

УДК: 629.5.064.5: 621.311

## СПОСОБ ВЕРИФИКАЦИИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ АЛГОРИТМОВ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МНОГОАГРЕГАТНОЙ СУДОВОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТАНЦИЕЙ

*Шевченко В.А.*

*Одесская национальная морская академия*

*В работе предложен способ верификации функциональных алгоритмов системы управления судовой многоагрегатной электрической станцией. Построен граф состояний электростанции. Даны примеры описания состояний станции и условий перехода между ними.*

*Получена логическая схема алгоритма функционирования одного из блоков станции. Предложен способ задачи очередности пуска генераторных агрегатов из резерва.*

**Ключевые слова:** *многоагрегатная станция, генераторный агрегат, алгоритм, верификация, граф, логическая схема алгоритма.*

**Введение.** На современных специализированных и пассажирских судах с целью обеспечения надежности электрического снабжения и по критериям экономичности используются многоагрегатные электрические станции. Так, например, на пассажирских судах с электродвижением электрическая станция состоит не менее, чем из шести генераторных агрегатов (ГА). Поэтому решение задач, связанных с управлением судовыми электрическими станциями при изменении нагрузки и технического состояния агрегатов, является важным [1].

**Актуальность исследований.** Надежность работы судовой электрической станции (СЭС) определяется надежностью работы ее силовой части и системы управления. В свою очередь, надежность работы системы управления СЭС определяется надежностью аппаратной части и программного обеспечения. Совершенствование и той, и другой части требует от разработчиков постоянного внимания [2]. Современные технологии обеспечивают высокую надежность аппаратной части, выпускаемой в виде контроллеров, предназначенных для работы в различных условиях окружающей среды и устойчивых к влиянию вредных технологических процессов. Кроме того, аппаратная часть является «видимой» и доступной как для разработчиков, так и для эксплуатационников, в то время как программная остается «невидимой» и, в большинстве случаев, недоступной в силу ее защищенности конкретными производителями. В этой связи разработку программного обеспечения для каждого отдельного объекта, ввиду отсутствия программного аналога, приходится начинать при «нулевых условиях», поиском эффективных методов верификации задач и синтеза функциональных алгоритмов.

**Постановка задачи.** Задачей данной статьи является разработка способа верификации функциональных алгоритмов системы управления многоагрегатной судовой электрической станцией с целью обеспечения бесперебойного электроснабжения и повышения экономичности ее работы.

**Результаты исследований.** На первом этапе верификации использован метод графа-автомата [3], который позволяет достаточно наглядно и компактно отобразить совокупность состояний объекта и переходов между ними. Однако сам по себе граф автомата содержит слабо развитую синтаксическую структуру, что затрудняет проверку семантической корректности (полноты и непротиворечивости) формализуемого задания. Указанный недостаток устраняется применением систем булевых функций (функторов) для описания совокупности признаков состояний объекта и условий перехода.



размерности  $m!$ , поскольку это является избыточным с точки зрения затрат ресурсов производительности вычислительной техники и усложнением управляющей программы. В связи с этим при отборе элементов подмножества  $SQ(F) \in SQ(N_{SQ})$  руководствуются тем, чтобы была обеспечена возможность постановки каждого ГА в любую очередь. Для этого вполне достаточно располагать последовательностями объемом  $|SQ(F)| = m$ :

$$\left( \begin{array}{c|c|c} SQ(1) & & 1 & 2 & 3 & \dots & \dots & \dots & m \\ SQ(2) & & 2 & 3 & 4 & \dots & \dots & m & 1 \\ SQ(3) & & 3 & 4 & 5 & \dots & m & 1 & 2 \\ \dots & \cong & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ SQ(m-1) & & m-1 & m & 1 & 2 & \dots & \dots & m-2 \\ SQ(m) & & m & 1 & 2 & \dots & \dots & m-2 & m-1 \end{array} \right) \quad (4)$$

Синтез алгоритма задания очередностей (4) вызывает меньше трудностей, чем синтез полноразмерного алгоритма, поскольку можно обойтись выбором текущей  $SQ(i)$  последовательности среди  $m$  последовательностей.

Для перехода к описанию при помощи графа-автомата необходимо определить количество состояний объекта и технологического процесса. Количество состояний СЭС, в первую очередь, определяется количеством ГА в ней.

В качестве примера верификации приведем формализацию алгоритма функционирования трехагрегатной электрической станции, принцип которой может быть использован при формализации алгоритмов СЭС с любым количеством ГА.

Для системы трехагрегатной СЭС номера состояний имеют следующие значения: 1 – работает под нагрузкой один ГА( $k$ ); 2 – к ГА( $k$ ) синхронизируется ГА( $l$ ); 3 – ГА( $k$ ) и ГА( $l$ ) работают в параллели; 4 – ГА( $k$ ) и ГА( $l$ ) распределяют нагрузку; 5 – ГА( $l$ ) сбрасывает нагрузку на ГА( $k$ ); 6 – к ГА( $k$ ) и ГА( $l$ ) синхронизируется ГА( $m$ ); 7 – ГА( $k$ ), ГА( $l$ ) и ГА( $m$ ) работают в параллели; 8 – ГА( $k$ ), ГА( $l$ ) и ГА( $m$ ) распределяют нагрузку; 9 – ГА( $m$ ) сбрасывает нагрузку на ГА( $k$ ) и ГА( $l$ ); 10 – СЭС обесточена.

Каждая вершина графа  $GR(i) \in GR(N_{GR})$ ,  $i \in N_{GR}$  сопоставима с вполне определенным предикативным состоянием  $LC(i) \in LC(N_{LC})$ , где  $N_{GR}$  и  $N_{LC}$  – нумерации, взаимно связанные однозначным соответствием  $|N_{GR}| = |N_{LC}| = 10$ . Например, если в параллели работают два ГА, нагрузка не перераспределяется и не происходит ее сброс, то только один предикат должен быть истинным  $LC(3) = И$ , а остальные – ложными. Под термином «предикативные состояния» понимается система предикатов, лишенных парадоксов в том смысле, что каждое состояние должно описываться отличным от другого, полным и непротиворечивым набором слов-признаков, а для установления состояния STS должен существовать вполне определенный алгоритм. В таком случае граф состояний трехагрегатной СЭС примет вид (рис. 1):

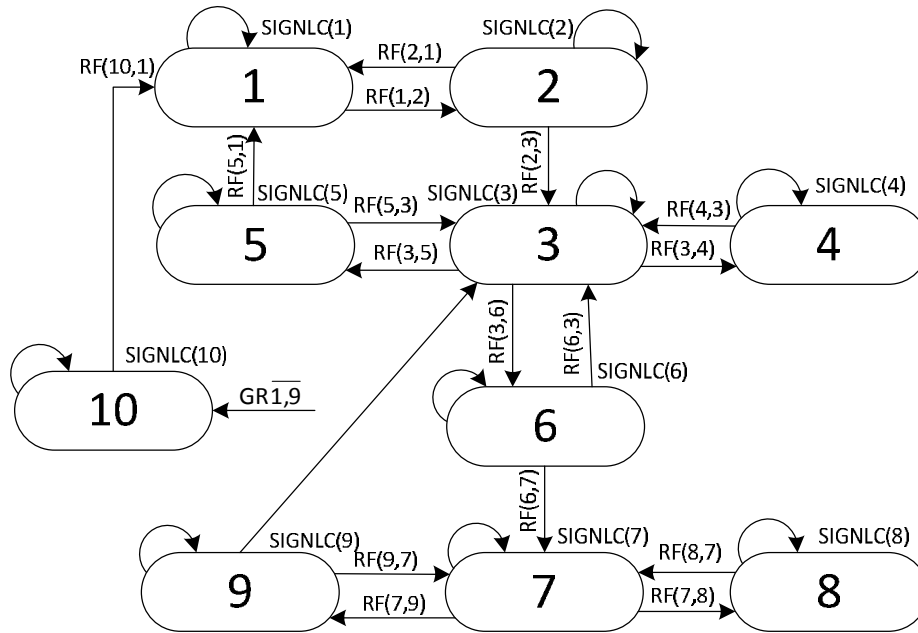


Рисунок 1 – Граф состояний трехагрегатной станции

Способ описания состояния раскроем на примере описания 7-го состояния и нескольких его переходов:

