создавались новые, оптимальные по трудовым затратам технологии выполнения операций и переходов, а также определялись те свойства, которыми должны обладать средства технологического оснащения, разрабатываемые для выполнения тех или иных операций и переходов.

В отличие от общепринятого ранее подхода, когда технология выполнения операций и переходов разрабатывалась независимо от конкретного процесса настройки, новые технологии выполнения операций, описанные в работах [32...42] отрабатывались в составе типовых технологических процессов настройки.

Разработаны принципиально новые технологии выполнения ряда операций и переходов, в основу которых положено исследование настройщиком полей рассеяния, создаваемых тестовым напряжением, подаваемым в обмотки электрических машин и трансформаторов [32, 40, 41]:

определение направления вращения на неподвижном асинхронном электродвигателе

определение нейтрального положения щеток электрических машин постоянного тока

определение полярности полюсов и их чередования.

Актуальность и перспективность данного направления подтверждается не только авторскими свидетельствами [78, 80], но и появлением публикаций о выполненных другими авторами аналогичных работах [160].

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ОБЪЕКТА И ПРОЦЕССА НАСТРОЙКИ

В результате исследований трудовых процессов НР, их операционного базиса, технологий операций и переходов, была впервые разработана модель объекта и процесса настройки [28...31], отличающаяся тем, что она допускает использование опыта и знаний специалистов, выполняющих настройку. Учитывая, что не для всех задач, возникающих в практике НР имеются аналитические методы решения, такая модель предполагает использование эвристических методов решения подобных задач [350...353].

Такой подход к созданию модели позволил представить производственный процесс в виде структуры из трех взаимодействующих подсистем: объекта настройки, процесса настройки и системы настройки — комплекса средств технологического оснащения [28, 75].

Подсистема «объект настройки» при таком подходе интерпретируется как процесс изменения состояния ОН

$$p = (S_0, S_1, S_2, \dots, S_n, \dots, S_q),$$

а с технологических позиций — как последовательность блоков операций, соответствующих последовательности изменений состояния ОН:

$$p = (B_1, B_2, \dots, B_n, \dots, B_q)$$

или по-иному

$$p = (B, \pi)$$

$$B = \{B_i: B_i(F_j, C_i), F_j \in A, C_i \in C\},$$

где: B — множество блоков операций,
 $\pi \subset B \times B$ — отношение, устанавливающее порядок выполнения блоков операций,

F_j — класс, объединяющий однородные в определенном смысле требования к объекту настройки,

C_i — настроечный агрегат — часть системы настройки C — совокупности средств технологического оснащения, используемой при выполнении блока операций B_n .

В ходе исследований трудовых процессов, сопровождающих процесс выполнения НР, оказалось целесообразным введение нового понятия — *элементарный процесс настройки*.

Математически модель элементарного процесса настройки записывается следующим образом

$$p = (B_n = \{u_n, U_{n1}, U_{n2}, U_{n3}, U_{n4}, U_{n5}\}, B_{n+1}),$$

$$\lambda_1 = \begin{cases} B_{n+1}, & \text{если } S_n \in S, S_n = \left\{ \bigcup_{j=1}^n F_j, \bigcup_{j=n+1}^q F_j \right\}, \\ U_{n1} & \text{в противном случае,} \end{cases}$$

$$\lambda_2 = \begin{cases} U_{n3}, & \text{если } i \in I_1, \\ U_{n4}, & \text{если } i \in I_2, \\ U_{n5}, & \text{если } i \in I_3. \end{cases}$$

где λ_1 — функция перехода от операции к операции внутри блока B_n ,

λ_2 — функция перехода к воздействиям U .

Используя ранее введенные подмодели, полный технологический процесс настройки представлен в виде множества, состоящего из нескольких элементарных процессов, количество которых определяется кардинальным числом $k(F_j)$ множества $\{F_j\}$.

Такая модель процесса настройки подразделяет его на две

части. Первая из них объединяет воздействия, выполняемые настройщиком в обязательном порядке, а вторая — воздействия, выполняемые только при несоответствии какого-либо состояния ОН заданным требованиям. При этом $k(U_n) = k(F_j)$.

Практическая применимость данной модели показана при разработке на ее основе типовых и индивидуальных технологических процессов настройки [32 ... 42, 74 ... 76, 86].

