

*Моей жене, Ирине Николаевне Шальто,  
без помощи которой эта книга  
не увидела бы свет, посвящается*

## **Введение**

В книге рассматриваются методы аппаратной и программной реализации алгоритмов логического управления, которое основано на истинности и ложности входных и выходных переменных.

Основные теоретические исследования в этой области были начаты в мире с конца 30-х годов XX века. В течение многих лет признанным лидером в этом направлении в СССР был член-корреспондент АН СССР Михаил Александрович Гаврилов (1903—1979), работавший в Институте проблем управления (Институт автоматики и телемеханики) АН СССР (Москва). Кроме научного направления он создал еще и уникальное явление — Школу по теории релейных устройств и конечных автоматов, которая существует по сей день вот уже в течение более трех десятилетий и за это время проводилась более тридцати раз в различных городах страны. В работе Школы принимали участие сотни специалистов, и она сформировала большое число крупных ученых в области логического управления.

Автор начал заниматься исследованиями в области логического управления в Научно-производственном объединении (НПО) «Аврора» (Ленинград) (ныне Федеральный научно-производственный центр — Государственное унитарное предприятие «НПО „Аврора“» (Санкт-Петербург)) с середины жизни этого научного направления, с 1971 г., после окончания Ленинградского электротехнического института им. В. И. Ульянова (Ленина) (ныне Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет (ЛЭТИ)). Это было время расцвета теоретических исследований в данной области и широкого внедрения комплексных систем управления сложными промышленными и транспортными объектами. Автор имел честь познакомиться с М. А. Гавриловым и стать участником его Школы. В эти годы возникало много теоретических и практических задач, в решении которых автор принимал участие.

Сказанное, а также общение с многочисленными слушателями Института повышения квалификации руководящих работников и специалистов судостроительной промышленности (Ленинград), в котором автор преподавал много лет, привели его к активным, почти тридцатилетним исследованиям в указанной области, результаты которых обобщены в настоящей книге.

За эти годы элементная база систем логического управления быстро изменялась, пройдя путь от релейно-контактных элементов, микросхем малого и среднего уровней интеграции к программным логическим устройствам, а затем к большим и сверхбольшим интегральным схемам, частным случаем которых являются микропроцессоры и микроконтроллеры, используемые в качестве вычислительного ядра, в том числе и в промышленных (управляющих) компьютерах, и в программируемых логических контроллерах.

При этом в настоящее время в крупных и давно существующих организациях весьма часто возникает ситуация, когда одновременно ведутся работы по проектированию, модернизации и модификации различных поколений систем логического управления технологическими процессами, в каждой из которых превалирует тот или иной тип элементов и устройств из указанного выше спектра.

Каждый тип элементной базы порождает свои критерии и ограничения, что приводит к постановке новых научных задач, решение которых позволяет выполнить выдвигаемые практикой требования.

Эти требования связаны с различными характеристиками систем логического управления, например такими, как надежность, живучесть, диагностируемость. Однако все эти годы научные интересы автора были связаны с другими аспектами построения систем этого класса, которые характеризуются такими терминами, как «логическое проектирование» или «логический синтез», и были посвящены разработке формализованных методов аппаратной и программной реализации алгоритмов логического управления, которые являлись актуальными на протяжении многих лет и являются актуальными в настоящее время.

Так, например, задача синтеза комбинационных схем в базе априори заданных произвольных элементов, решаемая в настоящей работе, являлась актуальной при использовании логических элементов различной физической природы и сложности и не потеряла своей актуальности в настоящее время применительно к сверхбольшим интегральным схемам программируемой логики и базовым матричным кристаллам, основой которых являются функциональные преобразователи различной сложности.

Если при построении схем ставились задачи минимизации аппаратуры (внешних выводов у настраиваемых модулей и модулей в схемах) и ее унификации, предельным случаем которой является однородность, то при программной реализации оптимизировались

объем памяти и быстрдействие при одних методах и «понятность» и «безошибочность» программ при других методах, что связано с большой ответственностью объектов, управляемых системами рассматриваемого класса. Последнее свойство было и остается актуальным и при построении схем любого уровня интеграции.

При разработке предлагаемых методов везде, где это было возможно, автором получены оценки сложности предстоящих реализаций. Отметим также, что если некоторые классы схем и программ изоморфны и поэтому могут строиться одинаковыми методами, то возможность работы с целыми числами и арифметическими операциями позволяет предложить методы программной реализации алгоритмов логического управления, которые не имеют аналогов в аппаратуре.

При этом для аппаратных реализаций автором предложены методы построения только комбинационных схем, а для программных реализаций рассматривались также и автоматы с памятью. Это связано с тем, что «синхронность» программных реализаций резко упрощает построение этого класса автоматов по сравнению с построением асинхронных схем с памятью, синтез которых в настоящее время является отдельным направлением в логическом проектировании.

Специфика комбинационных схем, рассматриваемых в настоящей работе, состоит в том, что для них может не решаться проблема риска и не обеспечиваться высокое быстрдействие, так как в системах логического управления технологическими процессами они в большинстве случаев воздействуют на инерционные исполнительные механизмы. Другая особенность этих схем состоит в том, что они обычно реализуют булевы формулы с малой повторностью переменных. Такие формулы характерны также и для пометок дуг графов переходов, описывающих поведение автоматов с памятью, применяемых в системах этого класса.

В логическом проектировании кроме задач, непосредственно возникающих из потребностей практики, имеется также уже ставшая традиционной область теоретических задач, связанных с исследованиями как класса всех булевых функций, являющихся одним из важнейших объектов дискретной математики, так и таких его подклассов, которые образуют, например, линейные, симметрические, пороговые и самодвойственные функции. Большой интерес представляют также исследования булевых формул, являющихся одной из реализаций булевых функций, первичным заданием которых являются таблицы истинности. При этом, по мнению автора, особую важность имеют простейшие из булевых формул — неповторные (в определенном базисе), свойства которых, как показано в настоящей работе, связаны с такими фундаментальными понятиями математики (в основном дискретной), как например «эйлеровы графы», «клики в графах», «числа Фибоначчи» и «число  $e$ ».

Из изложенного вытекает круг вопросов, рассматриваемых в книге, которые детально перечислены в оглавлении.

При этом интересно отметить, что прошло почти 30 лет от момента постановки задачи до разработки мультиплексорного метода, который появился неожиданно в процессе написания этой работы и явился одним из важнейших результатов автора. Отметим также, что все методы, рассматриваемые в книге, иллюстрируются большим числом примеров, ибо в соответствии с приписываемым И. М. Гельфанду высказыванием: «Теории приходят и уходят, а примеры остаются» (В. Арнольд. Предисловие к книге: Р. Грехем, Д. Кнут, О. Паташник. Конкретная математика. Основание информатики. М.: Мир, 1998).

Ряд результатов, описываемых в настоящем издании, и в частности SWITCH-технология, были использованы и используются в настоящее время в НПО «Аврора» при проектировании систем логического управления судовыми техническими средствами и другими объектами, в том числе и с участием таких иностранных фирм, как «ABB Stromberg» (Финляндия), «Norcontrol» (Норвегия), «FF-Automation» (Финляндия).

Работа выполнена в Научно-производственном объединении «Аврора», Руководству которого автор глубоко признателен за предоставленную возможность для проведения исследований, результаты которых составили содержание настоящей книги.

Автор особо благодарен своему Учителю В. Л. Артюхову, который в течение многих лет учил меня «уму-разуму» и не только в вопросах логического управления. Помощь Б. П. Кузнецова, В. Н. Кондратьева, Н. И. Туккеля позволила совместно получить результаты, которые являются украшением данной работы.

Ряд результатов получен автором при выполнении исследований на кафедре «Компьютерные технологии» Санкт-Петербургского государственного института точной механики и оптики (технического университета), Руководству которого автор также искренне признателен. Содержание книги неоднократно апробировалось при чтении лекций студентам, проходящим обучение в магистратуре указанной кафедры, высокие способности которых в области точных наук обеспечили эффективную экспертизу результатов, полученных мною.

Я благодарю также Л. Я. Розенблюма, Д. А. Поспелова и О. П. Кузнецова за многолетний благожелательный интерес к моим исследованиям.

Я признателен Н. А. Абрамовой, Г. П. Агибалову, А. А. Амбарцумяну, В. И. Анисимову, В. В. Антипову, Ю. В. Баглюку, О. Л. Бандман, В. А. Богдановой, В. Н. Вагину, С. В. Вальчуку, В. И. Варшавскому, В. Н. Васильеву, В. В. Войтецкому, И. В. Герасимову, В. А. Годунову, А. К. Григорян, В. В. Девяткову, А. Д. Закревскому, В. Н. Захарову, Г. И. Иванову, В. М. Корчанову, Б. А. Кулику,

В. Г. Лазареву, В. Д. Малюгину, А. В. Марковскому, Г. И. Никитину, Г. И. Новикову, В. А. Осипову, В. Г. Парфенову, П. П. Пархоменко, Е. И. Пийль, И. В. Прангишвили, Д. В. Пузанкову, Е. И. Пупыреву, И. А. Рябинину, Ю. Л. Сагаловичу, А. С. Смирнову, Е. Н. Туруте, В. П. Чистову, Л. Б. Шипиловой, В. Б. Яковлеву и А. Е. Янковской, человеческая теплота которых в течение многих лет согревали меня и мои исследования.

Я благодарен за проявленное внимание А. Н. Берлину, Л. М. Гольденбергу, В. П. Иванникову, Ю. Л. Иваськиву, М. Б. Игнатьеву, Ф. Э. Келлеру, О. И. Кутузову, А. Х. Мурсаеву, К. В. Недялкову, А. Е. Сазонову, Б. Я. Советову, Влад. В. Сапожникову, А. Н. Терехову и Е. П. Угрюмову.

Я особо признателен за внимание Н. А. Семихатову.

Автор благодарен также редактору этой и предыдущей книг Л. С. Тихомировой, огромный труд которой несомненно привел к их улучшению.

Не могу не поблагодарить своих Родителей Абрама Израилевича и Валентину Георгиевну Шалыто, дочь Инну и сестру моей мамы — Маргариту Георгиевну Рубинову за все то, что они сделали для меня в жизни.

Я всегда буду помнить М. А. Гаврилова, Г. А. Копейкина, Л. М. Фишмана, В. А. Кондрашова, В. И. Евсеева, Б. Л. Овсевича, Э. В. Сергеева, И. Р. Фрейдзона, А. А. Первозванского и Н. К. Перкова.