$$\text{SIGNLC}(7) \cong N(k) \& N(l) \& N(m) \& \overline{\text{MSY}} \& \overline{\text{MEM}} \& \overline{\text{MSP}(i)} \& \overline{\text{MCHL}} \quad (5)$$

где  $\text{SIGNLC}(7)$  – признак седьмого состояния;  $N(k)$ ,  $N(l)$  и  $N(m)$  – к шинам подключены три ГА;  $\overline{\text{MSY}}$  – синхронизация не происходит;  $\overline{\text{MEM}}$  – аварийные состояния отсутствуют;  $\overline{\text{MSP}(i)}$  – команд на останов ГА не поступало;  $\overline{\text{MCHL}}$  – распределения нагрузок не происходит.

Переход из состояния 7 в состояние 9 может быть описан следующим образом:

$$\begin{aligned} \text{RFLC}(7 \rightarrow 9) \cong \text{LC}(7) \& \text{MUNL}(m) \& \overline{\text{MEM}} \rightarrow (\text{WRLC}(9), \text{WRUNL}(m), \\ \text{WRB}(\text{UNL}), \text{WRTHD}(\text{UNL})), \end{aligned} \quad (6)$$

где RF – результатная функция; приставки M (message) и WR (wright) при командах означают поступившее для исполнения сообщение с командой и запись состояния, команды или данных в память; MUNL – команда разгрузки ГА; WRB – запись в память времени, отведенного для разгрузки; WRTHD – запись в память порогового значения нагрузки ГА, при котором произойдет отключение ГА.

Этот этап верификации дает возможность перейти к более детальной форме верификации на базе алгоритмического языка логических схем алгоритма (ЛСА). С учетом (5), (6), ЛСА модуля SBLC(7) примет вид:

$$\begin{aligned} \text{SBLC}(7) = S_H \{ \text{SBINP} \cdot \text{SBCNT} \cdot \text{SBLD} \cdot \text{SBOVL} \} \text{SIGNLC}(7) \uparrow^1 \\ \uparrow^1 | \text{LD}(m) - \text{LD}(k) | > \varepsilon \vee | \text{LD}(l) - \text{LD}(k) | > \varepsilon \vee | \text{LD}(m) - \text{LD}(l) | > \varepsilon \uparrow^2 \omega \uparrow^3 \\ \downarrow^2 \text{MSP} m(t) \uparrow^4 \omega \uparrow^5 \downarrow^4 \text{MSP} m(t+1) \uparrow^k \omega \uparrow^5 \downarrow^3 \text{WRLC}(8) \cdot \text{JMSBLSH} \downarrow^5 \\ \text{WRLC}(9) \cdot \text{JMUNL}(m) \downarrow^1 \text{WRNOLC} \cdot \text{DOP} \downarrow^k S_k \end{aligned} \quad (7)$$

где SBINP, SBCNT, SBLD, SBOVL – подпрограммы ввода данных процесса, счета количества подключенных к шинам ГА, измерения нагрузки, выполнения операций разгрузки при перегрузках соответственно;  $LD(m, k, l)$  – нагрузка каждого из трех работающих ГА;  $\varepsilon$  – допустимое отклонение нагрузки у работающих в параллели ГА; JBSBLSH – переход на подпрограмму распределения нагрузки генераторов; WRNOLC – запись в память неопределенного состояния; DOP – запрос на принятие решения оператором.