РАЗРАБОТКА КРИТЕРИЕВ НАСТРАИВАЕМОСТИ СУДОВОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Известные способы оценки настраиваемости электрооборудования хотя и позволяют дать интегральную оценку этой характеристики [284], но сделать это возможно только после выполнения процесса настройки. Один из этих способов был применен для оценки настраиваемости электрооборудования и позволил сделать следующие выводы [54]:

фактически достигнутый уровень пассивной настраиваемости далек от идеального, а от 40 до 50% трудоемкости НР падает на блок подготовительных операций и проверку монтажа электрооборудования на месте установки;

вне места монтажа, в условиях специальных лабораторий настроечных работ, можно выполнить не более 50% объема НР. Учитывая эти выводы не следует ожидать большого эффекта от внедрения «стендового» этала НР [129, 152, 228, 264, 320].

В работах [53, 57] предложен критерий для оценки настраиваемости, позволяющий дать объективную оценку этого свойства по документации ОН, не выполняя его настройку.

В частности, технико-экономический анализ процессов настройки релейно-контакторных схем управления судовых электроприводов и схемных решений позволил определить параметры, влияющие на затраты труда и определить регрессионную зависимость для оценки активной настраиваемости схем этого класса [53]

$$St = 0,00109 \frac{S}{n} + 0,041 \frac{Q}{n} + 0,708 \frac{P}{S},$$

где S — количество элементов в принципиальной схеме; n — количество операций управления (стоп, пуск, реверс и т. п.); Q — количество жил кабелей в схеме соединений; q — число узлов в принципиальной электрической схеме; P — число проводников в монтажной схеме.

РАЗРАБОТКА ТИПОВЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НАСТРОЙКИ И СРЕДСТВ ИХ ОСНАЩЕНИЯ

В основу методики разработки типовых процессов настройки положено составление обобщенной структурной схемы ОН. При этом все множество электрооборудования подразделяется на несколько классов, в пределах которых электрооборудование, как объект приложения труда настройщика, соотносится с одним и тем же обобщенным процессом настройки, имеющим общий состав и последовательность выполнения блоков операций.

Анализ обобщенных структурных схем, определение их свойств как предмета приложения труда настройщика, позволили определить порядок изменения технического состояния ОН, происходящего при воздействии на него настройщика и управляемых им средствами технологического оснащения. Выбранным техническим состояниям ОН ставятся в соответствие блоки операций $L: S_n \rightarrow B_n$, обеспечивающие переход ОН из одного технического состояния в другое. Такой подход, задающий последовательность блоков операций в типовом технологическом процессе настройки через логическую взаимосвязь функциональных частей и состояний ОН, реализован в отраслевых нормативно-технических документах, регламентирующих порядок разработки технологических процессов настройки [74, 75, 76].

Установление объективных связей между блоками операций и техническим состоянием ОН позволило также разработать ряд принципиально новых СТО [20, 21, 22, 23, 26] свойства которых как настроечных агрегатов задавались свойствами ОН как предмета приложения труда настройщика. В частности, разработаны и защищены авторскими свидетельствами новые процессы, базирующиеся на использовании полей рассеяния неподвижных электрических машин, в обмотки которых подано тестовое напряжение [78, 80].

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ СУДОВ В ПЕРИОД НАСТРОЙКИ

При выполнении ряда НИР впервые в отрасли было произведено инструментальное определение реальных затрат времени и энергии на испытание электростанций различных судов [103]. Наличие объективной информации о процессах настройки позволило разработать формы их организации, обеспечивающие сокращение продолжительности и трудоемкости работ, уменьшить затраты энергии [69, 70, 71]. Апробация разработок была произведена на судах типа «Балтика», атомных ледоколах серии «Арктика» [34, 44].

Выполненные работы позволили зафиксировать принципы рациональной организации электроснабжения судов в период настройки и испытаний в нормативно-технической документации [75, 87, 347], сформулировать требования к системам электроснабжения и расшивке главных электрораспределительных щитов, предусматривающей выделение технологически независимых частей ОН [16, 68].

Предложена новая конструкция нагрузочных устройств обеспечивающая использование их в системах горячего водоснабжения [79], а также принципы регулирования генераторных агрегатов, позволяющих снизить расход топлива [72, 88].