

- 1) A и B – ω' -группы;
- 2) $|A| = p \in \omega$, $|B| = q \in \omega$;
- 3) $|A| = p \in \omega$, B – ω' -группа.

1. Скиба А. Н. Алгебра формаций. Мн., 1997.
2. Скиба А. Н., Шеметков Л. А. // Мат. труды. 1999. Т. 2. № 1. С. 114.
3. Джарадин Джехад // Вопр. алгебры. Гомель, 1996. Вып. 9. С. 45.
4. Джарадин Джехад // Там же. 1995. Вып. 3. С. 59.
5. Селькин В. М. Формации с единственной максимальной τ -замкнутой ω -локальной подформацией. Препринт / Гомел. гос. ун-т им. Ф. Скорины. Гомель, 2001. № 107.

Поступила в редакцию 20.09.2002.

Ирина Михайловна Близнец – аспирант кафедры алгебры и геометрии ГГУ им. Ф. Скорины. Научный руководитель – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой алгебры и геометрии ГГУ им. Ф. Скорины А.Н. Скиба.

УДК 681.511

Д.Н. ШЕВЧЕНКО

О СПОСОБЕ ФОРМАЛИЗАЦИИ СЖАТ ПРИ ДОКАЗАТЕЛЬСТВЕ БЕЗОПАСНОСТИ ИХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

To propose formalism of discrete railway automatic and telemechanics systems for simulation modeling by analysis and estimation of safety their.

Системы железнодорожной автоматики и телемеханики (СЖАТ) относятся к классу электронных систем управления ответственными технологическими процессами. Поскольку отказ или сбой в их работе могут привести к большому экономическому ущербу и непосредственной угрозе жизни людей, то при разработке и сертификации СЖАТ необходима процедура доказательства безопасности их функционирования, которая согласно [1] состоит в:

- проверке выполнения условий безопасности функционирования системы, в том числе в случаях неисправностей в ее структуре и задержек;
- проверке системы на самопроверяемость и тестируемость;
- получении и сравнении с нормой оценок вероятностных показателей безопасности функционирования СЖАТ.

Одним из эффективных методов доказательства безопасности системы, позволяющим выполнять названные исследовательские процедуры с математической моделью, является имитационное моделирование (ИМ). Эффективность ИМ, связанная с адекватностью модели и ресурсоемкостью исследований, во многом зависит от выбранного способа формализации СЖАТ.

Основные положения формализации систем. СЖАТ представляет собой систему с несколькими информационными и управляющими входами, несколькими выходами и определенной внутренней структурой [2]. Состояние системы в каждый момент времени $\xi^\Sigma(t)$ характеризуется множеством состояний ее компонентов:

$$\xi^\Sigma(t) = \{ \xi_1(t), \xi_2(t), \dots, \xi_n(t) \}, \quad (1)$$

где $\xi_i(t)$, $i = \overline{1, n}$, – вектор внутренних и выходных состояний i -го компонента системы в момент времени t , n – число компонентов. Процесс функциони-

рования СЖАТ характеризуется изменением вектора состояния системы во времени. Учитывая дискретный характер СЖАТ, будем полагать, что множество состояний конечно, а функционирование системы есть непрерывный случайный процесс с конечным фазовым пространством. Будем также предполагать, что процесс функционирования СЖАТ полностью определяется начальным состоянием системы, входными воздействиями [2] и возможными ее неисправностями.

Основной целью ИМ СЖАТ является анализ видов, последствий и критичности неисправностей системы, а также количественная оценка таких характеристик, как вероятность безопасной работы, среднее время наработки на опасный отказ и др.

Исходной информацией для исследования безопасности функционирования СЖАТ является принципиальная, функциональная или структурная схема системы; временные и надежностьные характеристики ее компонентов (параметры модели); критерии опасных отказов и обнаружения неисправностей. Независимыми переменными модели являются [3] входные воздействия на СЖАТ и переменные, характеризующие состояние процесса функционирования системы $\xi^2(t)$. Входные воздействия на исследуемую СЖАТ, так же как и процесс функционирования системы, предлагается моделировать в виде дискретного процесса с конечным фазовым пространством и непрерывным временем $\eta(t)$, который в каждый момент времени характеризуется вектором состояний информационных и управляющих входов системы. Зависимыми переменными имитационной модели СЖАТ являются [3] ее выходные реакции.