**Выводы.** В работе предложен способ верификации функциональных алгоритмов системы управления судовой электрической станцией. Верификация состоит из трех этапов: построение графа состояний; описание при помощи переключательных функций состояний системы и условий переходов между ними; синтез логических схем алгоритмов работы системы управления СЭС.

Сочетание графа-автомата и ЛСА является функционально полным набором верификации для программиста, достаточный для разработки программного обеспечения с учетом спецификации аппаратной части.

Рассмотренные функциональные алгоритмы системы управления СЭС являются своеобразным фундаментом, на котором целесообразно строить алгоритмы оптимизации, толерантного к неисправностям и адаптивного управления, а также алгоритмы работы локальных подсистем СЭС. В этой связи, на наш взгляд, дальнейшие исследования целесообразно посвятить разработке алгоритмов управления электрической станцией по таким критериям, как наработка часов, удельный расход топлива и техническое состояние ГА.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Головки С. В. Моделирование автоматической системы управления судовой электростанции с учетом состояния оборудования / С. В. Головки // Вестник Астраханского государственного технического университета : научн. журнал. – Вып. 3 – Астрахань, 2014. – С. 58-63.
2. Пипченко А. Н. Проблемы оптимизации судовых электростанций / А. Н. Пипченко, А. А. Толстов. – Л. : Судостроение, 1985. – № 6.
3. Пипченко А. Н. О некоторых методологических аспектах построения рациональных структур микропроцессорных систем в судовой энергетике / А. Н. Пипченко, В. В. Пономаренко // Электрооборудование и автоматизация установок и систем : сб. науч. тр. – Николаев : НКИ, 1988.

## REFERENCES

1. Golovko S. V. Modelirovanie avtomaticheskoyj sistemih upravleniya sudovoyj ehlektrostantsii s uchetom sostoyaniya oborudovaniya / S. V. Golovko // Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta : nauchn. zhurnal. – Vihp. 3 – Astrakhanj, 2014. – S. 58-63.
2. Pipchenko A. N. Problemih optimizacii sudovihkh ehlektrostantsiyj / A. N. Pipchenko, A. A. Tolstov. – L. : Sudostroenie, 1985. – № 6.
3. Pipchenko A. N. O nekotoryhkh metodologicheskikh aspektakh postroeniya racionaljnihkh struktur mikroprocessornihkh sistem v sudovoyj ehnergetike / A. N. Pipchenko, V. V. Ponomarenko // Ehlektrooborudovanie i avtomatizaciya ustanovok i sistem : sb. nauch. tr. – Nikolaev : NKI, 1988.

**Шевченко В.А.** СПОСІБ ВЕРИФІКАЦІЇ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ АЛГОРИТМІВ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ БАГАТОАГРЕГАТНОЮ СУДНОВОЮ ЕЛЕКТРИЧНОЮ СТАНЦІЄЮ

*У роботі отримано спосіб верифікації функціональних алгоритмів системи управління судновою багато агрегатною електричною станцією. Побудовано граф станів електростанції. Надані приклади опису станів станції та умов переходів між ними.*

*Отримано логічну схему алгоритму функціонування одного з блоків станції. Запропоновано спосіб завдання черговості пуску генераторних агрегатів з резерву.*

**Ключові слова:** багато агрегатна станція, генераторний агрегат, алгоритм, верифікація, граф, логічна схема алгоритму.

**Shevchenko V.A.** THE WAY OF VERIFICATION OF SHIP MULTIUNIT ELECTRICAL POWER PLANT CONTROL SYSTEM FUNCTION ALGORITHMS

*A method of ship multiunit power plant control system function algorithms verification was received in the paper. Power plant state graph was built. An examples of power plant states and its transferring functions were given.*

*The logical diagram of one power plant unit was received. The way of generators starting sequence setting was offered.*

**Keywords:** multiunit power plant, generator set, algorithm, verification, graph, algorithm logical diagram.

© Шевченко В.А.

Статтю прийнято  
до редакції 3.04.15