



Торжественное заседание во Дворце культуры и техники им. 1100-летия Муром. Ведущий – Н. Д. Устинов. В президиуме: слева – С. В. Новаковский, В. Д. Наливкин, справа – В. А. Урвалов, М. И. Кривошеев, И. И. Цуккерман, В. П. Борисов, Н. К. Ламан, 1989 г.



Открытие мемориальной доски на доме, где родился В. К. Зворыкин. Выступает его родственник П. А. Зворыкин, 1989 г.

В. И. ЛЕВИН

ИСТОРИЯ ОТКРЫТИЯ ЛОГИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СТАТИКИ ТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

В статье излагается и анализируется история открытия в 1930-е гг. логико-алгебраических моделей статике релейно-контактных и обычных (бесконтактных) электрических схем. Детально исследуется вопрос приоритета. Показано, что правильное решение этого вопроса требует обязательной конкретизации области открытия и критерия приоритета. Причем всякое изменение этой пары параметров приводит в общем случае к изменению решения вопроса приоритета. Подробно рассмотрена сущность сделанного открытия. Показано, что она заключалась в нахождении логико-алгебраического исчисления, позволяющего выразить состояние электрической схемы логической суперпозицией состояний отдельных элементов этой схемы в один и тот же произвольный момент времени (статический режим работы схемы). Также показано, что нахождение логико-алгебраического исчисления, позволяющего выразить изменение состояния схемы логической суперпозицией изменений состояний отдельных ее элементов, является другой, существенно более сложной проблемой изучения динамики схемы. Даны краткие сведения об истории решения этой проблемы в 1970-е гг.

В 1930-е гг. произошло важное событие в истории науки и техники – открытие возможности применения алгебры логики для изучения технических устройств. По наиболее распространенной в СССР и России точке зрения, этим открытием мир обязан трем ученым: японцу А. Накашима, американцу К. Э. Шеннону и русскому В. И. Шестакову (перечисление следует в порядке появления первой публикации)¹. Большое значение произошедшего события

¹ Nakashima, A. Theory of Relay Circuits Composition // Journal of the Institute of Electrical Communication Engineers of Japan. 1935. № 150 (Sept) (япон. оригинал). Nippon Electr. Commun. Eng. 1936. № 3 (сокращ. англ. перевод); Nakashima, A., Hanzawa, M. Theory of Equivalent Transformation of Simple Partial Paths of Relay Circuits // Journal of the Institute of Electrical Communication Engineers of Japan. 1936. № 165 (Dec), 1937. № 167 (Febr) (япон. оригинал). Nippon Electr. Commun. Eng. 1938. № 9, 10 (Febr, Apr) (сокращ. англ. перевод); Nakashima, A. The Theory of Two-Point Impedance of Passive Networks in the Relay Circuits // Journal of the Institute of Electrical Communication Engineers of Japan. 1937. № 177 (Dec), 1938. № 178 (Jan) (япон. оригинал). Nippon Electr. Commun. Eng. 1938. № 13 (Nov), 14 (Dec) (сокращ. англ. перевод); Shannon, C. E. A Symbolic Analysis of Relay and Switching Circuits // Trans. of the Amer. Institute of Electr. Eng. Vol. 57. 1938; Shannon, C. E. A Symbolic Analysis of Relay and Switching Circuits. MIT. Dep. of Electr. Eng. M. S. 1938 (subm. 10. 08. 1937); Шестаков В. И. Алгебра двухполюсных схем, построенных исключительно из двухполюсников (алгебра А-схем) // Автоматика и телемеханика. 1941. № 2; Шестаков В. И. Некоторые математические методы конструирования и упрощения двухполюсных электрических схем класса А. Дисс. канд. физ.-мат. наук: М.: НИИФ МГУ, 1938. На Западе в качестве первооткрывателя чаще называют только одного К. Э. Шеннона. При этом и в СССР

определялось двумя обстоятельствами. Во-первых, это был прорыв в новую, неизведанную область – ведь со времен Аристотеля логика традиционно считалась лишь наукой о правильном мышлении. Во-вторых, и это тоже важно, оказалось, что отличные конструктивные свойства алгебры логики позволяли осуществлять эквивалентные преобразования логических выражений, что – в сочетании с обнаруженным этими учеными взаимно-однозначным соответствием между техническими устройствами и логико-алгебраическими выражениями их функций состояния – давало возможность формализованно анализировать и синтезировать схемы таких устройств. В качестве изучаемых устройств эти ученые рассматривали релейно-контактные и обычные (бесконтактные) электрические схемы. Таким образом, данное открытие явилось теоретической основой для последующей разработки эффективных методов логического проектирования дискретных автоматических управляющих и вычислительных устройств и во многом определило становление и развитие всей автоматики и вычислительной техники после Второй мировой войны². И это при том, что работы названных ученых сами по себе были посвящены достаточно узкому и уже неоднократно изучавшемуся вопросу – исследованию установившихся процессов в электрических схемах с реле (К. Э. Шеннон и А. Накашима) и без них (В. И. Шестаков). Однако их заслуга заключалась в предложенном новом логическом методе исследования, оказавшемся особенно удобным для проектирования дискретных устройств автоматики и вычислительной техники и получившем многочисленные и плодотворные продолжения. Новый логический подход изучения дискретных устройств также позволил унифицировать и упростить процесс подготовки будущих инженеров – специалистов по вычислительной технике и автоматическим системам управления.

(России), и на Западе не вспоминают о других участниках открытия: австрийцах А. Риттере и О. Плевеле, немке Х. Ниц, советском ученом А. Розенберге и др., хотя они тоже внесли весомый вклад (см.: *Левин В. И. История открытия логического моделирования устройств и систем* // VII Междунар. научно-практич. конференция «Проблемы образования в современной России и на постсоветском пространстве». Сб. статей. Пенза. 2006).

² *Гаврилов М. А. Теория релейно-контактных схем*. М.-Л., 1950; *Синтез электронных вычислительных и управляющих схем* / Пер. с англ. под ред. *Шестакова В. И.* М., 1954; *Рогинский В. Н. Элементы структурного синтеза релейных схем управления*. М., 1959; *Колдуэлл С. Логический синтез релейных устройств* / Пер. с англ. под ред. *Гаврилова М. А.* М., 1962; *Глушков В. М. Синтез цифровых автоматов*. М., 1962; *Кобринский Н. Е., Трахтенброт Б. А. Введение в теорию конечных автоматов*. М., 1962; *Моисил Г. Алгебраическая теория дискретных автоматических устройств* / Пер. с румын. М., 1963; *Айзерман М. А., Гусев Л. А., Розоноэр Л. И., Смирнова И. М., Таль А. А. Логика. Автоматы. Алгоритмы*. М., 1963; *Рогинский В. Н. Построение релейных схем управления*. М.-Л., 1964; *Поспелов Д. А. Логические методы анализа и синтеза схем*. М., 1964; *Миллер Р. Теория переключательных схем* / Пер. с англ. под ред. *Пархоменко П. П.* М., 1970; *Закревский А. Д. Алгоритмы синтеза дискретных автоматов*. М., 1971; *Рогинский В. Н. Основы дискретной автоматики*. М., 1975; *Фридман А., Менон П. Теория и проектирование переключательных схем* / Пер. с англ. под ред. *Тафта В. А.* М., 1978; *Гаврилов М. А., Девятков В. В., Пупырев Е. И. Логическое проектирование дискретных автоматов*. М., 1977; *Киносита К., Асада К., Карацу О. Логическое проектирование СБИС* / Пер. с япон. под ред. *Поспелова Л. В.* М., 1988; *Автоматов теория; Релейно-контактных схем теория* // *Энциклопедия кибернетики*. Киев, 1975.

Вопрос приоритета

Хотя со времен открытия применимости логических методов для изучения технических устройств прошло свыше 60 лет, до сих пор не прекращаются споры о приоритете в сделанном открытии. Как уже говорилось выше (см. прим. 1), большинство исследователей в мире, особенно на Западе, считает единоличным первооткрывателем К. Э. Шеннона. Меньшинство же полагает, что пальма первенства должна быть поделена поровну между двумя учеными – К. Э. Шенноном и В. И. Шестаковым или всеми тремя учеными – А. Накашимой, К. Шенноном и В. И. Шестаковым³. При этом не используются никакие определенные и достаточно приемлемые критерии, по которым следует решать вопрос о приоритете. Между тем такие критерии можно предложить, и на их основе вопрос о приоритете в рассматриваемом открытии может быть решен строго и однозначно. Конечно, при таком подходе решение вопроса зависит от выбора критерия приоритета.

Начнем с простейшего критерия, основанного на сравнении дат первой журнальной публикации по теме. В этом случае вопрос о приоритете в изучаемом открытии решается очень просто. А. Накашима опубликовал первую статью по применению логических методов для изучения технических устройств в 1935 г., К. Э. Шеннон – в 1938 г., а В. И. Шестаков – в 1941 г. Таким образом, здесь приоритет в открытии должен быть отдан А. Накашиму, в то время как Шеннону и Шестакову остаются лишь «почетные» соответственно второе и третье места. Если учитывать, наравне с журнальными публикациями, также публикации в виде защиты диссертаций, то, поскольку Шестаков защитил кандидатскую диссертацию в том же 1938 г., что и Шеннон, он разделит «почетные» второе и третье места с Шенноном, однако приоритет в открытии по-прежнему останется за А. Накашимой. А если принять во внимание год и месяц представления и защиты диссертации, то, поскольку Шеннон представил свою магистерскую диссертацию в августе 1937 г. и защитил ее в феврале 1938 г., а Шестаков представил диссертацию в мае и защитил в сентябре 1938 г., приоритет снова окажется у Накашимы, а на втором и третьем местах по-прежнему будут соответственно К. Э. Шеннон и В. И. Шестаков.

Рассмотрим теперь более обстоятельный критерий, основанный на сравнении интервалов времени, включающих все публикации на эту тему сравниваемых ученых. В этом случае вопрос о приоритете решается путем сравнения указанных интервалов методами теории сравнения интервальных чисел⁴. А. Накашима опубликовал свою серию статей по применению логики к техническим устройствам в 1935 (сентябрь) – 1938 (январь) гг., К. Э. Шеннон – в 1938 г. (июнь), а В. И. Шестаков – в 1941 г. Поэтому для решения вопроса о при-

³ В конце 1940-х – начале 1950-х гг. некоторые исследователи в СССР предложили считать единоличным первооткрывателем применимости логических методов в технике В. И. Шестакова (см., например: Яновская С. А. Основания математики и математическая логика // Математика в СССР за 30 лет (1917–1947). Т. 2. М.-Л., 1948; Марков А. А. Логика математическая // БСЭ. 2-е изд. Т. 25. 1954). Однако вскоре даже в СССР от этой идеи отказались, поскольку потеряла свою актуальность более общая советская идея о приоритете российской науки и техники во всех без исключения областях.

⁴ Левин В. И. Дискретная оптимизация в условиях интервальной неопределенности // Автоматика и телемеханика. 1992. № 7; Левин В. И. Интервальные методы оптимизации систем в условиях неопределенности. Пенза, 1999.

оритете необходимо сравнить интервальные числа $\tilde{a} = \left[\begin{smallmatrix} \text{сентябрь} & \text{январь} \\ 1935, & 1938 \end{smallmatrix} \right]$ (Накашима), $\tilde{b} = \left[\begin{smallmatrix} \text{июнь} & \text{июнь} \\ 1938, & 1938 \end{smallmatrix} \right]$ (Шеннон), $\tilde{c} = [1941, 1941]$ (Шестаков). Согласно теории, числа $\tilde{a}$, $\tilde{b}$ и $\tilde{c}$ сравнимы, т.е. одно из них является большим, другое – средним, третье – меньшим, именно, $\tilde{a} < \tilde{b} < \tilde{c}$. Таким образом, здесь приоритет в открытии должен быть отдан Накашиму, а Шеннону и Шестакову должны быть отданы лишь «почетные» соответственно второе и третье места. Если сравнивать интервалы $\tilde{a}$, $\tilde{b}$, $\tilde{c}$ не согласно теории интервальных чисел, а путем прямого сравнения их центров, мы получим тот же результат. Этот результат не изменится, если в сравниваемые временные интервалы $\tilde{a}$, $\tilde{b}$, $\tilde{c}$ включать не только журнальные публикации, но и диссертации.

Наконец, рассмотрим самый полный критерий, отличающийся от предыдущего дополнительным учетом содержания публикаций, в смысле их продвинутости, новизны и т. д. Сначала сравним содержание публикаций А. Накашimy и К. Э. Шеннона. Анализ содержания трех публикаций Накашimy, а также свидетельство В. Н. Рогинского, работавшего с этими публикациями еще в 1930-е гг., показывают, что по рассматривавшимся задачам, методам их решения и используемым идеям все они были аналогичны основополагающей публикации К. Э. Шеннона⁵. Такой же точки зрения придерживаются и другие видные специалисты в теории релейно-контактных схем – М. А. Гаврилов и О. Б. Лупанов, которые никак не выделяют ни одного из двух ученых по продвинутости их результатов⁶. Таким образом, с учетом содержания публикаций (но не интервала времени их появления) работы А. Накашimy и К. Э. Шеннона должны быть признаны равноценными. Что касается статьи В. И. Шестакова, то ситуация здесь иная: эта работа была посвящена исследованию логическими методами также обычных линейных электрических схем непрерывного типа (схем без реле), в отличие от работ Накашimy и Шеннона, исследовавших только дискретные схемы (схемы с реле). Это означает, что работа Шестакова не повторяла работы Накашimy и Шеннона, а дополняла и развивала их. Поэтому, хотя работа В. И. Шестакова и была опубликована позже работ А. Накашimy и К. Э. Шеннона, приоритет открытия логических методов изучения электрических схем в целом (т.е. как

⁵ Сведения об этих публикациях приведены в книгах В. Н. Рогинского (см.: *Рогинский. Элементы структурного синтеза релейных схем управления..; Рогинский. Построение релейных схем управления..; Рогинский. Основы дискретной автоматики...*) без их точного библиографического описания, с указанием лишь фамилии автора и интервала времени, в течение которого они публиковались. Это обстоятельство заставляет предполагать, что В. Н. Рогинский первоначально работал не с самими журнальными публикациями, а с их развернутыми вариантами – препринтами, научными отчетами и т. д. (добытыми, возможно, неофициальным путем). Это делает свидетельство Рогинского о содержании и продвинутости работ Накашimy весьма весомыми. Так же упоминает работы Накашimy редактор русского издания трудов Шеннона О. Б. Лупанов (см.: *Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике*. М., 1963).

⁶ *Гаврилов. Теория релейно-контактных схем..; Гаврилов, Девятков, Пупырев. Логическое проектирование дискретных автоматов..; Шеннон. Работы по теории информации и кибернетике...* (примечания).

релейно-контактных, так и бесконтактных), с точки зрения рассматриваемого критерия, должен быть разделен поровну между всеми тремя учеными⁷ (или, если говорить более точно, между Накашимой и Шестаковым, поскольку Шеннон опубликовал свои результаты после Накашимы, т. е. получает лишь третье место). Однако, если области релейно-контактных и обычных электрических схем рассматривать отдельно, то, как следует из предыдущего, порядок свершения открытия в первой области: А. Накашима, К. Э. Шеннон, В. И. Шестаков; в то время как во второй области бесспорным лидером оказывается В. И. Шестаков – кроме него, никто в этой области не работал.

Очередность открытия учеными логико-алгебраического моделирования электрических схем (релейно-контактных и бесконтактных), при различных критериях приоритета показана в таблице.

№	Область науки	№	Критерий приоритета	Место ученого п/п открытия		
				1	2	3
1	Теория электрических схем общего вида (релейно-контактных и бесконтактных)	1	А	Накашима	Шеннон	Шестаков
		2	В	Накашима	Шеннон и Шестаков	
		3	С	Накашима	Шеннон	Шестаков
		4	Д	Накашима	Шеннон	Шестаков
		5	Е	Накашима и Шестаков		Шеннон
2	Теория релейно-контактных электрических схем	6	А, В, С, Д, Е	Накашима	Шеннон	Шестаков
3	Теория бесконтактных электрических схем	7	А, В, С, Д, Е	Шестаков	–	–

Примечания: А – критерий, основанный только на дате первой журнальной публикации по теме; В – критерий на основе даты первой журнальной публикации или даты защиты диссертации по теме; С – критерий с учетом даты первой журнальной публикации или дат представления и защиты диссертации; Д – критерий на основе учета дат от первой до последней журнальной публикаций, включая и даты защит (представления) диссертаций; Е – критерий, отличающийся от Д дополнительным учетом содержания публикации (их новизны, продвинутости и т. д.).

⁷ Иногда при рассмотрении вопроса о приоритете данного открытия используется такой фактор, как время, когда это открытие было впервые сформулировано в устной или рукописной форме. Так, указано (см.: Яновская. Основания математики и математическая логика...), что Шестаков в рукописи «Теория релейных схем» сформулировал суть открытия раньше Шеннона – в 1935 г. На наш взгляд, такая информация не может играть какой-либо роли в решении вопроса о приоритете, поскольку о других фигурантах спора она может быть неизвестна. Так, в данном случае неизвестно, когда впервые сформулировали

Как видно из таблицы, в 6 из 7 номинаций (сочетание определенных областей науки и критерия оценки приоритета) лидирует А. Накашима, он – единоличный обладатель приоритета в открытии логико-алгебраического моделирования электрических схем либо делит его с В. И. Шестаковым. В одной (7) номинации единоличным обладателем приоритета в открытии оказывается В. И. Шестаков. Причем здесь у него нет даже конкурентов, занявших 2-3-е места. Что же касается К. Э. Шеннона, то он в 5 из 6 номинаций занимает второе, а в одной номинации даже третье места. Среднее по всем номинациям место, занимаемое каждым ученым (учитываются только области науки под № 1 и 2, где участвуют все трое ученых):

$$\text{Накашима: } N_{\text{Нак}} = (5,5 \cdot 1 + 0,5 \cdot 2)/6 = 1,08$$

$$\text{Шеннон: } N_{\text{Шен}} = (4,5 \cdot 2 + 1,5 \cdot 3)/6 = 2,25$$

$$\text{Шестаков: } N_{\text{Шест}} = (0,5 \cdot 1 + 1 \cdot 2 + 4,5 \cdot 3)/6 = 2,66$$

Таким образом, в области «теории электрических схем общего вида», равно как и в области «теории релейно-контактных электрических схем», бесспорный приоритет принадлежит японцу А. Накашиму, а почетные второе и третье места соответственно американцу К. Э. Шеннону и русскому В. И. Шестакову. Однако в отдельно взятой области «теории бесконтактных электрических схем» бесспорный приоритет у В. И. Шестакова.

Сущность открытия

Изложение начнем с рассмотрения классической работы К. Э. Шеннона 1938 г. Ныне считается практически общепризнанным (по крайней мере, на Западе), что в этой работе Шеннон впервые сформулировал наиболее точно, определенно и подробно логико-алгебраическую модель релейно-контактных схем. Элементами таких схем служат контакты реле, которые могут находиться только в одном из двух состояний: замкнутом или разомкнутом. Вся схема, в соответствии с имеющейся комбинацией состояний контактов всех реле, также может находиться только в одном из двух указанных состояний, относительно выделенных входного и выходного полюсов. Шеннон показал, что функция, выражающая состояние схемы через состояния контактов ее реле (функция проводимости или сопротивления схемы), есть булева логическая функция. При этом существует взаимно-однозначное соответствие между релейно-контактными схемами и их булевыми логическими функциями проводимости (сопротивления). В частности, элементарным схемам – последовательному и параллельному соединению контактов реле – при работе с функциями проводимости схем соответствуют логическая конъюнкция и дизъюнкция. Эквивалентному преобразованию любой булевой логической функции, выполненному по законам булевой алгебры логики, отвечает эквивалентное преобразование топологии релейно-контактной схемы, описываемой этой функцией. Таким образом, анализ, преобразование и синтез релей-

свое открытие Накашима и Шеннон (в устной или рукописной форме). Вполне возможно, что первый из них сделал это одновременно с Шестаковым или даже раньше его (судя по дате его первой публикации). Еще важнее то, что научная работа, изложенная в рукописной, а тем более в устной форме, в отличие от опубликованной статьи, не может считаться и не считается в мировой практике зафиксированной по содержанию и дате выполнения и потому не может учитываться при решении вопроса о приоритете.

но-контактной схемы сводятся к анализу, преобразованию и синтезу булевой логической функции проводимости, описывающей эту схему. Это сведение действий над схемами к действиям над их логическими функциями имело решающее значение для формализации проектирования релейно-контактных схем (а впоследствии и всех дискретных схем автоматики и вычислительной техники). Особую эффективность процессу проектирования придавало то, что в используемой булевой алгебре логики имеется большое число действенных законов, позволяющих эквивалентное преобразование логических выражений с целью их упрощения либо приведения их к той или иной стандартной форме.

Как уже говорилось выше, цикл работ А. Накашимы, начавшийся публикацией в 1935 г., по рассматриваемым задачам, методам их решения и используемым идеям был аналогичен описанной в работе К. Э. Шеннона. Поэтому в работах Накашимы, как и у Шеннона, речь идет о моделировании релейно-контактных схем с помощью булевой алгебры логики и использовании взаимно-однозначного соответствия между релейно-контактными схемами и их булевыми логическими функциями для замены необходимых действий со схемами (анализ, преобразование, синтез) соответствующими действиями с их булевыми логическими функциями. Тем не менее между работами этих двух авторов есть значительные различия. Во-первых, Накашима для изучения релейно-контактных схем создает специальную алгебру, не догадываясь, что это булева алгебра логики, в то время как Шеннон использует для такого изучения готовый аппарат булевой алгебры логики, называя его своим именем. Во-вторых, Шеннон ограничивается в основном изучением последовательно-параллельных схем, рассматривая лишь отдельные примеры более сложных схем, а Накашима не ограничивается последовательно-параллельными схемами и дает логико-алгебраический метод изучения не параллельно-последовательных схем. В-третьих, Шеннон в своей работе уделял основное внимание разработке логико-алгебраического аппарата, который мог оказаться полезным при решении различных схемных задач, в то время как Накашима больше места уделил подробной разработке номенклатуры решаемых задач и свойств релейно-контактных схем, облегчающих решение этих задач.

Работы В. И. Шестакова 1938, 1941 гг. существенно отличаются от работ К. Э. Шеннона и А. Накашимы. В них, помимо логико-алгебраической модели релейно-контактных схем, была впервые ясно сформулирована и подробно изложена логико-алгебраическая модель обычных, т.е. бесконтактных линейных электрических схем – двухполюсников с континуальным множеством значений сопротивления (проводимости). Элементами таких схем служат любые элементарные двухполюсники – резисторы, индуктивности, конденсаторы, также имеющие континуум значений сопротивления (проводимости). В целом схема представляет собой произвольную суперпозицию исключительно из параллельных и последовательных соединений элементов.

Шестаков показал, что функция, выражающая сопротивление любой схемы через сопротивления ее элементов (функция сопротивления или проводимости схемы), есть всегда некоторая логическая функция в специально сконструированной им континуальной алгебре логики электрических схем. Как и в логико-алгебраической модели релейно-контактных схем Шеннона – Накашимы, существует взаимно-однозначное соответствие между электрическими схемами и их логическими функциями (в алгебре логики схем Шестакова).

В частности, элементарным схемам – последовательному и параллельному соединению элементов – при работе с функциями проводимости схем соответствуют логическая конъюнкция и дизъюнкция, по Шестакову (сложение сопротивлений и сложение проводимостей). В континуальной алгебре логики электрических схем Шестакова выполняются некоторые (но далеко не все) из законов булевой алгебры логики, использованной Шенноном и Накашимой для моделирования релейно-контактных схем. Эквивалентному преобразованию любой континуальной логической функции, выполненному по законам алгебры логики схем Шестакова, соответствует эквивалентное преобразование топологии электрической схемы, описываемой этой функцией.

Таким образом, как и в случае релейно-контактных схем, анализ, преобразование и синтез обычной линейной электрической схемы сводятся к анализу, преобразованию и синтезу логической функции сопротивления (проводимости), описывающей эту схему. Однако эта функция – континуальная – сложнее булевой логической функции, описывающей релейно-контактную схему, что проявляется в невыполнении в континуальной алгебре логики электрических схем Шестакова некоторых законов булевой алгебры логики (например, законов противоречия и исключенного третьего). В результате сведение действий над обычными (бесконтактными) электрическими схемами к соответствующим действиям над их логическими функциями сопротивления (проводимости) может оказаться на практике менее эффективным, чем аналогичное сведение в случае релейно-контактных схем. Эта ограниченность континуального логико-алгебраического моделирования непрерывных электрических схем по сравнению с булевым логико-алгебраическим моделированием релейно-контактных схем является естественной платой за большую общность моделируемых непрерывных электрических схем относительно дискретных (релейно-контактных)⁸. Она – одна из важных причин значительно меньшей распространенности логических методов в теории и практике непрерывных электрических схем.

Какую модель открыли ученые

Когда говорят об открытии А. Накашимы, К. Э. Шеннона и В. И. Шестакова, обычно имеют в виду логико-алгебраическую модель релейно-контактных схем (логико-алгебраическую модель обычных, т.е. бесконтактных электрических схем) или логическую теорию релейно-контактных схем (логическую теорию обычных электрических схем)⁹. Между тем сами ученые решали более конкретную и узкую задачу. Именно Шеннон и Накашима разрабатывали логико-алгебраическую модель релейно-контактных схем, реальное содержа-

⁸ Кроме указанных, имеется еще одно существенное отличие между континуальной логико-алгебраической моделью электрических двухполюсников В. И. Шестакова и булевой логико-алгебраической моделью релейно-контактных схем К. Э. Шеннона и А. Накашимы. Именно сконструированные Шестаковым логические операции не были элементарными (как логические операции булевой алгебры логики), а выражались ранее известными формулами через операции алгебры вещественных чисел – сложение и умножение (сложение сопротивлений при последовательном соединении элементов и сложение проводимостей, т.е. суперпозиция сложения и умножения сопротивлений – при параллельном соединении).

⁹ Гаврилов. Теория релейно-контактных схем.; Рогинский. Построение релейных схем управления.; Шеннон. Работы по теории информации и кибернетике... (примечания).

ние которой – установление с помощью операций булевой алгебры логики зависимости двоичного состояния схемы от двоичных состояний контактов ее реле в один и тот же произвольный момент времени. В. И. Шестаков аналогично разрабатывал логико-алгебраическую модель обычных, т. е. бесконтактных, электрических схем, реальное содержание которой – установление с помощью созданной им континуальной алгебры логики схем зависимости континуально-значного состояния схемы от континуально-значных состояний ее элементов в один и тот же произвольный момент времени. При этом предельный, вырожденный случай разработанной Шестаковым континуальной алгебры логики и континуальной модели электрических схем давал разработанную Шенноном и Накашимой булеву алгебру логики и основанную на ней дискретную модель релейно-контактных схем. Таким образом, эти ученые реально открыли логико-алгебраическую модель статике работы релейно-контактных схем (Накашима и Шеннон) и статике работы обычных (бесконтактных) электрических схем (Шестаков).

Что же касается динамики работы электрических схем, которая является важнейшей составной частью теории и моделирования таких схем, то все трое не только не занимались ею, но даже не формулировали каких-либо ее задач. По-видимому, они считали математическое моделирование динамики работы релейно-контактных (обычных электрических) схем излишним после появления собственных исследований, не осознавая, что речь в них идет лишь о статике работы схем. На самом деле, логическое моделирование динамики указанных схем, практически столь же важное, как и логическое моделирование их статике, представляет собой существенно другую, значительно более сложную задачу, чем моделирование их статике, требующую для своего решения совершенно иных идей, подходов и математического аппарата. Поэтому неудивительно, что лишь в 1971 г. была открыта логико-алгебраическая модель динамики работы схем, построенная на базе алгебры так называемой непрерывной (бесконечнозначной) логики. Эта модель описывает адекватно динамику работы любых дискретных схем (в частности, релейно-контактных схем), статика которых описывается булевой логико-алгебраической моделью. Непрерывно-логическая модель динамики дискретных схем описана во многих статьях и монографиях¹⁰.

¹⁰ См.: *Левин В. И.* Анализ надежности асинхронных устройств // Пути повышения надежности промышленных АСУ. Тезисы докладов I Республик. семинара. Ч. 1. Киев, 1971; *Левин В. И.* Бесконечнозначная логика и переходные процессы в конечных автоматах // Автоматика и вычислительная техника. 1972. № 6; *Левин В. И.* Переходные процессы в типовых логических элементах // Там же. 1973. № 3; *Левин В. И.* Декомпозиция переходных процессов в конечных автоматах // Там же. 1973. № 6; *Левин В. И.* Переходные процессы в дискретных устройствах // Управляющие системы и машины. 1973. № 5; *Левин В. И.* К анализу переходных процессов в комбинационных схемах // Elektronische Informationsverarbeitung und Kybernetik. 1973. № 6; *Левин В. И.* Анализ динамики переключения автоматов с памятью // Автоматика и вычислительная техника. 1974. № 3; *Levin, V. I.* Dynamics of Finite Automata // Discrete Systems. Vol. 4. International symposium IFAC. Riga, USSR, Sept. 30 – Okt. 4. 1974. Riga, 1974; *Левин В. И.* Динамика асинхронных автоматов и их надежность // Труды III международного семинара «Прикладные аспекты теории автоматов». Т. 1. Варна, 1975; *Левин В. И.* Логические определители и автоматы с непрерывным временем. I, II, III. // Известия АН СССР. Техническая кибернетика. 1977. № 3, 4, 5; *Левин В. И.* Введение в динамическую теорию конечных автоматов. Рига, 1975; *Bochmann, D., Roginskij, V. N., Levin, V. I.* Dynamische Prozesse in Automaten. Berlin, 1977; *Левин В. И.* Динамика логических устройств и систем. М., 1980; *Левин В. И.* Теория динамических автоматов. Пенза, 1995.

Признание и непризнание

Как уже указывалось, приоритет открытия логико-алгебраических методов изучения произвольных (релейно-контактных и бесконтактных) электрических схем должен быть разделен между тремя учеными: японец А. Накашима – 1-е место, американец К. Э. Шеннон – 2-е место и русский В. И. Шестаков – 3-е место. Однако реальность редко следует научно выверенным рецептам. Практически получилось так, что всемирное признание получила только работа К. Э. Шеннона. Что же касается работ А. Накашима и В. И. Шестакова, то с самого начала им придавалось гораздо меньшее значение¹¹. В итоге их авторы тихо и незаметно ушли в небытие. Почему же это произошло?

Нетрудно ответить на поставленный вопрос в отношении А. Накашима. Этот безусловно выдающийся ученый, который в период работы над логикой релейно-контактных схем он был, как и К. Э. Шеннон, совершенно неизвестен в мире, однако имел несчастье родиться в милитаристской Японии – стране, которая в то время совместно с фашистской Германией противостояла всему западному миру, готовя Вторую мировую войну. Естественно, что она свертывала все программы научного обмена с западными странами и СССР. Япония, как и Германия, засекречивала все исследования, которые имели или могли иметь хоть какое-то отношение к военному делу, делая их тем самым малодоступными мировому научному сообществу. А исследования Накашима, безусловно, относились к таковым. Так что несчастье Накашима заключалось в том, что он родился не в той стране и не в то время. И если бы в этот период он жил и работал, например в США, вопрос о приоритете открытия логической модели релейно-контактных схем мог разрешиться совершенно иначе¹².

Несчастье В. И. Шестакова заключалось совершенно в другом. Согласно некоторым сведениям¹³, еще в 1934–1935 гг., т. е. за год до первой публикации А. Накашима и за 3–4 года до публикации К. Э. Шеннона, Шестаков высказал идею и сформулировал теорию релейно-контактных схем. Однако он не опубликовал сразу своих результатов. Это, по-видимому, означает (если указанные сведения верны), что его результаты имели незавершенный характер. Кроме того, вскоре после высказанной им идеи Шестаков по не вполне понятным причинам «загорелся» мыслью перенести ее на произвольные (бескон-

¹¹ На работы В. И. Шестакова ссылались, однако, гораздо реже, чем на работы К. Э. Шеннона, и в немногих странах (СССР, Румынии, Польше, Болгарии, ГДР, Чехословакии). На работы же А. Накашима не ссылались даже на его родине – в Японии, его иногда упоминали лишь в СССР и Румынии. Такое положение было отчасти вызвано тем, что В. И. Шестаков прожил долгую жизнь, написал немало научных работ и энергично продвигал их к читателю, в то время как А. Накашима после пяти лет исследовательской работы (1935–1939) ушел из науки, занявшись разработкой радиотехнических систем для японской армии. После войны он стал крупным руководителем промышленности, управляющим директором Японской электрической компании.

¹² По нашему мнению, уже первых двух статей Накашима 1935–1936 гг., будь они опубликованы в США, было бы достаточно для его всеобщего признания, а не Шеннона, первооткрывателем логической модели релейно-контактных схем. Более того, в этом случае статья Шеннона 1938 г. вряд ли была бы написана.

¹³ *Яновская. Основания математики и математическая логика..; Марков А. А. Логика математическая* // БСЭ. 2-е изд. Т. 25. 1954; *Шеннон. Работы по теории информации и кибернетике...* (примечания); *Яновская С. А. Математическая логика и основания математики* // Математика в СССР за 40 лет. Т. 1. М., 1959.

тактные) электрические схемы с континуальным множеством значений сопротивления. В процессе реализации этой задумки, завершившейся защитой его диссертации, появились статьи Накашимы и Шеннона, содержавшие идею и логическую теорию релейно-контактных схем. Таким образом, Шестаков лишился возможности получить приоритет на открытие в этой области и признание. Открытая же им логико-алгебраическая модель электрических схем общего вида с континуальным множеством значений сопротивления не вызвала большого интереса и не получила признания в мире. Причина этого очевидна: кибернетикам эта модель была не нужна, поскольку развитие автоматики и вычислительной техники пошло по пути создания дискретных устройств, описываемых моделью Шеннона – Накашимы, а электротехникам – потому что для расчета электрических схем общего вида уже существовали хорошо разработанные модели и методы исследования, основанные на уравнениях Кирхгофа, в рамках которых уже сложились устойчивые научные школы, писались книги, защищались диссертации и т. д.¹⁴ Непризнание преследовало В. И. Шестакова не только на мировом, но и на отечественном уровне, хотя причины здесь были иные, не связанные с преимущественным развитием кибернетики в сторону создания дискретных устройств или со сложившимися направлениями развития техники и методами исследования электрических схем. Это была обычная месть эпигонов крупному ученому за то, что открытие совершил он, а не они, либо столь же обычная зависть вполне серьезных ученых к своему более успешному коллеге. Фактически его имя упоминали лишь немногие люди, знавшие его лично.

Что нужно ученому

И все же признание, даже международное, не главное в жизни ученых, которые работают, как известно, не для признания, а по более серьезному поводу: они изучают природу. Существует даже высказывание, что радость открытия, даваемая ученому в награду за работу, это такая радость, по сравнению с которой теряет всякое значение официальное признание или непризнание. Поэтому в рассказанной истории все-таки важно понять, испытали ли в конце концов радость ее участники, совершив свое открытие. Ибо только радость открытия является подлинной наградой ученому, связанной с его работой и никак не зависящей от позиции его коллег и официальных лиц, зачастую определяемой обстоятельствами, далекими от науки.

Радость открытия, безусловно, испытал А. Накашима, когда впервые (а было это в 1934–1935 гг.) обнаружил, что работу релейно-контактных схем

¹⁴ Иногда высказывается мнение, что отсутствие международного признания Шестакова вызвано периферийным положением русскоязычных изданий и невозможностью широкого «паблисити» идеи ученого. Вряд ли это так. Всемирно известный ученый Д. И. Менделеев все свои труды опубликовал в русскоязычном «Журнале Русского физико-химического общества»: это нисколько не помешало его признанию. А ведь В. И. Шестаков 75% своих трудов опубликовал в русских изданиях, выходивших и по-английски! Так что ситуация проста: если бы развитие автоматики и вычислительной техники пошло по пути создания аналоговых, а не дискретных устройств, вполне возможно, что востребованной была бы именно континуальная логико-алгебраическая модель В. И. Шестакова, а сам он был признан в мире в качестве первооткрывателя применения логических методов в технике. И русский язык его научных публикаций нисколько бы ему в этом не помешал.

можно адекватно описывать с помощью булевой алгебры логики. До него никто этого не делал, никаких публикаций на эту тему не было, так что свои результаты ему не с чем было сверять. Поэтому его ощущения от того, что логика, придуманная в Древней Греции для описания человеческих рассуждений, оказалась пригодной и для описания работы обычных для любого инженера схем на реле, были, вероятно, близки к шоку. Когда Шеннон выполнял свое исследование по теории релейно-контактных схем, уже были опубликованы первая и вторая статьи Накашимы. Однако Шеннон об этом, судя по всему, не знал¹⁵. Поэтому радость и удовлетворение, которые он испытал от своего открытия, были, вероятно, не меньше, чем те, которые за два года до него испытал Накашима. Вдобавок открытие Шеннона очень скоро получило всемирное признание, а сам он был одарен многочисленными знаками внимания, так что его удовлетворение от своей работы было полным. Впрочем, судя по спокойствию, с каким он принимал все знаки внимания и признательности, он принадлежал к тому, не часто встречающемуся, типу ученых, которые оценивают свой труд вполне самостоятельно, независимо и по своим собственным критериям. Поэтому его поведение, даже в случае непризнания его открытия обществом, вряд ли бы сколь-нибудь серьезно изменилось.

В. И. Шестаков, по-видимому, принадлежал к другому, более распространенному типу ученых, для которых признание общества необходимо и сильно влияет на их самосознание. Он сам совершил ряд ошибок, навредивших ему и не способствовавших признанию его открытия международным сообществом. Прежде всего, он не опубликовал свой вариант логической модели релейно-контактных схем сразу после его получения, т. е. в 1935 г., когда еще не были известны результаты открытий в данной области А. Накашимы и К. Э. Шеннона. После в качестве основного направления исследований он выбрал обобщение логико-алгебраической модели релейно-контактных, т.е. дискретных схем, на общие (бесконтактные) электрические схемы с континуальным множеством значений сопротивления, видимо, предполагая, что именно на этом пути ему удастся добиться наибольших достижений и признания. Но на деле все обернулось иначе. Когда В. И. Шестаков познакомился с работами А. Накашимы и К. Э. Шеннона (по нашим оценкам, не позднее 1940 – начала 1941 гг.), он, вероятно, понял, что наибольшего продвижения и успеха можно добиться, изучая дискретные (в том числе, релейно-контактные) схемы и процессы. И последующие его публикации были посвящены преимущественно именно этой тематике. Однако уже «поезд ушел», и общепринятым первооткрывателем логико-алгебраического моделирования релейно-контактных и вообще дискретных схем повсеместно был признан К. Э. Шеннон. Такое положение явно не устраивало В. И. Шестакова, что видно по некоторым его действиям, в первую очередь публичной «критике с партийных позиций» так называемой «буржуазной “лженауки” – кибернетики». Скрытый мотив этой критики очевиден – ведь одной из главных составных частей кибернетики является теория дискретных (в частности, релейно-контактных) схем, построен-

¹⁵ К. Э. Шеннон по характеру своего дарования был типичным первооткрывателем и всегда брался лишь за те задачи, которые, по его данным, до него никто не решал, касалось ли это теории релейно-контактных схем или теоретической генетики или теории информации или каких-то других областей знания (см.: *Chiu, E., Lin, J., McFerron, B., Peigara, N., Seshasai, S. Mathematical Theory of Claude Shannon* // [http://web.mit.edu/6.933/www/Fall 2001/Shannon1.pdf](http://web.mit.edu/6.933/www/Fall%2001/Shannon1.pdf)).

ная на основе работ К. Э. Шеннона¹⁶. К сожалению, В. И. Шестакову, видимо, не хватило характера и сил, чтобы самостоятельно и независимо от всех оценить свой труд, его значение и соответственно этому выстроить свое независимое поведение. Именно в этом, а не в отсутствии широкого международного признания заключалась трагедия этого выдающегося ученого.

¹⁶ По свидетельству Э. Кольмана (см.: *Кольман Э.* Мы не должны были так жить. Нью-Йорк, 1982), после, вероятно, первого в СССР «положительного» публичного доклада о кибернетике, сделанного в апреле 1957 г. академиком А. Н. Колмогоровым, «Шестаков весьма резко стал опровергать кибернетику, как “лженауку”. Он повторял в ее адрес измышления невинных по части точных наук наших мудролюбов. Как известный мольеровский герой, не знавший, что он говорит прозой, Шестаков не знал, что он сам и есть кибернетик». Это, по нашему мнению, наивное и неверное объяснение поведения Шестакова. Ученый поступал так не по незнанию, а потому, что для него в кибернетике после работ Шеннона не осталось места. Такая кибернетика была ему попросту не нужна. До апреля 1957 г. аналогично вел себя Колмогоров, которого также нельзя подозревать в незнании и у которого были свои счеты к другому кибернетику – Н. Винеру. Так что, ничто человеческое не чуждо и ученым, даже выдающимся.