Декомпозиция и уровень детализации СЖАТ. Декомпозицию СЖАТ предлагается проводить в соответствии с исходной схемой системы путем разбиения ее на компоненты, допускающие агрегатное описание [4]. Каждый агрегат модели (А) описывается вектором входных воздействий (X), внутренним (Q) и выходным (Y) состояниями, функциями переходов (H) и выходов (G), вектором временных (T) и вектором надежностьных (S) характеристик. Таким образом,

$$A = \{X^k, H^l, T, Q^l, G^m, S, Y^m\}. \quad (2)$$

Количество входов агрегата (k), внутренних элементов памяти (l), входов (m), а также вид функций переходов (H) и выходов (G) агрегата определяют его тип. Использование типовых агрегатов в значительной степени автоматизирует процесс построения имитационной модели СЖАТ. В итоге агрегативная модель СЖАТ представляет собой матрицы спецификации и коммутации компонентов – агрегатов. При этом модель безопасного функционирования СЖАТ (формальное описание объекта моделирования) полностью соответствует исходной схеме системы (содержательному описанию объекта моделирования), что позволяет наглядно и быстро строить модели безопасности функционирования исследуемых систем.

Среди уровней детализации электронных СЖАТ [1] вентильный и регистровый наиболее полно и эффективно соответствуют целям моделирования и принятой агрегатной декомпозиции систем. Вентильный уровень играет основную роль при проектировании цифровых схем. Поведенческое описание компонентов системы в этом случае представляет собой булевы формулы. Применение вентильного уровня детализации непосредственно позволяет исследовать правильность логического функционирования моделируемой системы, проводить анализ ее временных характеристик и состязания и оценивать риск сбоя сигналов в системе.

При детализации системы на функциональном уровне базовыми элементами являются регистры, мультиплексоры и другие функциональные устройства. Поведенческое представление элементов при этом также возможно с использованием булевых формул либо с применением языков регистровых передач. Функциональный уровень детализации применим и для исследования безопасности СЖАТ, заданной функциональной или структурной схемой.

Применение в имитационной модели безопасности функционирования СЖАТ сразу двух уровней детализации позволит использовать в качестве исходных принципиальную, функциональную или структурную схемы системы, а также реализовать идею разработки имитационной модели с регулируемой адекватностью [1].

Модель сигналов СЖАТ. Как известно, взаимодействие агрегатов осуществляется с помощью сигналов [3, 4], которые в данном случае соответствуют электрическим сигналам элементов СЖАТ. Моделирование и соответственно верификация системы не могут проводиться без учета моделей распространения сигналов.

Электрические сигналы дискретных элементов при переключении из одного состояния в другое имеют сложную форму и описываются множеством временных характеристик [5]. Однако фактическое изменение состояния цифрового сигнала происходит при переходе им порогового значения, а реакция элемента на изменение входных воздействий характеризуется временем задержки распространения сигнала при включении ($t_{здр}^{1,0}$) и выключении ($t_{здр}^{0,1}$) элемента.

В используемых моделях будем полагать, что сигналы дискретных компонентов имеют два уровня квантования: уровень логического нуля – «лог. 0» и логической единицы – «лог. 1», а смена состояния сигнала происходит мгновенно. При этом задержка реакции агрегатов на изменение входных воздействий определяется только временем задержки распространения сигнала при включении и выключении элемента, т. е. будем считать сигнал идеальным. Тип и параметры законов распределения времени задержки распространения сигнала $t_{здр}^{1,0}$ и $t_{здр}^{0,1}$ каждого компонента описываются вектором временных характеристик агрегата (T).

Для аналоговых элементов и подсистем СЖАТ, критичных форме электрических сигналов, предлагается использовать 32 уровня квантования. Нулевой уровень соответствует уровню «лог. 0», а 31-й – уровню «лог. 1».

Организация квазипараллельной работы компонентов. Для предлагаемого способа формализации компонентов СЖАТ и их соединений инициатором любой активности в модели является изменение состояний агрегатов, а также возникновение неисправностей одного из компонентов системы.

Предполагается, что при изменении входных воздействий на агрегат в определенный момент его активизация осуществляется следующим образом. Сначала в момент времени $(t + \min\{t_{здр}^{1,0}, t_{здр}^{0,1}\})$ вычисляется (в соответствии с функцией переходов агрегата H) и устанавливается его новое внутреннее состояние Q . Затем в соответствии с функцией выходов G определяется новое выходное состояние агрегата Y . При этом функция G использует значение входного состояния агрегата X , соответствующее $(t + \min\{t_{здр}^{1,0}, t_{здр}^{0,1}\} - o)$, и вновь вычисленное значение внутреннего состояния агрегата Q , соответствующее $(t + \min\{t_{здр}^{1,0}, t_{здр}^{0,1}\} + o)$. Реализация

функций переходов и выходов агрегатов выполняется алгоритмически [6], что упрощает моделирование работы тех из них, которые подвержены возможным неисправностям.

Новые выходные сигналы агрегата уровня «лог. 0» устанавливаются в момент времени $(t + t_{зд}^{1,0})$, а уровня «лог. 1» – $(t + t_{зд}^{0,1})$, т. е. в два этапа. При этом выходные сигналы одинакового уровня устанавливаются на соответствующих линиях агрегата в один и тот же момент модельного времени. При изменении входных воздействий на агрегат, ожидающий выполнения своей функции, предыдущая операция по активизации агрегата маскируется.

Активизация синхронных дискретных и квазианалоговых компонентов отличается от аналогичных действий относительно асинхронных дискретных компонентов и требует большего числа этапов. В первом случае это обусловлено опросом линии синхронизации элемента, так как источником активности агрегата является соответствующее изменение состояния линии синхронизации. Во втором случае исследуется форма квазианалогового сигнала, и количество этапов активизации агрегата может достигать 31 (по числу уровней квантования сигналов).

Организация квазипараллельной работы агрегатов проводится способом просмотра активностей, а изменение модельного времени – способом шага до следующего события. При этом каждое функциональное действие в модели происходит в точно соответствующее ему время, и в модели воспроизводится реальная очередность функциональных действий, что необходимо при исследовании дискретных электронных СЖАТ, подверженных состязаниям элементов памяти [1], а также при анализе временных характеристик этих систем.

Применение в модели СЖАТ способа изменения времени шагом до следующего события совместно с событийным обслуживанием лишь агрегатов с изменившимися состояниями [1, 4] и упрощенной обработкой сигналов дискретных элементов позволят строить достаточно адекватные и при этом быстродействующие модели безопасности дискретных систем.

Моделирование неисправностей компонентов. Неисправности дискретных компонентов состоят во временном или постоянном изменении их структуры и проявляются в выработке ложных выходных реакций. Если рассматривать компоненты в виде «черных ящиков», то их неисправности предлагается моделировать маскированием состояний выходных линий ложными значениями. При этом будем полагать, что неисправности на каждой выходной линии компонента проявляются независимо друг от друга. Однако для компонентов с внутренними элементами памяти ($l > 0$) ложные выходные воздействия могут вырабатываться сразу на нескольких линиях, что обусловлено искажением состояний элементов памяти, используемых функцией выходов (G) агрегата. Поэтому будем полагать, что неисправности могут проявляться и в изменении состояния каждого элемента памяти компонента также независимо друг от друга.

В соответствии с типом и временем действия неисправностей будем различать отказы, помехи и сбои. *Отказом* будем считать постоянную фиксацию сигнала уровня «лог. 0» или «лог. 1» на выходной линии или во внутреннем элементе памяти агрегата. Фиксация сигнала уровня «лог. 0» называется отказом «константный ноль»; фиксация сигнала уровня «лог. 1» – отказом «константная единица» [1]. *Помеха* – изменение уровня сигнала на выходной линии или во внутреннем элементе памяти агрегата в течение ог-

раниченного времени T_n на величину L_n . Предположим, что в течение времени действия помехи ее уровень L_n сохраняется постоянным и аддитивно накладывается на полезный сигнал. Для дискретных компонентов действие помехи аналогично действию самоустранимого константного отказа, но причины (а значит, и вероятностные закономерности) их возникновения различны. *Сбоем* называется временное изменение состояния дискретного сигнала на выходной линии или во внутреннем элементе памяти агрегата на противоположное логическое значение. Длительность сбоя ограничивается одним тактом работы синхронной системы [2] или выработкой новых выходных и внутренних состояний агрегата асинхронной системы. В квазианалоговых компонентах сбой не моделируется.

Для принятого способа моделирования неисправностей компонента вектор надежностных характеристик (S) агрегата содержит указание вида и параметров законов распределения времени наработки компонента на неисправности и законов распределения характеристик неисправностей (уровень и время действия помехи). Для константных отказов задаются также законы распределения времени восстановления. Учет вероятностных показателей надежности компонентов системы предоставляет возможность количественной оценки вероятностных показателей безопасности функционирования СЖАТ методом статистического моделирования.

Критерии опасных отказов и критерии обнаружения неисправностей. Наряду с состояниями СЖАТ [6] опасными могут быть и некоторые траектории процесса функционирования СЖАТ $\xi^Z(t)$, например выработка ответственной команды системой диспетчерской централизации [1]. Поэтому под опасным функционированием системы будем понимать реализацию процессом $\xi^Z(t)$ множества траекторий, которые не удовлетворяют нормативным требованиям безопасности. *Критерием опасного отказа СЖАТ* [1, 6, 7] будем называть совокупность признаков траектории или множества траекторий $\{R^F(t)\}$, реализация которых в процессе функционирования СЖАТ $\xi^Z(t)$ небезопасна и поэтому недопустима.

Опасное функционирование системы возможно из-за ошибок ее разработчиков и/или в случае неисправностей. Согласно общепринятым концепциям и требованиям безопасности функционирования СЖАТ [1, 6], возникновение любой неисправности должно переводить систему в неработоспособное защитное состояние [6] и может быть обнаружено средствами диагностики и контроля. Для идентификации подобного функционирования модели СЖАТ введем понятие *критерия обнаружения неисправностей* как совокупности признаков траектории или множества траекторий $\{R^D(t)\}$, реализация которых в процессе функционирования СЖАТ $\xi^Z(t)$ соответствует неработоспособному защитному состоянию и/или обнаружению неисправностей системы.

По сравнению с существующими способами формализации, используемыми при доказательстве безопасности функционирования дискретных систем, предлагаемый агрегатный способ формализации дискретных систем имеет ряд преимуществ:

- позволяет проводить исследование безопасности функционирования СЖАТ сразу на нескольких уровнях детализации системы. При этом предложенная модель полностью соответствует исходной схеме системы;

– упрощена процедура вычисления и установки новых внутренних и выходных состояний компонентов дискретных СЖАТ, что наряду с событийным обслуживанием активностей компонентов позволит строить в значительной степени быстродействующие (при этом достаточно адекватные) имитационные модели;

– унифицировано представление процесса функционирования СЖАТ и входных воздействий на систему как непрерывного процесса с дискретным фазовым пространством. Это упрощает задание характеристик входных воздействий на систему, а также критериев опасных отказов и обнаружения неисправностей СЖАТ при контроле безопасности процесса функционирования системы $\xi^2(t)$;

– учет вероятностных характеристик надежности компонентов СЖАТ позволяет получать количественные оценки вероятностных показателей безопасности функционирования СЖАТ методом статистического моделирования. Указанная возможность отсутствует в известных средствах имитационного моделирования безопасности функционирования дискретных систем.

1. Сертификация и доказательство безопасности систем железнодорожной автоматики / Под ред. Вл.В. Сапожникова. М., 1997.

2. Сапожников В.В., Кравцов Ю.А., Сапожников Вл.В. Дискретные устройства железнодорожной автоматики, телемеханики и связи. М., 1988.

3. Харин Ю.С., Малюгин В.И., Кирлица В.П. и др. Основы имитационного и статистического моделирования: Учеб. пособие. Мн., 1997.

4. Максимей И.В. Имитационное моделирование на ЭВМ. М., 1988.

5. Цифровые и аналоговые интегральные микросхемы: Справ. / Под ред. С.В. Якубовского. М., 1989.

6. ОСТ 32.17-92. Безопасность железнодорожной автоматики и телемеханики. Основные понятия. Термины и определения. СПб., 1992.

7. Сапожников В.В. и др. // Автоматика, телемеханика и связь. 1993. № 2.

Поступила в редакцию 28.02.2003.

Дмитрий Николаевич Шевченко – аспирант кафедры математических проблем управления ГГУ, магистр технических наук. Научный руководитель – доктор технических наук, профессор И.В. Максимей.

УДК 517.44

Е.К. ЦЕТНИКОВИЧ

МОДИФИЦИРОВАННОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ХАНКЕЛЯ В ВЕСОВЫХ ПРОСТРАНСТВАХ СУММИРУЕМЫХ ФУНКЦИЙ

The modified integral transform involving the Bessel function of the first order $J_\eta(z)$ in a kernel is studied on the weighted spaces of r -summable functions. Mapping properties such as the boundedness, the representation and the range of the considered transform are given, and the inversion formulae are established.

Рассмотрим интегральное преобразование

$$(S_{\delta, \alpha, \mu} f)(x) = x^{\alpha\mu/2} \int_0^\infty t^{-\alpha\mu/2 + \mu - 1} J_{2\delta + \alpha} \left(\frac{2}{\mu} (xt)^{\mu/2} \right) f(t) dt \quad (1)$$

$$(\delta \in \mathbb{C}, \alpha \in \mathbb{C}, \operatorname{Re}(2\delta + \alpha) > -1; \mu > 0; x > 0),$$

содержащее функцию Бесселя первого рода $J_\eta(z)$ в ядре [1]: