Первые приложения логики к технике: Эренфест, Герсеванов и Шестаков. От применения логики к расчету сооружений и релейным схемам к логической теории размерностей физических величин[1]

Б.В. Бирюков, В.И. Шахов

abstract. We show that the idea of applying logic to technology, proposed at the beginning of the 20th century by the theoretical physicist P. Erenfest, has not, at the time it was put forward, found a following. The work, published in 1923, of the Russian scientist N. V. Gersevanov, the founder of the Russian school of ground mechanics, which applied the algebra of logic developed in the book by L. Couturat to the construction of buildings, was not influenced by Erenfest's ideas. We also show that the ideas that guided the research of Viktor I. Shestakov, the founder of the logical theory of relay schemes, were different from those of Gersevanov; to wit, Shestakov followed in the steps of Erenfest, and he went on from an application of logic to technology, the theory of relay schemes, to applying logic to physics. Lastly, we show why Shestakov needed a three-valued logic to express relationships between physical entities and their measurements.

Идея о возможности приложения алгебры логики (булевой алгебры) к электрическим «распределительным сетям» была впервые высказана профессором Санкт-Петербургского университета Павлом Эренфестом[2]. Это был физик-теоретик широкого диапазона научных интересов, автор работ по термодинамике, статистической механике, теории относительности, квантовой

[1]Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 05-06-80-382. Авторы выражают благодарность И.С. Верстину за помощь, оказанную им при подготовке данной статьи.

[2]Пауль Эренфест (1880–1938), уроженец Вены, в 1907–1912 гг. служил в России, в 1912 г. переехал в Нидерланды. В 1924 г. Эренфест был избран иностранным членом Российской академии наук.

теории. То, что он заинтересовался логикой, а именно книгой французского философа, логика и математика Леона Кутюра об алгебре логики, вышедшей в 1909 г. в русском переводе [14], и даже написал на нее рецензию [30, с. 382–287][3], является свидетельством того, что идеи математической логики стали уже прочно закрепляться в российском научном сообществе. В рецензии П. Эренфеста на пяти страницах кратко изложен логический аппарат, содержащийся в книге французского философа, включая преобразования логических равенств и вывод с их помощью силлогистических модусов. На шестой странице своего отзыва-реферата Эренфест писал:

> «Символическая формулировка [посылок умозаключения] дает возможность “вычислять” следствия из таких сложных систем посылок, в которых при словесном изложении почти или совершенно невозможно разобраться.
>
> К счастью, уже отвыкли требовать от каждой математической спекуляции прежде всего “практической пользы”. Тем не менее, быть может, уместно коснуться вопроса о том, не встречаются ли в физике или технике в самом деле такие сложные системы посылок. *Мне думается, что на этот вопрос следует ответить утвердительно.* Пример: пусть имеется проект схемы проводов автоматической телефонной станции. Нужно определить: 1) будет ли она правильно функционировать при любой комбинации, могущей встретиться в ходе деятельности станции; 2) не содержит ли она излишних усложнений.
>
> Каждая такая комбинация является посылкой, каждый маленький коммутатор есть логическое “или-или”, воплощенное в эбоните и латуни; все вместе — система чисто качественных (в сети слабого тока именно не количественных) “посылок”, ничего не оставляющая желать [лучшего] в отношении сложности и запутанности.
>
> Следует ли при решении этих вопросов раз навсегда удовлетвориться $<\ldots>$ способом *пробования на графике*?
>
> Правда ли, что несмотря на существование уже разработанной “алгебры логики” своего рода “алгебра распределительных схем” должна считаться утопией?» [30, с. 387].

[3] Книга содержит два приложения: одно по просьбе Слешинского написано С.О. Шатуновским, другое — самим переводчиком.

Подобная постановка вопроса поражает своей ясностью, и можно лишь удивляться, что логики (а потом и техники) обратили на нее внимание лишь спустя почти тридцать лет.

В историографии отечественной логики утвердился взгляд, будто первым, кто в нашей стране занялся приложениями логики к задачам технического характера, был Виктор Иванович Шестаков. Однако, как выяснилось, этот взгляд ошибочен: первым проблему начал разрабатывать Николай Михайлович Герсеванов, занимавшийся теоретическими и практическими вопросами строительного дела, а также прикладной математикой[4].

В 1923 г. в издании Госстройиздата Герсеванов опубликовал статью «Применение математической логики к расчету сооружений», тираж которой был всего 300 экземпляров. Эта статья вошла в первый том собрания сочинений Герсеванова [11], и автор в Предисловии к данному тому отмечал, что в нем собраны работы, которые имели «непосредственное отношение к развитию теоретической стороны строительного дела». В томе была перепечатана упомянутая выше статья Н.М., причем автор особо отметил, что в томе она стоит «совершенно особняком» [11, с. 5][5]. Отметив, что начало математической логики положено в 1846 году[6], Герсеванов в Предисловии, помещенном в первом томе, писал:

> «Применение этой дисциплины [математической логики] дает возможность рассчитывать сооружения на прочность и устойчивость в тех случаях, когда система не поддается расчету при помощи строительной механики. Результаты расчета в зависимости

[4]Николай Михайлович Герсеванов (1879–1950), основатель отечественной научной школы механики грунтов, ученый, занимавшийся прикладной математикой и много размышлявший о взаимодействии в технической области теории и практики. В 1939 г. Н.М. был избран членом-корреспондентом АН СССР, в 1948 г. получил Сталинскую премию.

[5]Удивляет, что авторы, писавшие об истории развития приложений логики к технике, например Г.Н. Поваров, весьма глухо говорят о Герсеванове, ставя его на одну доску с Эренфестом как ученого, который «впервые указал» на возможность подобного приложения (ср. [18, с. 14]). К сожалению, В.А. Бажанов в своей книге [1, с. 283] без всякой проверки повторяет слова Поварова.

[6]Очевидно, Герсеванов имел в виду основополагающие для алгебры логики труды Дж. Буля и А. де Моргана. Он ошибался, однако, относительно года их появления: они вышли в 1847 г.

> от примененной логической схемы могут быть получены с любым запасом устойчивости, почему такие расчеты мы назвали *условными*. Особенно замечательны логические схемы, приводящие к логическому равенству: в этих случаях результаты расчета ничем не отличаются от результатов расчета по правилам строительной механики. Приложение математической логики открывает большие возможности для исследований, которые, однако, никем не предпринимались $<\ldots>$ За рубежом нет ни одной работы, хотя бы косвенно похожей на эту» [11, с. 6].

Ход мысли Герсеванова таков: в практике встречаются случаи, когда при расчете сооружений невозможно ограничиться применением строительной механики, и тогда на практике применяется прием, обходящий ее методы; заключается он во введении условий или гипотез, подтверждающих устойчивость рассчитываемого сооружения. При этом

> «...расчет, имеющий целью подтвердить устойчивость сооружения, может достигнуть этого лишь образованием логической цепи умозаключений или суждений, а положения строительной механики привлекаются лишь как привходящий элемент, дающий материал для составления больших и малых посылок в образуемой цепи суждений, наряду с включенными в расчет условными положениями» [11, с. 129] [7].

Правда, отмечает Герсеванов, условные расчеты, построенные на простейших логических схемах, как показывает практика, приводят обычно к результатам с громадным запасом устойчивости, а потому крайне несовершенны. Поэтому при такого рода вычислениях, чтобы приблизиться к возможному минимуму запаса устойчивости, приходится проводить расчет по весьма сложным логическим схемам. «В этих случаях легко впасть в ошибку, так как последовательно включенные условные положения могут оказаться друг с другом в противоречии, или же можно незаметно для себя совершить логический круг в цепи последовательных умозаключений». Для устранения этого недостатка и представляется полезным использование «алгебраической логики» [11].

[7]Здесь и далее цитируется статья «Применение математической логики к расчету сооружений».

Логический аппарат, который применяется далее, основан на известной книге Луи Кутюра «Алгебра логики»[8]. Аппарат этот описывается в первом параграфе статьи, причем применение его к задачам, возникающим при расчете гидротехнических сооружений, поясняется на примерах. В первом из них речь идет об устойчивости фундамента весом Q, имеющего площадь основания ω, опущенного в грунт на глубину h, при удельном весе грунта Δ. Далее Герсеванов пишет:

> «Обозначим буквой A суждение — “фундамент устойчив”, и выразим логической схемой расчет этого фундамента, основанный на введении гипотезы жидких свойств грунта. Обозначим буквой B суждение — “фундамент весом Q, имеющий площадь ω и опущенный на глубину h в жидкий грунт удельного веса Δ, не может опуститься глубже в этот грунт. Суждение B может быть также выражено следующей математической формулой: $Q \leq \Delta\omega h$. — В таком случае мы имеем следующее логическое взаимоотношение между этими двумя суждениями:
>
> $$A > B. \tag{2}$$
>
> Логическая формула (2) показывает, что осуществление зависимости B есть условие достаточное для того, чтобы мы имели A. Другими словами, если удовлетворить зависимость B, то можно показать, что вышеозначенный фундамент действительно устойчив. Но, вместе с тем, формула (2) показывает, что B отнюдь не есть необходимое условие по отношению к A; другими словами, если зависимость, выраженная гидростатической формулой, не выполнена и суждение B не имеет места, то отсюда вовсе не следует, что суждение A также не имеет места и фунадамент не является устойчивым. Это показывает, что условный расчет, типичной схемой которого является логическая формула (2), есть расчет с некоторым запасом устойчивости, величина которого остается неизвестной» [11, с. 130].

Через $A > B$ (формулу (2)) обозначается условное суждение «Если есть A, то есть B»; суждение $A < B$ (формула (1) в нумерации Герсеванова) выражает обратное условное суждение

[8]Н.М. работал с французским оригиналом: [34]. Как мы знаем, русский перевод этой книги вышел лишь в 1909 году. Не исключено, что Герсеванов был знаком с этой рецензией.

«A есть при условии, что есть B»[9]. Эта система прямой и обратной (материальных) импликаций в последующем примере используется для введения операции, ныне называемой эквиваленцией. Ее Герсеванов обозначает с помощью знака равенства $=$ и указывает на то, что формула $A = B$ (формула (3)) есть типичная логическая схема для расчетов, основанных на методах строительной механики. «Она показывает, что строительная механика заботится о выяснении *необходимых и достаточных* условий устойчивости и прочности конструкций, а следовательно, дает результаты без запаса устойчивости» [11, с. 131].

Автор труда «Применение математической логики к расчету сооружений» подчеркивает принципиальное различие между условными расчетами, выражающимися формулой (2), и методами строительной механики, представляемыми формулой (3). Первые дают результаты с неопределенным запасом устойчивости, результаты вторых — без запаса устойчивости; и если мы все же хотим его ввести, то сделать это надо уже от себя. Обращаясь к пути, по которому должно идти совершенствование условных расчетов с целью смягчения неудобств, вызываемых формулой (2), он отмечает: бывают такие условные расчеты, которые в конечном результате приводят к формуле (3). Подобные случаи «поистине замечательны; условный расчет, построенный таким образом и дающий результат без запаса устойчивости, достигает наибольшего своего совершенства и в этом смысле должен быть поставлен на одну доску с методами строительной механики» [11].

Обращаясь далее к логической технике, Герсеванов приводит, в качестве допустимого, умозаключение по схеме силлогизма: из $A > B$ и $B > C$ следует $C > D$. Однако если рассуждение по схеме силлогизма нарушается, т. е. в ней появляется хотя бы одно обратное условное суждение, например, если имеется соотношение суждений, выражаемое формулами $A > B$, $B < C$, $C > D$, то между A и D нельзя установить никакого логического

[9] Стоит заметить, что в книге Л. Кутюра, на которую опирается Герсеванов, условное суждение передается с помощью знака $<$; а не знака $>$, который использовал русский ученый; знак $>$ в книге Кутюра вообще не используется.

соотношения. Это элементарное правило в практических расчетах, говорит он, часто нарушается, и приводит соответствующий пример.

Во втором параграфе статьи «Основные принципы расчета сооружений» происходит дальнейшее развертывание логического аппарата, нужного для решения соответствующих задач, например, почленное «перемножение» логических неравенств. Этот логический прием иллюстрируется на примере доказательства прочности неразрезанной балки, нагруженной заданной равномерной нагрузкой.

Мы не станем описывать далее, как Герсеванов применял алгебру логики (которую он называл алгебраической логикой) к тем задачам, которые возникали в механике грунтов. Заметим только, что в проводимых им доказательствах устойчивости сооружений в полной мере использовался алгебро-логический аппарат, вплоть до разложения логических формул на конституенты и их упрощения. Особый параграф статьи был посвящен доказательству устойчивости сооружений «с помощью антитезиса». Герсеванов писал:

> «...иногда расчет бывает гораздо проще построить, исходя из отрицательных суждений (антитезиса), т.е. из суждений: "сооружение неустойчиво". В этом случае логическая схема должна выяснить необходимые условия существования такого отрицательного суждения и, если необходимые условия не выполнены, то это докажет, что вышеозначенное отрицательное суждение ложно и, следовательно, сооружение устойчиво» [11, с. 138].

Естественно, что здесь вводятся отрицательные суждения и законы, к ним относящиеся, в частности законы противоречия и исключенного третьего. В особом параграфе рассматривается метод приведения формул к логическому равенству и показывается, как он применяется при определении устойчивости сооружений. Наконец, весь алгебро-логический аппарат применяется при «поверке устойчивости глубоких фундаментов» [11, параграф 25].

Логическое построение Герсеванова — и особенно его применение — заслуживает более детального рассмотрения, для которого в данной статье нет места. Заметим только, что разработанный этим русским ученым подход, насколько нам известно, не получил развития ни в других его работах, ни в созданной им научной школе.

Работа Герсеванова, впервые опубликованная в 1923 г. в малотиражном издании, не была известна В.И. Шестакову; а когда она в 1948 г. была переиздана, для него она была уже не интересна, так как Виктор Иванович уже шел своим собственным путем.

В статье о жизненном и творческом пути создателя логической теории релейно-контактных схем [5] отмечается, что отечественный ученый достаточно быстро перешел от использования двухзначной логики высказываний (алгебры логики, булевой алгебры), которой ограничивался Герсеванов, к применению — в тех же целях — логики трехзначной, а потом и многозначной. В этом — одно из отличий разрабатывавшейся В.И. Шестаковым теории от сходных построений К. Шеннона и А. Накашимы, которые, как известно, независимо от Шестакова и друг друга также пришли к приложению логики к задачам электротехники.

Сравнительная оценка вклада трех названных ученых в разработку проблемы «логика и техника» приводит к вопросам приоритета, которым посвящен ряд статьей, в написании которых принимал участие и один из авторов этих строк [6, 4]. Не касаясь тех выводов, к которым пришли их авторы, мы отметим другую публикацию на данную тему — тезисы В.А. Бажанова и Л.И. Волгина, в которых утверждается, что «Шестаков сформулировал теорию релейно-контактных схем раньше Шеннона, в январе 1935 г. (по свидетельству С.А. Яновской), хотя диссертации (соответственно, кандидатскую и магистерскую) он защитил в 1938 г.» [2, с. 297][10].

Документы подтверждают эту точку зрения. Не останавливаясь детальнее на вопросе о приоритете В.И. Шестакова в создании логической теории релейно-контактных схем, сошлемся на «Письмо в редакцию» Вестника Московского университета, подписанное профессором А.С. Предводителевым, членом-корреспондентом АН СССР. Бывший декан физического факультета[11] пишет в 1968 году, что реализация мысли Эренфеста

[10]Эта же мысль повторяется в книге [1, гл. 2.5]

[11]Александр Саввич Предводителев был деканом физфака МГУ в 1937-1946 гг.

«к чести физического факультета» была осуществлена аспирантом В.И. Шестаковым. «А он не был знаком в то время с рецензией Эренфеста». Работа Шестакова, продолжает Предводителев, относится к 1935 г. и получила свое завершение в кандидатской диссертации, защищенной им в 1938 г. Имеются документальные данные, продолжает автор письма, подтверждающие приоритет Шестакова, и среди них отзыв профессора В.И. Гливенко, относящийся к 1935 году. Далее приводится главное из этого отзыва:

> «Работа В.И. Шестакова по подготовке кандидатской диссертации заключается в разработке найденного им математического аппарата для аналитического выражения электрических схем с последовательными и параллельными соединениями. Этот аппарат дает возможность автоматически решать задачу о получении простейших статических схем для некоторых классов релейных схем.
>
> Для успешной разработки найденного аппарата необходима математическая подготовка в области: а) математической логики, из которой заимствуется основной алгоритм аппарата, б) топологии, как общего учения о геометрической стороне конфигураций, в) абстрактной алгебры, г) теории чисел ...
>
> Непосредственно по кандидатской диссертации В.И. Шестаковым сделано следующее: а) разработан до конца математический аппарат для аналитического выражения схем двухполюсников в предельном случае бесконечно малых и бесконечно больших сопротивлений; б) разрабатывается и получен ряд результатов для схем двухполюсников в непредельном случае конечных сопротивлений; в) найдена математическая формулировка задачи об упрощении схем двухполюсников. Ближайшей очередной работой является решение этой последней задачи ... » [19].

Конечно, идеи применения (математической) логики к технике уже в начале XX века носились в воздухе. В.А. Бажанов и Л.И. Волгин повторяли мысль о том, что «еще в 1910 г. П. Эренфест в рецензии на книгу "Алгебра логики" Л. Кутюра (Одесса, Mathesis, 1910)... предугадывал возможность создания "алгебры распределительных схем" и возможность применения для конструирования и упрощения "распределительных схем" аппарата алгебры Буля» [19, с. 297–298][12]. В их тезисах утвержда-

[12] См. также книгу [1, гл. 2.5]

лось, что аналогичные идеи, «сформулированные существенно менее определенно», высказывал Н.М. Герсеванов в 1923 году[13] и А. Накашима в 1936 году.

Эти слова нуждаются в пояснении и исправлении. Как мы видели, В.И. Шестаков узнал об идее Эренфеста уже после того, как пришел к замыслу применения логики к определенным задачам электротехники. Что касается А. Накашимы, то он совершенно определенно — и не исключено, что даже раньше Шеннона и Шестакова, — развил интересующую нас теорию. Но авторы тезисов справедливо указали на то, что открытая Шестаковым логико-алгебраическая модель электрических двухполюсников (а потом и трех- и многополюсников), двухполюсные элементы которых — сопротивления, конденсаторы, индуктивности, а главное, контакты, управляемые реле — соединены последовательно либо параллельно, распространялась им на схемы, проводимость которых оценивалась на множестве положительных вещественных чисел. На этом основании авторы тезисов [2] видят в Шестакове первооткрывателя континуальной логики.

Следует, однако, признать, что в разработке этой логики Виктор Иванович не преуспел, и главную его заслугу надо видеть в разработке «дискретных» логических моделей электротехнических схем, начиная со случая, когда схема представляет собой двухполюсник, который либо проводит ток (т.е. когда электрическое сопротивление схемы равно нулю) либо не проводит его (тогда считается, что схема имеет «бесконечное» сопротивление); логической моделью подобных схем в этом случае оказывается булева алгебра. Но если Шеннон не очень углублялся в проблему, посвятив ей всего несколько публикаций (и, по-видимому, то же справедливо и относительно Накашимы), то В.И. непрерывно расширял виды электрических (а потом и электронных) схем, для которых им разрабатывались логические модели. Он без сомнения гораздо глубже вошел в данный аспект проблемы «логика и техника», чем его американский и японский коллеги.

К сожалению, достижения В.И. не всегда получали должный отклик даже в отечественной науке; об этом подробно рассказано в статье [11].

[13] Как мы видели выше, идеи Герсеванова были вовсе не «аналогичны» идеям создателей логики переключательных схем.

Тем более это касается науки зарубежной. Есть все основания согласиться со взглядом, что объясняется это «периферийным положением русскоязычных изданий в массиве научно-технической литературы, невозможностью широкого “паблисити” оригинальных идей русского ученого» [2, с. 299]. Правда, основной результат В.И. был изложен в статье С.А. Яновской, помещенной в издании о развитии математики в Советском Союзе за тридцать лет [32] и других ее публикациях, известных за рубежом. Кроме того, некоторые статьи В.И. были напечатаны в переводе на английский, французский и румынский языки. Но всего этого было недостаточно для утверждения имени Шестакова в мировой науке.

Между тем на протяжении всей своей творческой жизни В.И. получал новые результаты в однажды избранной исследовательской области. Шеннон же был ученым с гораздо более широким кругом научных интересов — внес выдающийся вклад в становление теории информации, в теорию конечных автоматов, в программирование электронных цифровых машин и пр. [24].

Мы уже имели случай отметить, что работы Шестакова находили понимание не столько у инженеров-электротехников, сколько у математических логиков. Заметим, что поначалу Виктор Иванович избегал говорить о логике — речь у него шла о применении алгебры Буля. Объяснялось это тем, что в 40-х годах в отечественной марксистской философской литературе велась резкая (и неквалифицированная) критика математической логики. Но в 50-х гг., в послесталинское время, особенно же после появления первых томов «Философской Энциклопедии» (1960, 1962), в которых было помещено много математико-логических статей, причем некоторые были очень велики по объему, философское значение логико-математической мысли получило в СССР всеобщее признание. И теперь В.И. Шестаков мог уже не маскировать используемые им методы алгебраической терминологией[14], тем более что все расширявшийся им класс электрических (электронных) схем требовал решения задач, для которых приходилось обращаться ко все новым логическим средствам.

[14]Это проявилось, в частности, в явной формулировке в заголовках его работ используемых им логических средств и в публикации статей в логических изданиях. См., например: [26, 25].

Это было нужно, когда в рассмотрение вводились мостиковые схемы и многополюсники, многопозиционные реле и многотактные релейные схемы, а в числе элементов схем оказывались не только контакты (последовательное и параллельное соединение которых представимо операциями конъюнкции и дизъюнкции), но и, например, запоминающие элементы и элементы задержки сигнала.

Исходной проблематикой логической теории релейно-контактных схем являются задача построения логической формулы по заданной электрической схеме и обратная задача — восстановление электросхемы на основе заданной логической формулы. Это важно как для техники, так и для логики. И на первое место тут выходят задачи минимизации.

Как известно, под минимизацией понимается построение такой схемы, которая функционально эквивалентна заданной, но наиболее проста в определенном смысле. Упрощение может касаться числа контактов, управляемых данным реле, числа самих реле, числа размыкающих или замыкающих контактов и т.п. В соответствующих логических формулах это сводится к элиминации каких-либо букв или к уменьшению числа вхождений одинаковых букв и/или их отрицаний[15]. Отсюда роль логики как средства анализа и синтеза схем, и значение электротехники как источника проблем, которые ставятся и решаются в логике.

Как мы уже говорили, работая в избранном направлении «логика и техника», В.И. непрерывно расширял круг электротехнических задач (и задач электроники), распространяя логические методы их решения, например, на многополюсники и многопозиционные переключатели; это требовало расширения логического аппарата. Неудивительно, что В.И. достаточно скоро обратился к трехзначной логике (Лукасевича и Бочвара), а потом и к логике с бо́льшим числом значений истинности. При этом проблемы, которые он ставил и обсуждал в своих работах, нередко служили развитию самой логики. Как отмечала С.А. Яновская, внимание математических логиков к упрощению средств пред-

[15]В логической формуле буква соответствует замыкающему, а отрицание буквы — размыкающему контакту; одинаковые буквы (соответственно одинаковые буквы с отрицанием) соответствуют контактам, управляемым одним и тем же реле.

ставления функций алгебры логики и оценки того, в какой мере этого можно добиться, вызывалось не только развитием самой логики, но и теми вопросами, которые возникали в технике. Здесь свою роль сыграли, в частности, доклады Шестакова, с которыми он выступал на математико-логических семинарах в МГУ [33, с. 111–112].

В воспоминаниях Бориса Абрамовича Трахтенброта рассказано о письме, датированном 4 декабря 1951 г., которое он получил от Яновской. Сообщая о тематике только что прошедшего заседания семинара, руководимого П.С. Новиковым и С.А. Яновской, последняя упомянула тему «Новые результаты в теории релейно-контактных схем» [20, с. 111]. Тема эта весьма показательна и для семинара (впоследствии получившего неофициальное название «великого»), и для интересов С.А. Проблемой «логика и техника» тогда интересовались и Яновская, и Новиков, и Колмогоров. В упомянутом письме С.А. писала Трахтенброту:

> «На семинаре мы обсуждали доклады В.И. Шестакова об автоколебательных релейно-контактных схемах, А.В. Кузнецова о мостиковых соединениях; речь шла о необходимом и достаточном условии для того, чтобы релейно-контактные схемы некоторого класса, представляемые функцией от n независимых контактов, были представимы в виде суперпозиции функций от меньшего числа аргументов; в частности, об установлении точного критерия для решения вопроса о том, является ли в данной схеме (рассмотренного класса) "мостик"[16] устранимым или нет (Саша[17] предложил очень простое и остроумное решение) $<\ldots>$ На прошлом заседании Математического общества А.Н. Колмогоров сделал большой обзорный доклад о релейно-контактных схемах» [20, с. 119-120].

На упоминаемый Софьей Александровной доклад В.И. Шестакова свет проливает упоминавшаяся выше его статья «Моде-

---

[16] Речь идет о *мостиковых схемах*, т.е. таких схемах, состоящих из контактов — двухполюсников или резисторов, что в них имеется так называемый мостик; мостик — это элемент схемы, через который электрический ток в зависимости от состояний контактов схемы (замкнут — разомнут) либо величины входящих в схему электрических сопротивлений может идти либо в одном либо в другом направлении либо не идти вовсе. Мостиковые схемы, исключая специальные случаи, не могут быть описаны «стандартным» аппаратом логической теории релейно-контактных схем.

[17] С.А. имела в виду Александра Владимировича Кузнецова.

лирование операций исчисления предложений посредством простейших четырехполюсных схем», где автор (в подстрочном примечании) говорит, что его работа была доложена в марте 1949 г. в Институте точной механики и вычислительной техники, в МГУ — на семинаре по математической логике П.С. Новикова и С.А. Яновской, а также на семинаре по прикладной алгебре А.Г. Куроша и Л.А. Люстерника. Думается, что март месяц 1949 года относится только к первому из указанных докладов Виктора Ивановича — в Институте точной механики, а другие его доклады происходили в последующие месяцы и последующие годы, и один из них как раз и был тем докладом, о котором писала С.А.

Год 1951 был временем «борьбы против идеализма», когда надо было предъявлять научно выверенную и вместе с тем приемлемую с точки зрения господствовавшей идеологии оценку сложившихся на Западе направлений в философии математики и в логике. Вместе с тем это было время послевоенного восстановления и развития, когда от прогресса техники и ее научного обеспечения во многом зависела и экономика, и обороноспособность страны. В этом контексте понятно, почему проблематика применения логики к теории электрических цепей привлекала внимание самых разных отечественных специалистов — от инженеров-прикладников до математиков, занятых самыми «абстрактными» разделами своей науки. Один из авторов этой статьи — Б. Бирюков помнит, что с лекцией на тему «логика и техника» в 1952 г. в «Лектории МГУ» выступал П.С. Новиков. Он рассказывал, как алгебро-логический аппарат можно применить к задаче оптимизации управления лифтами: лекция была популярной и на высокую науку не претендовала, но давала понять, как логические понятия переводятся на язык техники.

В.И. Шестаков с 1942 г. и до конца дней был доцентом физфака МГУ (кафедра общей физики для физического факультета), и другой автор этой статьи — В. Шахов занимался в учебном семинаре, которым руководил Виктор Иванович; на физфаке работы Шестакова должной оценки не получали: считалось, видимо, что они к физике не имеют отношения — к этому вопросу мы еще вернемся. Тем примечательнее статьи Шестакова, посвященные логическому представлению отношений между физическими величинами и их размерностями [29, 27, 28][18]. Статьи эти интересны тем, что ясно показывают, как внелогическая проблематика толкала к применению «неклассических» логических средств. Ниже мы сосредоточимся на статьях 1983 и 1987 гг.

Как уже было сказано, в архиве В.И. сохранился машинописный подлинник статьи 1987 года; к нему были подколоты два отзыва на нее, и мы позволим себе их здесь привести.

В первом отзыве, в частности, говорилось:

> «Автором рассматривается применение усовершенствованного им исчисления высказываний трехзначной логики Д.А. Бочвара B_3 для анализа отношений между физическими величинами. Одним из аспектов этой проблемы является размерность физических величин. В данной статье, исходя из основного постулата теории размерностей и используя [исчисление] B_3, автор дает оригинальный вывод основных формул теории размерностей. Статья заканчивается сравнительным анализом систем размерностей Гаусса и СИ».

Во втором отзыве читаем:

> «Как известно, в системе трехзначного исчисления высказываний, предложенной Д.А. Бочваром, переменные высказывания принимают значения из множества, содержащего три элемента: истина, ложь, бессмыслица. Логика Д.А. Бочвара удачно использована В.И. Шестаковым для анализа отношений между физическими величинами. В работе определены достаточные условия бессмысленности равенств и неравенств скалярных и векторных физических величин, а также достаточные условия истинности равенств размерностей этих величин, что является определенным вкладом в математическую теорию размерностей. Полученные результаты существенны для анализа вида формул, выражающих зависимость между физическими величинами. Данная статья является продолжением исследований автора в теории трехзначного исчисления высказываний и моделирования операций исчисления высказываний посредством релейно-контактных схем».

Мы не знаем, кем были составлены эти отзывы. В хранящихся в архиве В.И. машинописных копиях этих отзывов та часть

[18]Последняя статья в машинописном виде сохранилась в архиве автора и датирована 18 марта 1986 г. Виктор Иванович скончался 3 мая 1987 г. Таким образом, тема «логика и физика» была, по-видимому, одной из завершающих в научном творчестве Шестакова.

страниц, где фигурировали подписи рецензентов, была отрезана и удалена: очевидно, рецензенты Серии физики и астрономии «Вестника МГУ» были «закрыты» для авторов рецензируемых работ. Содержание отзывов, особенно второго, ясно говорит, что их авторы были достаточно компетентны в вопросах логики (как, впрочем, и в физике).

Замысел «физических» статей Шестакова состоял в логической формализации отношения между двумя равенствами — равенством физических величин и равенством их размерностей. В.И. Шестаков показал, что выяснение этого вопроса требует трехзначной логики: как было отмечено в приведенных выше отзывах на статью 1987 г., кроме оценок «истинно» и «ложно» здесь нужна оценка «бессмысленно». В статье 1983 г. ход мысли В.И. начинается с утверждения (1), согласно которому равенство $W = V$ значений физических величин W и V считается бессмысленным, если утверждение о равенстве $[W] = [V]$ их размерностей $[W]$ и $[V]$ в одной и той же системе физических величин неверно.

Для построения искомой формализации В.И. использовал пропозициональную часть логического исчисления, предложенного Д.А. Бочваром для решения логических антиномий [8, 7]. В этом исчислении пропозициональные переменные могут пробегать по высказываниям, принимающим три истинностных значения — «истинно» (T), «ложно» (F) и «бессмысленно» (N), и тогда речь идет об исчислении высказываний. Если высказывания принимают только значения T и F, то они называются предложениями. Таким образом, предложения являются частным случаем высказываний; это значит, что «исчисление предложений» относится к классической логике, а объемлющее его «исчисление высказываний» — к логике неклассической.

Логику предложений Шестаков строит, используя единственную операцию — антидизъюнкцию (отрицание дизъюнкции, иначе называемую штрихом Нико). В дальнейшем мы не будем во всем следовать обозначениям Шестакова, в частности антидизъюнкцию будем обозначать знаком $\uparrow$. Как известно, через антидизъюнкцию выразимы все классические пропозициональные функции — эта операция функционально полна: отрицание ($\sim$) предложения A, т.е. $\sim A$, равно $A \uparrow A$.

«Логику высказываний» Бочвар получает путем введения одноместной операции «внешнего утверждения» $\vdash$, которая для значений T и F (истинности и ложности) сохраняет эти значения, а «бессмыслицу» (N) переводит в ложь; помимо «внутреннего отрицания» ($\sim$) вводится «внешнее отрицание» ($\neg$), определяемое как $\neg A =_{Df} \vdash\sim A$, где $=_{Df}$ есть знак «равенства по определению»; Шестаков читает его как «A ложно». Что касается формулы $\sim\vdash A$, то она получает название «опровержения», обозначается путем помещения над A горизонтальной черты и читается Шестаковым как «A неверно».

Построение нужной для Шестакова логики завершается определением оператора бессмыслицы: $\downarrow A =_{Df} \vdash A \uparrow \neg A$, которое означает, что высказывание A бессмысленно тогда и только тогда, когда неверна дизъюнкция утверждения высказывания A и утверждения его (классического) отрицания. Смысл этого определения выясняется, если «расшифровать» операцию $\neg A$; тогда $\downarrow A$ будет означать недопустимость выбора между $\vdash A$ и $\vdash\sim A$.

Собственно говоря, единственной независимой от классической логики операцией является (внешнее) утверждение $\vdash$; операции же опровержения, «утверждения отрицания» $\neg$ и оператор бессмыслицы выразимы через внешнее утверждение и операции классической прпозициональной логики — классическое отрицание ($\sim$) и дизъюнкцию ($\vee$); в выкладках Шестакова используется и (классическая) конъюнкция, знак которой мыслится в виде точки между двумя частями конъюнктивной формулы (точка не выписывается, а подразумевается — это обычный способ записи в алгебре логики).

Как Шестаков применяет этот логический язык, видно из приводимых им формул. Так, операция эквиваленции в (неклассическом) исчислении высказываний представима следующим образом:

$$A \equiv B =_{Df} \vdash A \vdash B \vee \neg A \neg B \vee \downarrow A \downarrow B.$$

Шестаков не стал аккуратно строить нужный ему фрагмент трехзначной логики Бочвара (например, не определил понятие формулы в рассматриваемой им логике), отослав читателя к работам Дмитрия Анатольевича[19]; «расширение» же этой логики

[19]Заметим, что изложение Шестаковым используемого им пропозицио-

за счет отношений равенства и неравенства физических величин и их размерностей он счел, по-видимому, понятным и без дальнейших пояснений. Что касается правила вывода в (неклассическом) «исчислении высказываний», то им служит логический переход:

$$\frac{\Phi, \vdash \Phi \supset\vdash \Psi}{\Psi},$$

где $\supset$ есть знак материальной импликации классической пропозициональной логики (т.е. «логики предложений» в том смысле, в каком выше использовалось это понятие). Разумеется, это правило — *modus ponens*, принимаемое в (неклассической) «логике высказываний», действует и в классической «логике предложений».

Теперь можно выразить утверждение (1), с которого В.И. начинает свои рассмотрения. Оно имеет вид:

$$\overline{[W] = [V]} \supset\downarrow (W = V), \tag{2}$$

что читается: «если равенство размерностей величин W и V, т.е. $[W] = [V]$, неверно, то равенство величин W и V бессмысленно». Так, из того, что равенство [метр] = [секунда] неверно, следует, что $\downarrow (s = t)$, т.е. что нельзя отождествлять длину пути, проходимого неким телом за определенное время, с самим этим временем.

Формулу (2), пишет Шестаков, можно считать одним из основных постулатов теории размерностей физических величин, и она обычно неявно используется при проверке размерностей:

> «Проверка любого равенства $W = V$, полученного при решении какой-либо физической задачи, обычно начинается с проверки равенства $[W] = [V]$ размерностей $[W]$ и $[V]$ величин W и V. Если в результате этой проверки окажется, что равенство $[W] = [V]$ *неверно*, то $<\ldots>$ приходят к выводу, что $W = V$ *бессмысленно*» [27, с. 42].

нального исчисления Бочвара содержит вещи, которые ему попросту не нужны. Таково, например, определение доказуемой формулы неклассического исчисления высказываний Бочвар (формула доказуема тогда, и только тогда, когда при любых истинностных значениях (T, F, N) входящих в нее переменных ее истинностное значение есть T , и она противоречива, если ни при каких значениях переменных не принимает значения T).

Шестаков замечает, что равенство (значений) $W = V$ двух произвольных величин может оказаться бессмысленным и тогда, когда равенство их размерностей $[W] = [V]$ верно в некоторой системе физических величин, как это имеет место для работы и момента силы, представляющих собой разные физические величины, хотя утверждение о равенстве их размерностей верно в любых применяемых системах физических величин.

Равенство размерностей двух произвольных физических величин — только достаточное условие равенства либо неравенства значений самих величин. Для равенства же размерностей физических величин достаточно, чтобы равенство либо неравенство значений величин имело смысл. Ибо из импликативной формулы (2), используя законы контрапозиции и снятия двойного отрицания, действующие в «логике высказываний», получается импликативная формула

$$\sim\downarrow (W = V) \supset\vdash ([W] = [V]), \tag{3}$$

которая читается: «для равенства размерностей двух физических величин достаточно, чтобы равенство значений самих величин имело смысл (не было бессмысленным)». Заметим, что при ложности антецедента этой формулы, т.е. тогда, когда о равенстве значений величин W и V говорить бессмысленно (величины несравнимы), из формулы (3) не следует, что их размерности не могут быть равными.

Опираясь на формулу (3) и определив неравенство значений двух произвольных физических величин как (классическое) отрицание их равенства, а также использовав справедливое в исчислении Бочвара равенство (логическую эквивалентность) формул $\downarrow (W = V)$ и $\downarrow (W \neq V)$, Шестаков получает формулы (4), (5) и (6):

$$\sim\downarrow (W \neq V) \supset\vdash ([W] = [V]), \tag{4}$$

$$\overline{[W] = [V] \supset\downarrow (W = V)}, \tag{5}$$

и

$$\overline{[W] = [V] \supset\downarrow (W \neq V)}. \tag{6}$$

Эти формулы означают, что если равенство размерностей двух произвольных физических величин (Шестаков оговаривает, что физические величины могут принимать значение на множестве действительных или комплексных чисел) неверно, то бессмысленно как равенство, так и неравенство значений соответствующих величин; а из осмысленности равенства либо неравенства двух физических величин вытекает равенство их размерностей.

Далее полученные соотношения распространяются на кортежи (конечные последовательности) **W** и **V** любых физических величин. В теории Шестакова учитываются и безразмерные физические величины. Далее следуют случаи векторного и матричного представления величин и их размерностей. При этом принимаются во внимание и ситуации, когда такого рода представления имеют неодинаковую размерность. Для матриц как пример приводятся матрицы импедансов и адмиттансов четырехполюсников[20], и Шестаков показывает, как на них в этом случае можно распространить действие формул (3)–(6). Выкладки Шестакова завершаются замечанием, что используемая автором логика в случае отношений между кортежами и матрицами с элементами различной размерности «требует особого рассмотрения» [27, с. 45].

В статье 1987 г. В.И. продолжает свои выкладки. Он показывает, что в его теории естественно возникает равенство размерностей физических величин V и αV (где α — безразмерный числовой множитель); он охватывает своим подходом как вещественные, так и комплексные физические величины; показывает, что в его теории сохраняются все известные закономерности, касающиеся физических размерностей, в частности, их умножение и деление; например, рассматривая умножение размерностей, он показывает, что размерность произведения двух физических величин равна произведению их размерностей; что из ассоциативности и коммутативности физических величин следуют аналогичные свойства их размерностей; он показывает, далее, как при его подходе получается такое известное в теории размерностей[21] свойство комплексных физических величин, что множество их размерностей образует абелеву группу относительно операции умножения их размерностей.

Как мы уже говорили, В.И. Шестаков был доцентом физиче-

[20] *Импеданс* — полное сопротивление цепи (активное и реактивное); *адмиттанс* — полная проводимость электрической цепи.

[21] Здесь следует ссылка на монографию [35].

ского факультета МГУ, и один из авторов этой статьи (В.И. Шахов) в 1947 г., после демобилизации из Советской армии поступил на первый курс физфака, и первые два года семинарские занятия в группе, в которую он входил, вел Виктор Иванович. Шестаков был немногословен, сдержан, доброжелателен. Если на занятиях у студентов возникали какие-либо вопросы, он не торопился давать на них ответ — ждал, когда «умные головы» в группе найдут решение. Если этого не случалось, В.И. немногословно разрешал возникавшие затруднения.

О своих научных интересах В.И. Шестаков студентам никогда не рассказывал, не упоминал свои публикации — учитывал, видимо, что для учащихся первых курсов это мало интересно, что все их внимание направлено на изучаемый учебный материал. Только в аспирантуре, а потом в ходе работы на физфаке В.И. Шахов стал разбираться в научных направлениях, представленных на факультете, и понимать, кто из профессоров и преподавателей факультета занимается той или иной проблематикой.

В 50–60-е годы на физфаке выделялось два главных теоретических направления: вычислительная техника и атомная физика. По этим направлениям проходило большинство научных семинаров и конференций; именно ученые, которые работали в этих областях, получали те или иные премии. Учитывая все это, мы понимаем, почему работы Шестакова не выделялись из общего вала «научной продукции» факультета; замкнутый характер Виктора Ивановича мог этому только способствовать. Между тем его исследования представляли непосредственный интерес для вычислительной техники и программирования ЭВМ. Университетские физики этого не видели — тем более что им было известно: этой областью научных исследований интенсивно занимаются на механико-математическом факультете. В те годы началось создание в университете вычислительного центра, который со временем превратился в факультет вычислительной техники и кибернетики; в двухэтажном здании, где зарождалось новое направление, впоследствии остался только вычислительный центр МГУ.

Как известно, первые ЭВМ конструировались на электронных лампах и занимали большие помещения; функционирование первых электронных цифровых машин требовало громоздких охлаждающих устройств. Затем наступил недолгий период, когда цифровая электроника базировалась на магнитно-релейных схемах, но прогресс был столь стремителен, что вскоре вся вычислительная техника перешла к использованию пленочно-полупроводниковых схем промышленного типа.

Заметим, что в эти годы в нашей стране началась интенсивная разработка теории программирования ЭВМ, содержавшая важные логические компоненты. Таковой была, например, методика построения операторных логических схем, разработанная в 1953 г. в Институте математики АН СССР А.А. Ляпуновым [17, 16, 15]. Поскольку в рамках концепции *кибернетики*, развитой Алексеем Андреевичем, как мы увидим, научная проблематика, разрабатывавшаяся В.И. Шестаковым, нашла определенное место, нам придется остановиться на соответствующих вопросах.

Следуя идеям Норберта Винера, А.А. Ляпунов трактовал кибернетику как область знания, в которой математическими (и логическими) методами изучаются процессы управления и контроля в машинах и живых организмах. Он писал:

> «Вычислительная машина и мышление представляют собой две управляющие системы с очень широкими и гибкими возможностями, в некотором смысле крайних типов: вычислительная машина — это управляющая система, действующая *строго формально, по заранее заданному алгоритму*, тогда как мышление — это управляющая система, функционирование которой *совсем не формально*» [16, с. 6][22].

[22]Мы не останавливаемся здесь на проблеме соотношения машины и мышления, а также на вопросах, связанных с ослаблением требования строго формального описания процессов, протекающих в управляющих системах, разработка которых привела впоследствии к *эвристическому программированию* и возникновению направления *искусственного интеллекта*. Проблема «ЭВМ и человек» явилась предметом размышлений Алана Тьюринга, русскому переводу основополагающей статьи которого (см. [21]) С.А. Яновская предпослала глубокое предисловие. Не касаемся мы и вопросов построения «самосовершенствующихся» алгоритмов и самоорганизующихся систем (этими вопросами занимался Дж. фон Нейман, русский перевод статьи которого «Общая и логическая теория автоматов» помещена в упомянутой книжке А. Тьюринга). Что касается «искусственного интеллекта, то хорошее представление о его современном состоянии дает книга [22].

Критерием того, что функционирование управляющей системы, т.е. то, как в ней происходит переработка информации, изучено, продолжал Ляпунов, служит возможность моделирования ее на ЭВМ, что равносильно ее модельному представлению в машине Тьюринга с ограниченной памятью[23], т.е. ее алгоритмизации. Изучение функционирования произвольной управляющей системы сводится к ее описанию при помощи некоторого алгоритма и затем к вопросу о его материальной реализации. Для описания такого рода алгоритмов Ляпунов предложил аппарат *логических схем алгоритмов*.

В алгоритмах, о которых идет речь, имеются операторы — арифметические и логические операции и предикаты, а также операции «передачи управления», реализуемые в общем случае путем проверки логических условий. В схемных записях алгоритмов отвлекаются от содержательного смысла операторов: подобно схемам формул в логике после замены в них знаков операторов и логических переменных конкретными операциями и предикатами возникают конкретные алгоритмы переработки информации.

Логическая схема алгоритма состоит из операторов и логических условий, записываемых друг за другом; она определяет порядок работы операторов в зависимости от результатов проверки входящих в нее логических условий, требующих ответа «да» или «нет». Ляпунов показывает [16, с. 9], как из операторов A, B, C и логических условий p и q можно составлять логические схемы, в которых «передача управления» выражается с помощью стрелок; примером может служить логическая схема:

$$\overset{2}{\downarrow} Ap \overset{1}{\uparrow} B \overset{1}{\downarrow} q \overset{2}{\uparrow} C;$$

знаки $\uparrow$, $\downarrow$ мыслятся как одна стрелка[24], если они имеют один и тот же номер, то плучают следующий смысл: если проверка логического условия p приводит к ответу «нет», то оператор B не выполняется, и надлежит произвести проверку условия q (в слу-

[23]Машина Тьюринга с неограниченной («бесконечной») памятью представляет собой, как известно, одно из уточнений понятия алгоритма, или вычислимой функции.

[24]Излишне, пожалуй, говорить, что стрелки у Ляпунова имеют совершенно другой смысл, чем у В.И. Шестакова.

чае же ответа «да» вслед за оператором A следует выполнение оператора B); аналогично «управляет» порядком выполнения операторов A, B, C и логическое условие q.

Запись алгоритмов в виде логических схем использовалась Ляпуновым для того, чтобы решать вопросы синтеза алгоритмов, имитирующих изучаемый процесс управления и переработки информации, а также для изучения различных способов тождественного преобразования алгоритмов, для чего использовались операции классической пропозициональной логики — отрицание, конъюнкция, дизъюнкция, импликация и эквивалентность [31, с. 78 и далее]. Для нашего изложения важно, что в качестве примера научных проблем, для которых существенную роль играют методы синтеза алгоритмов, Алексей Андреевич указал теорию релейно-контактных схем. Он писал:

> «Рассмотрим вопросы проектирования релейно-контактных схем, т.е. устройств, реализующих определенные функции алгебры логики. Эти функции реализуются с помощью контактов и реле заданных типов, причем требуется экономно расходовать имеющиеся материальные средства $<\ldots>$ Существенно сочетать быстроту синтеза, универсальность метода и его экономичность. $<\ldots>$ Рассматривая вопрос о синтезе схемы, реализующей некоторую определенную функцию алгебры логики, мы должны подыскать некоторый класс функций, для которого разработан метод синтеза и в который входит наша функция. Вообще говоря, чем шире выбранный класс функций, тем большими возможностями обладает соответствующий алгоритм синтеза и тем менее он учитывает специальные особенности синтезируемых функций в целях экономии числа деталей. Требования экономичности и универсальности метода синтеза являются в некотором отношении противоречивыми. Чем более универсален метод, т.е. чем для более широкого класса функций он пригоден, тем к большему расходу деталей он ведет в каждом отдельном случае. Поэтому часто бывает целесообразно подыскивать сравнительно узкий класс, содержащий интересующие нас функции, и вырабатывать специальный метод синтеза, годный только для этого класса $<\ldots>$ Применение такой точки зрения часто позволяет для особенно важных индивидуальных функций получать выгодные схемные реализации $<\ldots>$ На этой почве возникла очень содержательная ветвь математической проблематики, широко использующая методы математической логики» [16, с. 11].

Далее Ляпунов утверждал, что некоторые общие приемы синтеза релейно-контактных схем, выработанные на этом пути, нашли широкое применение в технике.

Здесь напрашивается ссылка на работы В.И. Шестакова, но у Ляпунова ее нет — автор вообще не называет никаких научных источников[25]. Мы не знаем, были ли известны Ляпунову *первые* работы Шестакова, в которых в том или ином отношении содержался подход к ответам на некоторые вопросы, поставленные Алексеем Андреевичем. Думается, что нет, так как в статье М.Л. Цетлина[26], которая начинается с упоминания методов синтеза релейно-контактных схем, первой указана монография М.А. Гаврилова [9], а из работ Шестакова указаны только две его статьи, опубликованные в 1954 г.; в статье Ю.И. Янова, где рассматриваются преобразования логических схем алгоритмов с использованием методики упрощения логических выражений в стиле теории релейно-контактных схем, вообще нет ссылок на работы, к этой теории относящихся. Заметим, что обе статьи помещены в том же выпуске «Проблем кибернетики», что и статьи А.А. Ляпунова.

В конце 80-х годов один из авторов этих строк подготовил и выпустил в академической серии «Кибернетика — неограниченные возможности и возможные ограничения» сборник, посвященный истории кибернетики [12]. Можно только сожалеть, что в открывающей его статье [3] о Шестакове было сказано лишь вскользь. Правда, в следовавшей за ней публикации М.Г. Гаазе-Рапопорта о вкладе Виктора Ивановича в теорию релейно-контактных схем — и о первенстве его в открытии этой теории — говорилось достаточно ясно [10, с. 56, 89]. Но приходится констатировать, что в школе Ляпунова (и таких ученых, как М.Л. Цетлин) работы Шестакова как бы не замечались. В Москве с 1955 по 1962 год работал руководимый А.А. Ляпуновым научно-исследовательский семинар по кибернетике — Большой семинар, как его называли, так как он носил фактически всесоюзный характер, и на нем ни разу не выступал Виктор Иванович[27]. В Научном совете по комплексной проблеме «Кибернетика» при

[25] То же касается и второй статьи Алексея Андреевича.

[26] Она носила название «О непримитивных схемах».

[27] Это следует из Приложения «Доклады, прочитанные и обсужденные на заседаниях Большого семинара А.А. Ляпунова в Московском университете», которое помещено в статье М.Г. Гаазе-Рапопорта [10].

Президиуме АН СССР, созданном в 1959 году и руководимом академиком А.И. Бергом, насколько нам известно, Шестаков тоже не выступал. Это и понятно, так как Секцией технической кибернетики в этом Научном совете руководил М.А. Гаврилов, «конкурент» Шестакова в разработке теории релейных схем. Неудивительно, что Виктор Иванович настороженно относился к кибернетике и кибернетикам, хотя поддерживал тесные связи с логиками. В частности, по приглашению руководителей Научно-исследовательского семинара по логике и методологии науки[28] — Б.В. Бирюкова и А.С. Кузичева Виктор Иванович Шестаков выступил на нем с рядом докладов.

Выше мы привели отрывок из статьи А.А. Ляпунова, в котором один из первопроходцев науки о процессах управления и переработке информации говорил о теории релейно-контактных схем. Обратим внимание на то, что А.А. имел в виду классическую алгебру логики, хотя и предусматривал расширение используемого класса функций. Шестаков же с самого начала предполагал возможность выхода за пределы классического алгебро-логического представления релейных и иных электротехнических (а потом и электронных) устройств. Обращение к трехзначной логике, да еще имеющей «двухэтажную» структуру — яркий тому пример. И здесь мы возвращаемся к тому, как для уточнения отношений между физическими величинами и их размерностями Шестаков использовал исчисление B_3 Бочвара.

Обращение Шестакова, ранее уже применявшего в своих работах трехзначную логику, к такому важному разделу физики, как теория размерностей, вполне понятно: именно в нем существенную роль играет вопрос об осмысленности или бессмысленности выражений языка. «Третье значение» в трехзначной логике обычно истолковывается как отвержение смысла — в отличие от истинности и ложности, признаваемых вполне осмысленными.

Как мы видели, для выяснения соотношения, связывающего физические величины и их размерности, В.И. использовал один из вариантов трехзначной логики. Он продемонстрировал, как можно логически обосновать то, что равенство размерно-

[28]Семинар работал при кафедре логики философского факультета и кабинета истории математики мехмата МГУ в 70-х и начале 80-х годов.

стей двух произвольных физических величин является необходимым, но не достаточным условием равенства самих этих величин. Для равенства размерностей двух физических величин достаточно (но не необходимо), чтобы имело место равенство (численных) значений последних. Условие это четко выражено формулой (3). Осмысленность равенства значений двух физических величин есть *достаточное* условие равенства их размерностей; а последнее *необходимо* для того, чтобы признать осмысленным вопрос о равенстве либо неравенстве их значений.

Будучи физиком, В.И. показывает, как конкретно выглядят выявленные им соотношения. В качестве примера в статье 1983 г. рассматриваются такие физические величины, как электрические и магнитные поля, представленные в системах СИ и СГС. Поскольку в соотношениях, связывающих физические величины и их размерности, важную роль выполняют системы единиц, поясним смысл этих систем.

Система единиц СИ — международная (принята в 1960 г.), ныне она широко используется в науке и технике. Основные (образующие) ее единицы: длина в метрах L, масса в килограммах (кг) M, время в секундах (сек) T, сила тока в амперах I, сила света в канделлах J, температура в кельвинах K, количество вещества в молях N. Система СГС (система Гаусса — Вебера) основывается на единицах: один сантиметр (L), один грамм (M), одна секунда (T), единичный электрический заряд (q), единичная магнитная масса (M_m). Значения параметров L, M, T, I, J, K, N и L, M, T, q, M_m определяют в каждой из систем размерности тех или иных физических величин.

В системе СИ мы имеем:

$$[E] = LMT^{-3}I^{-1}; [D] = L^{-2}TI; [H] = L^{-1}I; [B] = MT^{-2}I^{-1}, \qquad (K_1)$$

а в системе СГС:

$$[E] = [D] = [H] = [B] = L^{-1/2}M^{1/2}T^{-1}, \qquad (K_2)$$

где E — напряженность и D — индукция электрических полей, а H — напряженность и B — индукция магнитных полей.

Из выражения (K_1) следует, что каждой размерности однозначно соответствует определенная физическая величина — выполняется условие (3). В выражении (K_2) фигурируют различные физические величины, но их объединяет одна и та же размерность. Условие (3) для случая (K_2) непосредственно не выполняется; это связано с особеностью системы СГС, что ниже будет пояснено. Это как раз тот оговоренный выше случай, когда антецедент формулы (3) ложен, поскольку величины E, D, H и B несравнимы.

В.И. Шестаков метко заметил, что система СИ обладает «большей разрешающей способностью». Однако и в этой системе возможны случаи, когда различные физические величины обладают одной и той же размерностью. Например, работа (энергия) A и вращающий момент (момент силы) N в системе СИ имеют одинаковую размерность:

$$[A] = [N] = L^2MT^{-2}. \qquad (K_3)$$

Как мы уже говорили, в работе Шестакова 1983 г. показано, что соответствие между физическими величинами и их размерностями (формула (3)) может быть представлено и в векторной форме[29]. В самом деле, рассмотрев движение материальной точки m по окружности радиуса $\mathbf{R}$ под действием силы $\mathbf{F}$ в случае работы A и момента силы $\mathbf{N}$, мы получим следующие выражения[30]:

$$A = \mathbf{F} \bullet s, \mathbf{N} = \mathbf{R} \times \mathbf{F}; \qquad (K_4)$$

это — движение в декартовой системе координат (x, y, z), где $\mathbf{R}$ направлено по оси x, $\mathbf{F}$ параллельно оси y и перемещение s коллинеарно $\mathbf{F}$. Тогда в проекциях на координатные оси мы имеем:

$$A_y = F \bullet s; N_z = R_xF_y \cos\alpha(\cos\alpha = 1). \qquad (K_5)$$

Запишем соотношение (K_5) через соответствующие им физические размерности, выражая их через координатные компоненты. Мы получим:

$$[A_y] = [L_yMT^{-2}]L_y = [L_y^2MT^{-2}],$$

$$[N_z] = [L_xMT^{-2}]L_y = [L_xL_yMT^{-2}].$$

[29]Известные нам работы, где эти вопросы подробно рассматриваются, это труд [23] и публикация [36].

[30]Полужирным шрифтом набраны векторные величины.

Приведенные ранее формулы размерности величин работы и момента сил совпадали с (K_3), — теперь они различаются, так как имеют различные проекции по координатным осям. Это дает возможность признать осмысленность вопроса о равенстве или неравенстве соответствующих физических величин.

Чтобы оценить вклад В.И. Шестакова в теорию размерностей, приведем некоторые положения последней.

Теорией размерностей физических величин физики занимались начиная с Ньютона. Впервые наиболее последовательно этот вопрос был рассмотрен Ж. Фурье (1822). Он фактически ввел понятия формулы размерности (a) и однородности по размерностям (b); согласно (a) каждой физической величине должна соответствовать единственная размерность (это фактически условие (3)), а условие (b) выражает тот факт, что все размерности одинакового вида в данном уравнении должны иметь одинаковые степенные показатели. Затем важный шаг был сделан К. Гауссом (1832) и В.Э. Вебером (1851). Их работы и позволили построить систему СГС.

Особенность системы СГС состоит в том, что между электрическими и магнитными единицами, применяемыми для измерений, отсутствует непосредственная связь. Это приводит к тому, что в этой системе разные величины могут иметь одинаковые размерности (случай (K_2)), и чтобы перейти от магнитных единиц к электрическим и обратно, необходимо использование дополнительных условий.

Как в СИ, так и в СГС выбор основных (образующих) единиц системы определяется характером изучаемых явлений. В системе СИ электрические и магнитные единицы взаимосвязаны, но различаются в своем проявлении, что и приводит, говоря словами Шестакова, к их «большей разрешающей способности».

В основе теории размерностей физических величин, как уже упоминалось, лежат такие понятия, как «формула размерностей», «однородность по размерностям», а также, естественно, безразмерный числовой множитель (коэффициент). Используя эти понятия и выражая исследуемое уравнение в символах размерностей, мы можем судить о соответствии данного уравнения изучаемым физическим процессам. Открывается также возможность решать физические задачи путем составления требуемых уравнений, причем без проведения экспериментов. Примером может служить вывод формулы «голубого цвета неба», произведенный Рэлеем в 1875 г.

Несмотря на почтенный возраст теории размерностей и интенсивное ее применение, теория эта, как уже было сказано, есть результат обобщения практического опыта. Поэтому понятно замечание Г. Хантли о том, что «теория размерности нуждается в философском пояснении» [23, с. 42, 170]. Теперь мы можем сказать более определенно: нуждается в логико-математическом обосновании, что и было сделано В.И. Шестаковым.

Безусловно, в теории размерностей физических величин, как и в любой теории, кроме вопросов, связанных с ее общим обоснованием, возникает ряд других важных проблем, и в их числе вопрос о том, что считать исходными, «первичными» данными при ее построении и как на основе последних строить «вторичные» данные, относящиеся к физическим величинам. На эти вопросы до сих пор нет строго обоснованного ответа. Возможно, здесь может помочь «теория физических структур» — новая теоретическая концепция, разрабатываемая Ю.И. Кулаковым [13]. Но эти вопросы выходят за рамки наших рассмотрений.

Статьи В.И. Шестакова о применении логики к теории физических величин и их размерностей, будучи независимыми от других его работ по приложениям логического аппарата к внелогическому содержанию, хорошо демонстрируют, как основательно их автор подходил к исследованию интересовавших его проблем.

Литература

[1] *Бажанов В.А.* История логики в России и СССР (Концептуальный контекст университетской философии).М.: КАНОН, 2007.

[2] *Бажанов В.А., Волгин Л.И.* В.И. Шестаков и К. Шеннон: различные судьбы авторов одной красивой идеи // Современная логика: проблемы теории, истории и применения в науке. Материалы VII Общероссийской научной конференции. СПб., 2002.

[3] *Бирюков Б. В.* Кибернетика, информатика, вычислительная техника, автоматика: проблемы становления и развития. Вклад отечественной науки // Кибернетика: прошлое для будущего. Этюды по истории отечественной кибернетики. Теория управления. Автоматика. Биокибернетика. Научная редакция Б.В.Бирюкова. М.: Наука, 1989.

[4] *Бирюков Б.В., Борисова О.А., Левин В.И.* О вкладе Виктора Ивановича Шестакова в создание логической теории релейных схем // «Вопросы философии» (в печати).

[5] *Бирюков Б.В., Верстин И.С., Левин В.И.*О приоритете В.И. Шестакова в создании логической теории релейных схем // Логические исследования. Вып. 13. М., 2006.

[6] *Бирюков Б.В., Левин В.И.* Еще раз об открытии логических моделей технических устройств // Вестник Моск. ун-та. Серия 7: философия (в печати).

[7] *Бочвар Д.А.* К вопросу о непротиворечивости одного трехзначного исчисления // Математич. сб. 1943. Т. 12(54), вып. 1.

[8] *Бочвар Д.А.* Об одном трехзначном исчислении и его применении к анализу парадоксов классического расширенного функционального исчисления // Математич. сб. 1938. Т. 4(46), вып. 2.

[9] *Гаврилов М.А.* Теория релейно-контактных схем. М.: Изд-во АН СССР, 1950.

[10] *Гаазе-Рапопорт М.Г.* О становлении кибернетики в СССР // Кибернетика: прошлое для будущего. Этюды по истории отечественной кибернетики. Теория управления. Автоматика. Биокибернетика. Научная редакция Б.В.Бирюкова. М.: Наука, 1989.

[11] *Герсрванов Н.М.* Собр. соч. Том I. М.: Стройвоенмориздат, 1948.

[12] Кибернетика: прошлое для будущего. Этюды по истории отечественной кибернетики. Теория управления. Автоматика. Биокибернетика. Научная редакция Б.В.Бирюкова. М.: Наука, 1989.

[13] *Кулаков Ю.И.* Теория размерностей физических величин // Вычислительные системы. Вып. 118: Машинный анализ сложных структур. Новосибирск, 1986.

[14] *Кутюра Л.* Алгебра логики / Пер. с франц. с прибавлениями проф. И.Слешинского. Одесса: Изд-во Mathesis, 1909.

[15] *Ляпунов А.А.* О логических схемах программ // Проблемы кибернетики Под ред. А.А. Ляпунова. Вып. 1, М.: Физматгиз, 1958.

[16] *Ляпунов А.А.* О некоторых общих вопросах кибернетики // Проблемы кибернетики / Под ред. А.А. Ляпунова. Вып. 1. М.: Физматгиз, 1958.

[17] *Ляпунов А.А., Шестопал Г.А.* Об алгоритмическом описании процессов управления // Математическое просвещение. Вып. 2. М.: Гостехиздат, 1957.

[18] *Поваров Г.Н.* Предисловие редактора перевода // Э.Беркли. Символическая логика и разумные машины / Перев. с англ. Под ред. и с предисловием Г.Н. Поварова. М.: ИЛ, 1961.

[19] *Предводителев А.С.* К истории применения алгебры Буля в технике. Письмо в редакцию // Вестн. МГУ. Серю 5: Физика, астрономия. № 5, 1968.

[20] *Трахтенброт Б.А.* Памяти С.А. Яновской // Историко-математические исследования. Вып. 2 (37), 1997. С. 111.

[21] *Тьюринг А.* Может ли машина мыслить? М.: Физматгиз, 1960.

[22] *Финн В.К.* Интеллектуальные системы и общество. М., 2001.

[23] *Хантли Г.* Анализ размерностей. М., 1970.

[24] *Шеннон К.* Работы по теории информации и кибернетике / Перев. с англ. с предисловием А.Н.Колмогорова. М.: ИЛ, 1963.

[25] *Шестаков В.И.* Моделирование операций исчисления высказываний посредством релейно-контактных схем // Логические исследования. Сб. статей. Редколлегия: Э.Кольман, Г.Н. Поваров, П.В. Таванец и С.А. Яновская. М.: Изд-во АН СССР, 1959.

[26] *Шестаков В.И.* Моделирование операций исчисления предложений посредством простейших четырехполюсных схем // Вычислительная математика и вычислительная техника. Вып. 1. М., 1953.

[27] *Шестаков В.И.* О применении трехзначной логики для анализа отношений между физическими величинами // Там же. 1983. Т. 24, № 4.

[28] *Шестаков В.И.* О применении трехзначной логики в теории размерностей физических величин // Там же. 1987. Т. 28, № 3.

[29] *Шестаков В.И.* Операции обращения и инверсии комплексных физических величин // Вестн. Моск. ун-та. Серия 3: Физика. Астрономия. 1979. Т. 20, № 6.
[30] *Эренфест П.* Рецензия на книгу Л.Кутюра «Алгебра логики» // Журнал русск. физико-химич. общ-ва, 1910. Т. 42, отделение 2. Вып. 10.
[31] *Янов Ю.И.* О логических схемах алгоритмов // Вопросы кибернетики. Вып. 1. Физматгиз, 1958.
[32] *Яновская С.А.* Основания математики и математическая логика // Математика в СССР за тридцать лет (1917-1947). М.;Л., Физматгиз, 1947.
[33] *Яновская С.А.* Математическая логика и основания математики // Математика в СССР за сорок лет. 1917-1957. Том 1: Обзорные статьи. М.: Физматгиз, 1959.
[34] *Couturat L.* L'Algébre de la logique. Paris, 1906 (второе издание).
[35] *Fleischmann R.* Einfuhrung in die Physik. Weinheim, 1973.
[36] *Spencer Moon* Jnl. Franklin Inst. Dec. 1949.