

УДК 621.316

Ю. С. Малышев, к. т. н.; О. В. Фёдоров, д. т. н., проф.

## АНАЛИЗ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ АВТОНОМНЫМИ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯМИ

*Приводятся проблемы разработки и реализации систем автоматического управления судовыми электростанциями традиционными методами и способы их решения путем применения метода конструктивно-функциональной близости на основе применения булевой алгебры.*

**Ключевые слова:** автоматическая система управления, логическая модель, судовая электростанция, структурирование объекта.

### Введение

В автономных электростанциях применяют электроагрегаты номинальной мощностью по параметрическому ряду от 0,5 до 3000 кВт. Наиболее распространены источники электроэнергии (ИЭЭ) с двигателями внутреннего сгорания. По роду тока различают ИЭЭ: постоянного тока, переменного однофазного и трёхфазного тока промышленной (50 Гц) и повышенной (400 Гц) частоты. Номинальное напряжение источников может быть низким (30, 115 и 230 В постоянного тока, 230 и 400 В переменного тока) и высоким (6 и 10 кВ). Частным случаем автономных источников являются судовые электростанции (СЭС), номенклатура которых включает СЭС мощностью от 8 до 2500 кВт, напряжением 230 и 400 В, частотой 50 Гц и автоматизированные в соответствии с I, II, III и IV степенью автоматизации [1, 2]. В настоящее время имеются все условия для модернизации систем автоматического управления (САУ) автономных электростанций на основе новых технологий.

### Материалы исследования

Основными источниками электроэнергии на судах являются дизель-генераторы постоянного или переменного тока с частотами вращения генераторов в диапазоне 500 – 3000 об/мин. Параметры СЭС основных серийных судов, на основе справочников [3 – 5], представлены в табл. 1.

Таблица 1

Параметры СЭС основных серийных судов речного флота

Тип судна/ (тип электро- агрегата)	Приводной двигатель-дизель			Генератор					
	Тип двигателя	Мощ- ность двигат еля, кВт	Частота вращения, об/мин	Тип	Род тока	Напряже- ние, В	Мощность, кВт	Степень автомати- зации судна	Кол- во
«Стк1001»/ (ДГР 100/750)	6ЧН18/22	110	750	ГСС-103- 8М	Переменный трехфазный 50Гц	400	100	-	2
	6Ч 12/14	58,8	1500	МСС83-4		390	50		1
Волго-Дон/ (ДГР-100/750)	6Ч 18/22	120	750	ГСС-103- 8М	Переменный трехфазный 50Гц	400 и 230	100	-	2
«Волга 4001»/ (ДГР2А 160/750, ДГ2А 100/750)	6ЧН18/22	160	750	ГСС-114- 8М	Переменный трехфазный 50Гц	400	150	А2	3
	6Ч15/18	100	1500	МССФ92- 4		400	100		1

Продовження табл. 1

«Сормовский 3060»/ (ДГРА 100/750, ДГА50М-9Р)	6Ч18/22	110	750	ГСС-103-8М МСС83-4	Переменный трехфазный 50Гц	400	100	А1	3
	6Ч 12/14	58,8	1500			400	50		1
«Ладога 101»/ (ДГРА2100/750, ДГА50, ДГА50М-9р)	6Ч18/22	110	750	ГСС-103-8М МСС83-4 МСС83-4	Переменный трехфазный 50Гц	390	100	А1	2
	6Ч 12/14	60	1500			390	50		1
	6Ч 12/14	60	1500			390	50		1
Танкер проект №19614 Н.Новгород (3*ДГРЗА 160/1500, АДГРЗА 62/1500)	DI12-62M	199	1500	stamford	Переменный трехфазный 50Гц	400	168	А3	3
	6Ч12/14	65	1500			400	62		
Пассажирский т/х «Антон Чехов» пр. Q 056, (ДГРА 420/1000)	6НВД26/20АЛ	463,7	1000	CSEE568-6В	Переменный трехфазный 50Гц	390	420	А1	2
	6НВД26-2	140	750	ССЕД458-8		390	124		1
Толкач-буксир проект № Н3290 ДГР 150/750 ДГА50-9	6ЧН 18/22	165	750	ГСС-114-8М МСК83-4	Переменный трехфазный 50Гц	400	150	-	2
	6Ч12/14	58,8	1500			400	50		1
Проект №19614	DI12 62M	199	1500	HCM434 C1 VDE 0530	50Гц	400	168	А3	3
	IDE 452TG	81	1500			400	62		
«Валериан Куйбышев» пр.92 016/ ДГ-480/750	6Ч 18/22	450	750	SRED-63У	Переменный трехфазный 50Гц	400	380	-	2
Проект № 576 ДГ-25/1-2 ПН 290	4ЧА	40	1500	МС82-4	Переменный трехфазный 50Гц Постоянный	220	25		2
	10,5/13	-	-			230	23,5		1

Анализ параметров СЭС судов российской постройки позволяет утверждать, что широко используются синхронные генераторы типов МС, МСК, ГСС, SSEД и др. различной степени автоматизации, однако САУ большинства этих генераторов построена на устаревшей релейно-контакторной элементной базе [1 – 5].

Анализ САУ СЭС речного флота России показывает, что значительная часть судовых электростанций нуждается в модернизации [2]. Однако отсутствие на российском рынке конкурентоспособных систем управления российского производства вынуждает судостроителей устанавливать импортные САУ, отказы которых не могут быть устранены судовым персоналом, тем более в случае отсутствия электротехнического персонала (электромехаников). Иногда это связано с отсутствием принципиальных схем и программного кода контроллеров в документации импортных САУ, а также квалификацией обслуживающего персонала. Учитывая перечисленные проблемы, необходимо разрабатывать отечественные САУ СЭС, соответствующие современным требованиям автоматизации и надежности.

При разработке САУ широко используют аппарат алгебры логики [6] в связи с необходимостью перехода на цифровую элементную базу. Одним из методов реализации этого аппарата для описания структуры САУ СЭС является метод конструктивно-

функциональной близости.

Обычно при делении на элементы структурных моделей используют принцип конструктивной близости, не учитывающий сигналы, передаваемые через конструктивный элемент, или принцип функциональной близости, заключающийся в том, что при определении внутреннего содержания объекта в нем собирают элементы, работающие на формирование общего выходного сигнала на одном выходе. При этом рассматривают сигналы одной природы. Однако в комбинированных системах, какой является электрическая станция, наличие разнородных сигналов и конструктивное исполнение деталей и узлов в большинстве случаев не позволяет использовать отдельно принципы конструктивной и функциональной близости. Таким образом, для улучшения свойств надежности (безотказности и ремонтпригодности) СЭС целесообразно применять метод конструктивно-функциональной близости для структурирования систем при проектировании новых САУ СЭС. Метод конструктивно-функциональной близости предполагает конструктивное единство и разделение входных сигналов по функциональному назначению или физической природе сигналов.

На основании структурного анализа САУ СЭС речных судов данным методом становится возможным синтезировать структурную модель судовой электростанции, описать сигналы различной природы и учесть очень слабые сигналы, проходящие через конструктивные элементы СЭС, что в конечном итоге предотвращает возникновение ряда ошибок и сокращает время восстановления при возникновении неисправности.

Вывод подтверждается статистическим анализом судовых журналов пассажирских теплоходов проектов 92 016 и Q 056 и сухогрузного теплохода проекта 576. Полная мощность генераторов, установленных на теплоходах, охватывает диапазон от 40 до 500 кВА для одного электроагрегата. Исследования проведены в основных штатных режимах и с имитацией аварийных ситуаций. Согласно этому анализу, время восстановления СЭС снижается от 5 % до 25 % за счет сокращения времени поиска неисправности в результате применения САУ, построенной по методу конструктивно-функциональной близости.

На рис. 1 показаны зависимости  $\Delta Э$  от мощности подключенного к электроагрегату оборудования для трех теплоходов с учетом продолжительности навигации в 200 суток.

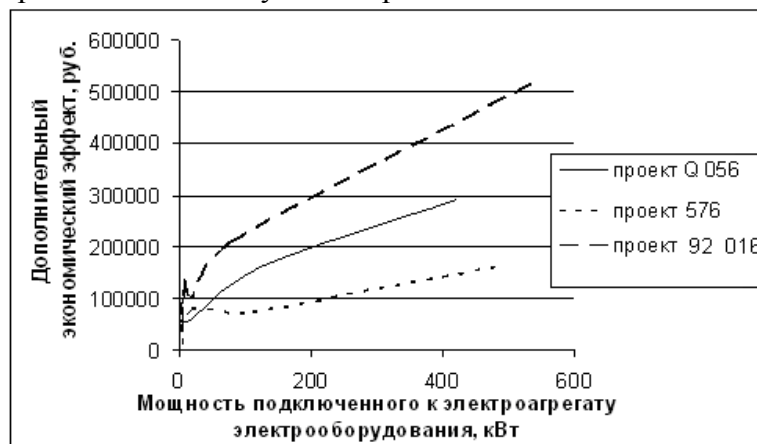


Рис. 1. Зависимость  $\Delta Э$  от мощности подключенного к электроагрегату оборудования

Перепады характеристик  $\Delta Э$  при мощности подключенного оборудования до 75 кВт связаны с различными значениями интенсивностей отказов маломощных потребителей. Сокращение времени восстановления СЭС дает дополнительный экономический эффект  $\Delta Э$ . Расчеты показывают, что при увеличении мощности подключенного к СЭС электрооборудования  $\Delta Э$  возрастает.

## Выводы

Таким образом, применение метода конструктивно-функциональной близости позволяет реализовать аппарат алгебры логики в управлении автономными электростанциями, более полно описать структуру САУ СЭС, что увеличивает их безотказность и сокращает время восстановления.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чипурнов А. И. Судовая электроавтоматика / Чипурнов А. И., Константинов С. С., Чаплыгин С. И. – М.: Транспорт, 1984. – 240 с.
2. Толшин В. И. Автоматизация судовых энергетических установок. – 3-е изд. / В. И. Толшин, И. Л. Сизых. – М.: ТРАНСЛИТ, 2006. – 352 с.
3. Справочник по серийным речным судам. Т. 9 / ЦБНТИ Минречфлота. – М.: Транспорт, 1993. – 200 с.
4. Справочник по серийным речным судам. Т. 10 / ЦБНТИ Минречфлота. – М.: Транспорт, 1994. – 137 с.
5. Справочник по серийным речным судам. Т. 11, ЦБНТИ Минречфлота. – М.: Транспорт, 1995. – 213 с.
6. Владимиров Д. А. Булевы алгебры / Владимиров Д. А. – М.: Наука, 1969. – 320 с.

**Малышев Юрий Сергеевич** – к. т. н., кафедра электротехники и электрооборудования объектов водного транспорта, ст. преподаватель, e-mail: [elektrikasp@mail.ru](mailto:elektrikasp@mail.ru), тел: +79049095590.

Волжская государственная академия водного транспорта.

**Фёдоров Олег Васильевич** – д. т. н., профессор, кафедра управления инновациями, профессор кафедры, e-mail: [fov52@nm.ru](mailto:fov52@nm.ru).

Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева.