Рябинин И.А.

ФЕНОМЕН ЛОГИКО-ВЕРОЯТНОСТНОГО ИСЧИСЛЕНИЯ

Феномен – необычное, особенное явление, редкий факт.
Большой толковый словарь, 2000, с.149

В введении [1] автор пишет … «Считая ЛВ-исчисление специальным разделом дискретной математики и чисто российским «изобретением», которое "не следует путать с вероятностной логикой и другими разделами математической логики, скажем несколько слов об истории публикаций на эту тему».

А я в предисловии к монографии [1] писал, что Клод Элвуд Шеннон сумел ликвидировать разрыв между алгебраической теорией логики и ее практическим приложением, **соединив булеву алгебру с работой электрических схем.**

В связи с необходимостью количественной оценки безотказности сложных технических структур в начале 60-х годов XX столетия возникло так называемое **логико-вероятностное исчисление (ЛВИ)** - составная часть раздела математики, трактующая правила вычисления и оперирования с высказываниями, принятыми в двузначной логике.

С помощью ЛВИ удалось **соединить булеву алгебру с теорией вероятности** не только для простейших структур, но и структур, формализация которых приводит к функциям алгебры логики (ФАЛ) повторного типа (мостикового, сетевого, монотонного). В состав этого своеобразного «мостика знаний» входят несколько доказанных теорем, свойств и алгоритмов, которые и составляют математическую основу ЛВИ.

Сетуя в статье [2] на отсутствие определения даже **вероятностной логики** в «Математическом энциклопедическом словаре» (1988), не следует удивляться на **феномен ЛВИ,** известного только специалистам технического профиля, связанным с проблемами надежности, живучести и безопасности (НЖБ) [3,4]. Отсутствие до сих пор упоминания ЛВИ в фундаментальных математических энциклопедиях и справочниках свидетельствует, на наш взгляд, о том, что эти вопросы не изучаются «чистыми» математиками в университетах. Практически все творцы современного понимания ЛВИ (ЛВМ), как и Дж. Буль, не имели специального математического образования, но были высококлассными инженерами.

Желая привлечь внимание «чистых» математиков к проблемам ЛВИ, я в докладе на Втором международном конгрессе математических методов в надежности [5] дерзко заявил: … «Математик, в совершенстве знающий алгебру логики и теорию вероятностей, но не знакомый с ЛВМ, не сможет преобразовать ФАЛ трех структур [3, с. 17] к форме перехода к полному замещению (ФППЗ) и соответствующим вероятностным функциям». При этом в докладе приводились упомянутые ФАЛ [3, с. 115, 175, 183] и полученные полиномы [3, с. 117, 178, 185].

Долгое время ЛВИ в статьях и книгах отождествлялись с вероятностной логикой, пока в работе [2, с. 184] мне не пришлось прямо сказать, что **ЛВИ - это не вероятностная логика.**

Ну, а необходимостью написания данной статьи послужило недавнее знакомство с работой [6], в которой был огорчен логик Голота Яков Яковлевич «вычислительными вольностями», допущенными не только Л. А. Заде в «Теории нечетких множеств», но и И. А. Рябининым с Г. Н. Черкесовым в «Логико-вероятностных методах» [7].

Не имея возможности ознакомиться с другими публикациями этого автора, процитируем главные «вычислительные вольности» по тезисам доклада [6].

1. «Алгебра логики высказываний исходит из полной определенности объектов изучения. Теория вероятностей предполагает неопределенность в совершении событий. Таким образом, в одной теории объединяются **отрицающие друг друга начала:** полная определенность и неопределенность. Не говорит ли это **об очевидном противоречии,** лежащем в основе логико-вероятностной теории?» (Выделения наши).

2. « Но это не единственный промах, допущенный авторами ЛВМ. Второй требует более детального" рассмотрения. Как понимать в приведенной цитате сочетание слов **«вероятность истинности функций алгебры логики»?**

Далее автор поясняет, что в теории вероятностей рассматриваются и оцениваются события, а не высказывания, посредством которых сообщается о событиях. Ссылается на широко известные курсы по теории вероятностей (1939, 1965, 1969 годов), где … «говорить о вероятности истинности высказываний не принято».

«Да. и само понятие вероятности, вобравшее в себя многовековой опыт употребления его, не дает повода считать, что традиционное представление о вероятности допускает понимание вероятности **как оценку истинности высказываний».**

Наконец-то обнаружилось то принципиальное непонимание ЛВИ «чистыми» математиками, придерживающихся многовекового опыта и широко известных курсов.

Сначала успокоим по части классического использования понятия вероятности при оценке **событий,** связанных с отказом технических изделий. Действительно, в середине XX века трудно еще было свыкнуться с возможностью количественной оценки безотказности. Глава 3 в [3] целиком посвящена «Проблеме исходных данных», а до этого вышли десятки книг и справочников на эту тему.

Теперь обратим внимание на слова ... **«высказывания, посредством которых сообщается о событиях».** Таким образом, высказывание **элемент x_i отказал** сообщает о реальном возможном событии, которое можно записать

$$Q_i(t) = P\{T_i<t\}=P\{x_i=0\}=P\{x_i'=1\}, \qquad (1)$$

где $Q_i(t)$ - вероятность отказа x_i элемента за время t,

Ti - случайное время безотказной работы элемента xi,

P - символ вероятности,

$x_i — 0$ - сообщение об отказе элемента xi,

$X_1'=1$ - отрицание истинности.

Следует подчеркнуть, что взаимные переходы от языка **высказываний** к языку **событий** и обратно совершаются таким образом, что каждому событию сопоставляется высказывание о его **наступлении,** а высказыванию сопоставляется событие, состоящее в том, что оно оказалось **истинным.**

Авторы [7], учитывая то, что событийная теория вероятностей и математическая логика (в случае исчисления высказываний) являются дистрибутивными структурами и следуя Колмогорову [8, с.36], дали такое определение **вероятностной функции** (ВФ)

$$P\{f(x_1, \ldots, x_n) = 1\}, \qquad (2)$$

где $f(x_1, \ldots, x_n\}$ - двоичная функция алгебры логики от п аргументов, которая сообщает о работоспособности сложной системы.

Таким образом, сначала инженеры научились количественно оценивать безотказность отдельных элементов с помощью вероятностей Qi (t), а затем нужно было «изобрести» средства формализации работоспособности (или отказа) структурно-сложной системы.

Для простых структур (последовательных, параллельных, древовидных) ничего изобретать было не нужно, но решать проблемы НЖБ только с помощью **формулы полной вероятности** и вербального перебора множества гипотез оказалось практически невозможным.

Будем считать, что, как в свое время «повезло» К. Э. Шеннону и М. А. Гаврилову с аппаратом алгебры логики для схем с мостиковыми соединениями так и нам [7] повезло с формализацией работоспособности структурно-сложных систем, обладающим свойством булевости.

Отвечая на первый упрек Я. Я. Голоты, можем сказать, что объединяя в ЛВИ полную определенность (при формализации задачи) с неопределенностью состояния (каждого элемента системы), это не отрицающие друг друга начала, а **удачно дополняющие компоненты,** обеспечивающие **прозрачность** расчетов, а не вычислительные вольности.

Отвечая на второй «промах», связанный с вероятностью истинности ФАЛ (2), которая применительно к произвольному высказыванию действительно не имеет смысла, но $f(x_1, ..., xn)$ - это не произвольное, а конкретное сообщение о событиях,

связанных с надежностью (безопасностью) каждого элемента системы.

Можно согласиться и с тем, что с **позиций традиционной теории вероятностей** формула (2) лишена смысла, но ЛВИ - это не общеизвестные курсы, а оригинальная отечественная теория, признанная в мире. Монография [7] в 1987 году была переведена на японский язык, а книга [1] издается в США.

В цитате Е. Д. Соложенцева [1] о ЛВИ как чисто «российском» изобретении указана и дата его возникновения, а именно начало 60-х годов XX столетия. Может быть настало время разобраться в этом более подробно.

Выдающийся представитель Российского флота вице-адмирал Макаров Степан Осипович впервые на страницах журнала "Морской сборник" в работе [9] дал определение нового понятия **живучести** судна, как способности судна продолжать бой, имея повреждения в различных боевых частях. На протяжении шестидесяти последующих лет проблемой живучести кораблей и судов занимались многие ученые и инженеры (академики А. Н. Крылов, Н. С. Соломенко, профессора И. Г. Бубнов, Л. А. Безнос и др.). В середине XX столетия очередь дошла и до электриков.

Боеспособность корабля находится в полной зависимости от успешной работы его электроэнергетической системы. При потере электроэнергии корабль лишается не только своих боевых качеств, но и способности вести успешную борьбу за живучесть самого корабля. На кафедре электроэнергетических систем кораблей (ЭСК) Военно-морской академии кораблестроения и вооружения им. А. Н. Крылова (ВМАКВ) передо мной была поставлена задача создания теоретических основ проектирования ЭСК и в том числе метода расчета ее живучести.

Случилось так, что к этому моменту я уже был знаком с двоичным исчислением, булевой алгеброй и разнообразными электрическими схемами. Знал работы В. И. Шестакова (1939) и М. А. Гаврилова (1950). Поэтому ничего удивительного для меня не было, когда в работе [10] условия работоспособности ЭСК я стал записывать с помощью алгебры логики, а вероятность уязвимости системы вычислять по формуле вероятности логической суммы совместных событий через вероятности логических произведений элементарных событий. Последние вычислялись как отношение поверхности поражения элемента S_A к общей поверхности поражения корабля Sk при допущении равномерного закона распределения поражающих воздействий (бомб, снарядов и др.).

Борьба с иностранщиной и кибернетикой в те годы не позволила мне в книге пользоваться знаками конъюнкции & и дизъюнкции V, заменяя их на русские союзы "И" и "ИЛИ". А сам метод был назван не логико-вероятностным, а методом **комбинаторики.**

И только через 20 лет в статье [11] этот метод и расчетный пример был повторен в полном соответствии с его сутью, т.е. ЛВИ.

В публикациях 1965, 1967, и 1969 годов [12,13,14] использование аппарата алгебры логики для исследования вопросов надежности я активно рекламировал ЛВМ, а статья [12] была специально написана по просьбе редакции, для облегчения понимания других статей этого журнала, изданного удвоенным тиражом. В этой статье я ссылался на работу [15], в которой, по моим данным, впервые было употреблено словосочетание **логико-вероятностный метод.** Кому именно принадлежит авторство этих трех слов сказать не могу, но поиск более ранних публикаций с таким названием метода пока не увенчался успехом.

В работе [13] на стр. 249 в § 24 написано: "Метод расчета надежности судовых электроэнергетических систем, при котором структура СЭС описывается средствами математической логики, а количественная оценка ее надежности производится с помощью теории вероятностей, будем называть **логико-вероятностным методом".**

Непосредственным толчком заняться поиском такого метода послужила " просьба заместителя главного конструктора по электроэнергетической системе проекта атомной подводной лодки 671 (1963) Губанова А. Н. Он обратился ко мне с предложением уменьшить число перемычек между бортами с двух до одной и оценить при этом величину снижения надежности всей системы. Когда я обнаружил свою неспособность строго математически оценить вклад перемычек в безотказность системы, пришлось сохранить обе перемычки и заняться выяснением этого феномена. Так появилось и определение **структурно-сложной системы (ССС),** под которой мы понимаем [3, с. 12] такие системы, которые при математическом описании не сводятся к последовательным, параллельным или древовидным структурам. ССС описываются сценариями сетевого типа с циклами и неустранимой повторяемостью аргументов при их формализации.

Впервые о **вероятности истинности** функции алгебры логики высказался Д. А. Поспелов [16, с. 306] в основной теореме вероятностной логики. В теореме 42 им сформулировано:

Вероятность истинности любой функции алгебры логики, зависящей от n аргументов, может быть подсчитана по следующей формуле:

$$P_{\varphi} = \sum_{1} P_{q1}$$

где сумма берется лишь по тем наборам аргументов, на которых данная функция обращается в единицу.

Развитие ЛВИ шло как по линии совершенствования культуры формализации ССС, так и по линии разработки специальных алгоритмов, позволяющих переходить от ФАЛ к ВФ без перехода к совершенной дизъюнктивной нормальной форме (СДНФ).

Аналогия между операциями **алгебры логики** и элементарными свойствами **вероятностей,** очевидная ряду математиков (Дж. Булю, П.С. Порецкому, С.Н. Бернштейну и др. [4, с. 800]), к 1956 году привела к двум принципиально разным подходам:

- **вероятностной логике** Дж. Фон Неймана [37],
- **логике вероятностей** Н. Руша [38]. В публикации [38] "Расширение формализации алгебры логики на вероятности"

указывается, как нужно изменить СДНФ, чтобы вместо **логических переменных** можно было подставить **вероятности их осуществления** и таким образом получить **вероятность осуществления сложного высказывания.**

Так в монографии [17, с. 267] впервые были строго обоснованы понятия **кратчайший путь успешного функционирования системы (КПУФ), минимальные сечения отказов системы (МСО), монотонная структура ФАЛ, функция работоспособности системы (ФРС).** Там же были представлены четыре алгоритма преобразования повторных ФАЛ: **разрезания, ортогонализации, табличный и схемно-логический.**

В третьем издании [18] монографии [17] на английском языке впервые были рассмотрены новые понятия ЛВИ: **булева разность** [18, с. 483], **вес** и **значимость** аргумента, а также один из способов математической формализации ФРС [18, с. 465].

Первый в стране официальный учебник по надежности, допущенный Министерством высшего и среднего образования СССР для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности "Электрооборудование судов", был издан в 1974 году [19]. В нем ЛВМ проиллюстрированы не только на примере сложных структур, но и на последовательно-параллельных структурах, что было вызвано необходимостью демонстрации широких возможностей метода, созданного первоначально для ССС. Кроме того в эти годы стали появляться работы, в которых на графиках структурно-логических схем (так называемые деревья отказов/событий) изображались знаки конъюнкции и дизъюнкции.

Незнание возможностей ЛВМ и самого метода приводит к тому, что до самого последнего времени [20] продолжаются попытки решать технические задачи на сложных структурах путем преобразования их в последовательно-параллельные структуры с помощью решения системы нелинейных алгебраических уравнений.

При использовании ЛВМ сама формализация задачи надежности ССС приводит к ФРС, в которой аргументы x_1 в КПУФ есть не что иное, как последовательное соединение, а сами пути $П_1$"соединены" параллельно. Трудности решения задач на сложных структурах с помощью ЛВМ перемещаются из области эквивалентирования ("звезда" - "треугольник") в область исчисления вероятностей повторных ФАЛ с абсолютной точностью, в принципе недостижимой при эквивалентировании.

Еще печальнее констатировать, что самая совершенная (по мнению авторов [21]) американская программа Relex до сих пор не способна решать задачи на сложных структурах.

Отвергая критику Я. Я. Голоты по поводу "ляпсуса" с ЛВМ, завершим феномен ЛВИ большой цитатой из статьи [6], с которой мы полностью согласны.

"… надо отдавать себе отчет, что никакие призывы соблюдать нормы научного мышления не изменяют положения дел на "логическом фронте". В российской науке ситуация может измениться в лучшую сторону только в том случае, если нормы строгого мышления, нормы логика станут нормой повседневного мышления, если логика превратится из науки для избранных в науку для большинства.

Это же может произойти в лишь в одном случае, если логика станет непременным элементом образования и школьного, и вузовского. Никому не приходит в голову спрашивать: зачем нужно в школе преподавать русский язык? Зачем надо обучать арифметике? Чтобы люди не мыслили абсурдно, надо, чтобы не возникало только вопроса: зачем нужна логика в системе образования?

Логика нужна не только для того, чтобы умело проектировать и эксплуатировать ЭВМ, логика - в первую очередь элемент общения".

Как видно из предыдущего материала первые двадцать лет (1962 - 1982) ЛВИ развивались так сказать «в глубину», сознательно сдерживаемые стремлениям учесть как можно больше **черт действительности** под флагом адекватности, понимаемой как наибольшее соответствие модели реальной системе.

Но адекватность, на наш взгляд, следует понимать и как наибольшее соответствие реальным возможностям обеспечить модель **исходными данными.** Интенсивные исследования проблемы исходных данных для оценки надежности уникальных изделий (мощных турбин, кузнечно-прессового оборудования большой мощности, сложных автоматических систем специального назначения и др.) или устройств, изготовляемых сравнительно небольшими сериями (генераторы, преобразователи, электродвигатели, насосы и др.) показали, что даже при жестком разделении их состояния только на работоспособное и отказ (1 и 0) оценка вероятностей $Q_i(t)$, $R_i(t)$ достигается тяжелым трудом, длительными статистическими наблюдениями и большими затратами. Альтернативой объективному подходу к оценке этих вероятностей становится **субъективно-идеалистическое** назначение их.

Многие появившиеся в эти годы модели и методы оценки надежности сложных систем (обобщенный структурный метод, топологический метод, логико-графический, марковский и др.) не были обеспечены объективными исходными данными (соответствующими интенсивностями отказов, восстановлений и переходов; безошибочностью и быстродействием операторов и др.), а посему **нечего было подставлять** в эти формулы и алгоритмы.

Возвращая внимание специалистов, исследующих проблемы надежности структурно-сложных систем, **«назад к Дж. Булю и детерминизму»** (максимальной определенности, жесткости высказываний и простоте), мы часто убеждались в их стремлении развивать эту науку «в ширину». Перефразируя Б. Пастернака об опыте больших поэтов, скажем:

> **«Простота** всего важнее людям,
> Но сложное понятней им.»

Может быть и не понятней, но уж приятней - это точно.

А. С. Кравец [22, с. 34] писал: «… в системах вероятностной логики принимаются все значения вероятности в интервале [0,1]. Эта характеристика истинности высказываний является более гибкой и диалектичной, чем жесткое разделение всех высказываний в классической логике на только истинные и только ложные. Мы согласны с утверждениями Г. И. Рузавина, что с содержательной точки зрения вероятностная логика представляет собой более адекватное отражение действительности, чем обычная классическая логика».

Спасибо хоть за то, что обычную двузначную логику называют еще **классической.**

Сдерживая активность в так называемом «развитии» самой классической логики (в направлении ее многозначности, непрерывозначности, нечеткости и др.) на изучении только **монотонных** ФАЛ, удалось доказать ряд теорем и свойств этих ФАЛ [3, с. 32]. Все конкретные результаты, формулы и однопараметрические вероятностные полиномы были получены вручную (в том числе и для знаменитой задачи № 35 [23]). Затем были разработаны алгоритмы 148, 149, 186 [24, 25, 26] и соответствующие программы для БЭСМ, тщательно проверенные на уже решенных «эталонных» задачах.

Кроме того, правильность решений проверялась профессорами Е. А. Архангельским и К. В. Недялковым путем полного перебора всех состояний, записанных в СДНФ, а в последнее время - и доктором физико-математических наук профессором Н. В. Ховановым путем чисто теоретико-вероятностного решения с помощью формулы полной вероятности и обозначений пересечений и объединений соответствующих множеств. До сих пор как-то и не было нужды в доказательствах отсутствия **«вычислительных вольностей»,** огорчающих логика Я. Я. Голоту [6], но может быть остались и другие сомневающиеся в **нашем объединении** полной определенности (ФАЛ) и неопределенности $Q_i(t)$.

После тщательной апробации ЛВИ на монотонных структурах, а также введения в 1976 году [18] операции **строгой дизъюнкции** (сложения по модулю два), которая связана с операциями конъюнкции и дизъюнкции формулой:

$$F(A)\ \Theta\ F(B) \leftrightarrow (A \wedge \neg B) \vee (\neg A \wedge B) \qquad (4)$$

где A, B - не пустые множества, высказывания;

F - знак операции над высказываниями, для которых истинностное значение F $(A_1 ..., A_n)$ полностью определяется истинностными значениями $A_1 ..., A_n$

Θ - знак суммы по модулю два;

$\leftrightarrow$ - знак эквиваленции, «тогда и только тогда, когда»;

$\neg$- знак отрицания;

^ - знак конъюнкции;

v - знак дизъюнкции; получила полное гражданство операция **отрицания.**

Современный разговор о формуле (4) содержится в статье [27] и книге [28, с. 42]. В 1988 году в книге [29] А. С. Можаев объявил о рождении **нового общего логико-вероятностного метода** (ОЛВМ), в котором кроме операций конъюнкции и дизъюнкции участвует и отрицание, т. е. функционально-полный набор операций алгебры логики. Это позволило автору выйти «из плена» монотонных структур. Но главное достоинство работы [29] состоит, по нашему мнению, не в учете вредного влияния отдельных элементов на надежность системы, а в разработке **универсального графоаналитического метода** (УГМ), алгоритма и программного модуля **"LOG"** построения монотонных и немонотонных логических функций работоспособности систем, доступно изложенного (еще раз через 15 лет) в работе [30, с. 101-110]. Строго формализованное описание структур и аналитическое представление сложных событий автор осуществил с помощью так названной **схемы функциональной целостности (СФЦ),** а формализованное представление общих логических условий исследуемого режима работы системы осуществил путем построения **логического критерия функционирования (ЛКФ).**

ФРС определяется путем отыскания решения **системы логических уравнений,** соответствующего СФЦ и ЛКФ исследуемой системы. УГМ автором был разработан в 1983 году, а в 1985 году полностью автоматизирован [31].

И только через 20 лет наметился некоторый спрос на знания, созданные в Военно-морской академии группой ученых (профессоры Можаев А. С., Парфенов Ю. М., Смирнов А. С. и др.) поверивших в могущество дискретной математики (алгебры логики, комбинаторики, алгебры множеств и др.) и электронно-вычислительной техники (ЭЦВМ, БЭСМ, ЕС ЭВМ, ПЭВМ).

На основе теории ЛВИ (ЛВМ, ОЛВМ) удалось автоматизировать самые сложные и громоздкие процессы построения различных математических моделей систем **большой размерности и высокой структурной сложности** [23, 29, **30 - 34].**

Рынок знаний стоит на **репутации и доверии.** Экономика знаний нуждается в измерениях. В США одна из самых распространенных единиц - число патентов, а также количество людей, потребляющих знания. Знания - специфический продукт, который нельзя продавать «на пробу». В пленарном докладе [35, с. 24 - 29] я писал:

«... Возвращаясь к понятию **научная школа** как явлению, связанному с формированием **новой идеи,** нового видения природы, связанное с разработкой нового, эффективного метода познания и построения мастерской передачи знаний; следует признать, что главной целью школы МА БР являлось стремление к получению **нового знания.** Занятие **фундаментальной наукой** - это чрезвычайно тяжелый труд, требующий исключительно высокого нервного и интеллектуального напряжения, особых способностей к абстрагированию и восприятию окружающего мира.

Утрата традиций в фундаментальных науках сделает страну практически беззащитной перед лицом катастроф, экологических бедствий и несомненно понизит уровень ее обороноспособности.

Зарубежная научная общественность, понимая, что наша фундаментальная наука принадлежит всему человечеству, пользуется ее плодами и оперативно превращает ее в **лицензированный продукт,** обладающий потребительской стоимостью. Можно только сожалеть, что отечественные программные комплексы, построенные в те же годы на новых знаниях, но проигрывающие «по сумме баллов» программе Relex [21], до сих пор не стали таким продуктом.

Уже завершив написание статьи, инициированной критикой кандидата ф.м.н. Я. Я. Голоты работы [7] по причине **«объединения отрицающих друг друга начал»,** автору стала известна книга [36] выдающихся американских математиков Роланда Грэхема, Дональда Кнута и Орена Паташника. Оказывается и в США еще в 1920 году обнаружилось, что математика, которая требовалась для досконального обоснованного истолкования компьютерных программ, совершенно отличалась от классической абстрактной математики. Абстрактная математика стала вырождаться и терять связь с действительностью. Авторы [36] пишут: «Погоня за обобщениями оказалась столь захватывающей, что целое поколение математиков потеряло способность находить прелесть в частностях, в том числе получать удовольствие от решения численных задач или оценить по достоинству роль математических методов».

Под названием **конкретной математики** авторы понимают смесь **КОН**тинуальной и дис**КРЕТНОЙ** математики, упорядоченный набор **инструментов,** позволяющих оперировать с дискретными объектами. Книга [36] представляет собой введение в математику, которая служит основой **информатики и анализа алгоритмов.** В аннотации сообщается, что она раскрывает тайну одного **феномена американского образования -** как превращать малограмотных школьников в прекрасных математиков.

Не могу утверждать, что феномен ЛВИ превращает рядовых инженеров в прекрасных математиков, но имею основание говорить, что специалисты, овладевшие ЛВМ, становятся на голову выше в практических вопросах НЖБ по сравнению с кем угодно (даже с кандидатами и докторами физ.мат.наук, специалистами фирмы Relex [21] и выпускниками технических ВУЗов страны).

Приложение 1.

Учитывая важное научно-философское значение проблемы **объединения** дискретной и непрерывной математики, полезно более подробно познакомить читателей с мыслями великого русского математика и логика Андрея Николаевича Колмогорова на эту тему. В статье от редакции [39] и перед своей статьей «Об аналитических методах в теории вероятностей» [39, с. 5 … 41], он в 1938 году писал:

«Теория вероятностей переживает в настоящее время период бурного развития и переустройства. Работы Эйнштейна и Смолуховского по теории броуновского движения, ряда американских авторов по «проблемам скученности» в технической статистике, Фишера по математической теории естественного отбора и многие другие исследования, возникшие на почве **специальных наук,** лишь с трудом укладываются в рамки **классических схем** теории вероятностей. Из желания привести в систему разросшийся материал, подлежащий изучению теорией вероятностей, возникло то направление, к которому принадлежат статьи предлагаемого сейчас читателю цикла. В них делается попытка для произвольной «системы», состояние которой в каждый момент может принадлежать к тому или иному очерченному заранее множеству «возможных» состояний, наметить общие приемы изучения «случайного» процесса изменения системы.

Навыкам **классической теории вероятностей** больше соответствует рассмотрение состояний изучаемой системы только в моменты времени, образующие некоторую **дискретную** последовательность, т. е. сведение случайного процесса изменения системы к **дискретной** последовательности переходов из одного состояния в другое, или, на языке классической теории вероятностей, последовательности отдельных «испытаний». **Дискретные** случайные переходы из одного состояния в другое, происходящие, однако, в любой момент времени с **непрерывным во времени** распределением вероятностей, образуют уже естественно первый простейший тип новых, **непрерывных по времени,** схем случайных процессов. Такова, например, вероятностная схема радиоактивного распада атомов; в пределах этого рода схем умещается ряд исследований по загрузке телеграфных и телефонных сетей и т.п.

Еще более существенные изменения претерпевает классическая теория в случае, когда множество возможных состояний является непрерывным многообразием и самый процесс случайного изменения принимается **непрерывным** (без внезапных скачков). Этого рода схемы появились в физике впервые в уже упоминавшихся работах Эйнштейна и Смолуховского. <…> Вообще при изучении явлений природы как чисто **непрерывные,** так и чисто **дискретные** схемы являются некоторой идеализацией реальных процессов, идеализацией в конечном смысле односторонней. В теории вероятностей после создания и подробного изучения непрерывных схем стало ясно, что обширная классическая область **предельных теорем** теории вероятностей может рассматриваться как **связующее звено** между **дискретной и непрерывной** теориями.

С этой точки зрения содержание предельных теорем теории вероятностей (теоремы Ляпунова и различные ее обобщения и т.д.) состоит в основном в выяснении того, как закономерности **дискретных** случайных процессов при увеличении числа отдельных скачков и уменьшении размеров каждого из них переходят в закономерности **непрерывных** случайных процессов».

Все кавычки в цитате принадлежат А. Н. Колмогорову, а выделения жирным шрифтом - мне. Еще раз убеждаюсь в полезности чтения «старых» трудов, которые и через 66 лет позволяют по-новому взглянуть и на **односторонность** всяких идеализации, и на **«вычислительные вольности»,** огорчившие логика [6].

Приложение 2.

Разобравшись с проблемой связи дискретной и непрерывной математики, хорошо известной (в трактовке А. Н. Колмогорова) чистым математикам и мало интересной инженерам и практикам, казалось бы зачем я так много усилий и публикаций трачу на поиск какой-то истины. А дело в том, что проблема **вероятностной логики и логики вероятностей** совершенно обойдена полным молчанием в «Большом энциклопедическом словаре» [3-е изд., М.: Бол. Росс, энцикл., 1998] и только на философском уровне можно обнаружить слова **вероятностная логика** в трудах Пятницына Б. Н. [«Философская энциклопедия», т.1, 1960] и Рузавина Е. И. [Сб. «Проблемы логики научного познания», М.: 1964].

Углубившись в труды Дж. фон Неймана 1937 года [Quantum logics (strict and probability)], что в переводе означает: «Сумма логик (точная и вероятностная)», можно понять, что **вероятностная логика** является обобщением **точной логики.** В конце сороковых годов Дж. фон Нейман начал создавать теорию автоматов. Он хотел построить систематическую теорию, которая была бы **логико-математической** по форме и позволяла бы понять как естественные системы **(естественные автоматы),** так и аналоговые и цифровые вычислительные машины **(искусственные автоматы).** Понимая, что эти автоматы должны учитывать не идеализированные (абсолютно надежные) элементы, а и их ненадежность, он предложил использовать вместо **детерминированной логики - вероятностную логику,** позволяющую, по его мнению, учесть неисправность компонент (нейронов, элементов ЭВМ и др.). На 71 страницах текста работы Дж. фон Неймана [37] отсутствуют конкретные указания как практически следует использовать вероятностную логику с целью «синтеза надежных организмов из ненадежных компонент». В связи с этим полезно привести слова канадского профессора Г. Г. Глинского, который в сентябре 1962 года на Международном симпозиуме по теории релейных устройств и конечных автоматов по поводу статьи [37] сказал:

«Есть одна опасность в обращении с классическими работами. Кажется, что на них все ссылаются, но редко кто их действительно читает. В случае статьи фон Неймана эти недоразумения еще более усугубляются его трудной манерой изложения».

Приведем некоторые фрагменты изложения из [37, с. 125-133].

- «Вся логическая схема нервной системы в некоторых ее важных чертах качественно и притом в значительной мере отличается от наших обычных концепций в математике и математической логике. Серии импульсов, которые передают по нервным волокнам «количественную» информацию, характеризуют, по-видимому, это количество не при помощи цифрового кодирования выражения (наподобие двоичного или десятичного числа, представленного двоичным кодом или кодом Морзе), а скорее «моделированием», используя плотность импульсов или что-то подобное».
- «Доступные нам сведения, хотя они скудны и не точны, указывают скорее на то, что нервная система человека использует иные принципы и процессы. Так, цепочки импульсов, по-видимому, передают информацию, используя приемы моделирования (которое, однако, происходит при помощи импульсов, т.е. здесь мы имеем дело со смешанной системой, которая частично цифровая, частично моделирующая)».
- «В нашей исходной схеме R каждая линия передает сообщение «да» (т.е. возбуждение) или «нет» (т.е. отсутствие возбуждения), что интерпретируется, соответственно, как 1 и 0. Подобным же образом в окончательной (многократной) схеме $R^{(N)}$ (которая получена из R) каждый пучок передает «да»=1 (т.е. преимущественно возбуждение) или «нет»=0 (т.е. преимущественно отсутствие возбуждения). Для пучка, таким образом, допускается только два средних уровня возбуждения ξ, при которых $\xi \approx 1$ или $\xi \approx 0$. При большом N средний уровень возбуждения ξ, может теперь рассматриваться как **приблизительно непрерывная переменная** (в интервале $0 < \xi < 1$); при этом чем больше N, тем лучше это приближение. Поэтому имеет смысл попытаться разработать систему, в которой ξ трактуется как непрерывная величина в $0 < \xi < 1$. Это означает некоторый процесс моделирования (или, лучше сказать, смешанный процесс, частично цифровой, частично моделирующий в том смысле, в каком это было сказано выше). Такую систему действительно можно разработать, если удастся найти подходящие алгебраические операции, которые в ней определены, и если удастся установить устойчивость системы в математическом смысле (т.е. достаточную точность) и в логическом смысле (т.е. обеспечение регулирования ошибок)».
- «Таким образом, наша моделирующая система может быть использована для построения алгебры со следующими основными операциями:

α

$\alpha\,\xi+(1-\alpha)\eta$ для любой постоянной α, $0 < \alpha < 1$, (31)

$1-\xi\,\eta$

рассматриваемыми как функции от ξ , η. Это приводит к системе, в которой можно оперировать с функциями $f(\xi_1, \xi_2, \dots \xi_k)$. Для k переменных $\xi_1, \xi_2, \dots \xi_k$ полученными из функции (31). Это те функции, которые могут быть получены в результате некоторой последовательности следующих действий: (A), (B), (C). Рассмотренная моделирующая система, т.е. система (31), обеспечивает для чисел ξ, при $0 < \xi < 1$ (т.е. для уровней возбуждения) полную свободу действий алгебры и анализа. В свете изложенного представляется, что эта система моделирования имеет явное преимущество перед цифровой системой. К сожалению, **трудность сохранения уровней правильности** в большой мере уравновешивает эти преимущества. Никогда нельзя ожидать, что правильность превзойдет 1/N. Существует, другими словами, **неустранимый уровень шума,** величина которого имеет порядок 1/N, т.е. для значений N=20000 в лучшем случае 10».

Учитывая интересы Неймана в направлении исследования именно нервной системы биологического мира, где N число линий в пучке, и для обеспечения хорошей надежности передачи возбуждения требуется, по крайней мере, 25000 линий (для гарантии 97% передачи положительного сообщения), отметим следующее:

- проблема надежности технических систем (и даже структурно сложных) не оперирует с такими цифрами N;
- следует согласиться с профессором Г. Г. Глинским об опасности завораживающего влияния даже самого названия работы [37] в те годы, когда теория надежности технических систем только зарождалась;
- а трудности «манеры изложения Дж. фон Неймана» могу объяснить как невероятной трудностью самой проблемы в его постановке, так и осторожностью в высказываниях крупнейшего ученого XX столетия.

Нам не известны научные интересы французского математика Rouche N. [38], работа которого прошла незамеченной для специалистов по надежности технических систем в 1956 году и позднее, хотя ее можно с определенным основанием считать именно началом **логико-вероятностного исчисления.**

Приложение 3.

Рассмотрев взгляды А. Н. Колмогорова [39] и Дж. фон Неймана [37] на проблему связи дискретной и непрерывной математики и логики, сформулируем еще раз свое мнение по поводу аппарата научного исследования проблем НЖБ [2]. В прямой постановке А. Н. Колмогоров не интересовался этими проблемами, а Дж. фон Нейман только обозначил одно из направлений (вероятностную логику) проблемы надежности нервной системы биологического мира. Таким образом, можно констатировать, что в 1956 году в мире отсутствовал конкретный аппарат исследования проблем НЖБ структурно-сложных технических систем.

История возникновения, становления и развития **логико-вероятностного исчисления,** как аппарата исследования надежности и безопасности ССС, пунктирно обозначена в данной статье, а более подробно в работе [4].

Повышенный интерес к понятию **риска** в наши дни заставляет по-новому взглянуть на риск как атрибут **неопределенности.**

Существует два типа неопределенности: первого (неизмеримая) и второго рода (измеримая).

Неопределенность первого рода имеет место, когда поведение изучаемой системы известно исследователю с точностью до **фиксированного множества** всех возможных вариантов, а неопределенность второго рода характеризует ситуацию, когда исследователь может адекватно описать поведение системы при помощи **теоретико-вероятностной схемы,** предусматривающей числовую оценку осуществления различных вариантов поведения системы.

Риск - RJ в условиях первого рода неопределенности - **это мера несоответствия** между результатами ожидаемыми и фактическими, которые оцениваются через их полезность, вредность, эффективность.

Риск - R_2 в условиях неопределенности второго рода - **это мера опасности,** которая оценивается вероятностью попадания системы в опасное состояние.

Приложение 4.

Хочу поблагодарить Я.Я. Голоту не только за так называемые «противоречия», лежащие в основе логико-вероятностной теории, но и за ссылку на учебник Валерия Ивановича Гливенко [Курс теории вероятностей. – М.: ГОНТИ, 1939], в котором, якобы, «нет повода считать, что традиционные представления о вероятности допускается **понимание вероятности, как оценку истинности высказываний**».

В добавление I, названном Гливенко В.И. «События как элементы структуры и события как множества» кроме аксиоматического описания им понятия **события** (из 13 предложений), утверждается :… «говорить о вероятности **события** А или о вероятности **истинности названного предложения**, очевидно, одно и то же».

Нормированная булевская алгебра измеримых подмножеств сегмента [0,1] послужила образцом построения этой аксиоматики вероятностей А.Н. Колмогорова (1929), которая наиболее известна сейчас. А.Н. Колмогоров предложил рассматривать вероятность, как одну из возможных мер. При этом отпадает необходимость в формулировке специальной аксиоматики не только для понятия **события**, но, строго говоря, и для самого понятия вероятности: мы можем пользоваться готовым понятием **множества** и готовой аксиоматикой **меры**.

А еще ранее (1917) С.Н. Бернштейн предложил рассматривать сами вероятности, как вероятности **истинности предложений**. Булева алгебра – это алгебраическая система, которая в зависимости от обстоятельств может быть интерпретирована либо как система **событий**, либо как система **высказываний**. Аксиомы булевой алгебры выражают то общее, что роднит «**события**» и «**высказывания**».

Приложение 5.

Отмечая в Приложении 1 полезность чтения «старых» трудов, которые и через 66 лет позволяют по-новому взглянуть на логико-вероятностное исчисление, а также в Приложении 4 обнаружить (через 65 лет) полное сходство с мнениями В.И. Гливенко о родстве «события» и «высказывания», 12 февраля с.г. получил реакцию д.т.н., проф. Москатова Генриха Карловича на эту мою статью, в которой также содержатся любопытные материалы. Г.К. Москатов мой коллега и друг не так известен, как А.Н. Колмогоров, В.И. Гливенко и Дж. Фон Нейман, но тем не менее он был переводчиком знаменитой книги С. Колдуэлла «Логический синтез релейных устройств», изданной в Москве в 1962 году [Switching circuits and logical design, WILEY, NEW YORK, 1958].

Считаю актуальными и в наши дни слова Сэмюеля Х. Колдуэлла о том, что «... несмотря на быстро растущую математическую грамотность инженеров, задача хорошей «связи» между математиками и инженерами все еще остается нерешенной. Большинство инженеров незнакомо с математической логикой и ее символикой. Некоторые из применяемых символов напомнят им, скорее, клеймо, которым пользуются на ранчо на Западе США, чем математические символы < ... >. Прогресс в этой области будет зависеть от наших усилий и способности передавать современные знания в этой области инженерам-практикам, какой бы математической подготовкой и опытом они не обладали».

Так вот еще до выхода книги С. Колдуэлла в свет Генрих Карлович в I960 году опубликовал две работы на эту тему: 1). «Анализ структурной надежности релейных систем» [Радиоэлектроника, №8-9, С. 42...47] и 2). «Оптимизация структурной надежности релейных систем» [Военная радиоэлектроника, №21, С. 3...8]. С первой работой Москатов Г.К. познакомил меня в 1984 году, а со второй - 12 февраля 2005 года.

Внимательно перечитывая их, я убедился, что Генрих Карлович: - был первым автором понятия **структурной надежности,** под которой подразумевается «...способность структуры релейного устройства воспроизводить требуемые булевые функции с заданной вероятностью ошибки ф>, - был как и Нейман, приверженцем **вероятностной логики,** а не логико-вероятностного исчисления.

Особенно четко это прослеживается во второй его статье, где он критикует Н. Руша [381 именно за то, что «... он ограничивает вероятность истинности булевой функции лишь значениями вероятности достоверного и невозможного события». Г.К. Москатов указывает на это, как **ошибочное замечание** Н. Руша [38], а я в конце Приложения 2 пишу, что именно работу Н. Руша [38] можно с определенным основанием считать началом **логико-вероятностного исчисления.**

Там же я отмечал, что эта публикация на французском языке прошла незамеченной для специалистов по надежности технических систем в 1956 году и позднее. Теперь обнаружил (почти через 50 лет), что один из специалистов того времени, а именно Г.К. Москатов, знал эту работу еще в 1957 году и критиковал ее, а на мои просьбы помочь в поисках прародителей ЛВИ, очевидно не считал его таковым.

ЛИТЕРАТУРА

1. Соложенцев Е.Д. Сценарное логико-вероятностное управление риском в бизнесе и технике. // Издательский дом «Бизнес-пресса», Санкт-Петербург, 2004, 216с.

2. Рябинин И.А. Логико-вероятностное исчисление как аппарат исследования надежности и безопасности структурно-сложных систем. // АиТ, «Наука», М, 2003, № 7, с. 178-186.

3. Рябинин И.А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем. // СПб, «Политехника», 2000, 248 с.

4. Рябинин И.А. Ленинградская научная школа логико-вероятностных методов исследования надежности и безопасности структурно-сложных систем. // Наука Санкт-Петербурга и морская мощь России, 2002, т. 2, с. 797 -811.

5. Ryabinin LA. Logical-Probabilistic Methods and Their Possibilities. // Second International Conference on Mathematical Methods in Reliability, Bordeaux, France, July 4-7, 2000, ABSTRACTS BOOK, Volume 2, pp. 920 - 922.

6. Голота Я.Я. О двух «вычислительных вольностях», огорчающих логика. // http://www.inftech.webservis.ru/it/conference/scm/2000/session4/golota2.htm .

7. Рябинин И.А., Черкесов С.Н. Логико-вероятностные методы исследования надежности структурно-сложных систем. // М., Радио и связь, 1981 - 264 с.

8. Колмогоров А.Н. Основные понятия теории вероятностей // «Наука», МД974, 118с.

9. Макаров С.О. Разбор элементов, составляющих боевую силу судов. // Морской сборник, 1894, № 6, с. 1-106.

10. Рябинин И. А. Теоретические основы проектирования электроэнергетических систем корабля // Л, ВМА, 1964, с. 13, 218-245.

11. Волик Б.Г. , Рябинин И.А. Эффективность, надежность и живучесть управляющих систем // Автоматика и Телемеханика, № 12, 1984, с. 151-160.

12. Рябинин И.А. Об использовании аппарата алгебры логики для исследования вопросов надежности // Судовая электротехника и связь, № 28, 1965, с. 30-35.

13. Рябинин И. А. Основы теории и расчета надежности судовых электроэнергетических систем. // Л, Судостроение, 1967, 362 с.

14. Рябинин И.А. Аналитические логико-вероятностные методы расчета надежности судовых электроэнергетических систем. // Л, Судостроение, Вып. 133, 1969, с. 4-20.

15. Кондратов В.А., Макаров С.В., Осипов В.А., Филатов А.В. Логико-вероятностный метод расчета надежности судовых энергетических установок. // «Вычислительные системы», Сб. трудов ИМ СО АН СССР, Вып. 13, Новосибирск, 1964.

16. Поспелов Д.А. Логические методы анализа и синтеза схем. // Изд-во «Энергия», М-Л, 1964, 320 с.

17. Рябинин И.А. Основы теории и расчета надежности судовых электроэнергетических систем. // Л, Судостроение, 1971, Издание второе, 456 с.

18. Ryabinin LA. Reliability of Engineering Systems. Principles and Analysis. // M., Mir, 1976,532p.

19. Рябинин И.А., Киреев Ю.Н. Надежность судовых электроэнергетических систем и судового электрооборудования. // Л, Судостроение, 1974, 264 с.

20. Ковалев А.П., Спиваковский А.В. О преобразовании «треугольник-звезда» в расчетах надежности сложных по структуре схем, элементы которых могут находиться в трех состояниях. // Электричество, № 10, 1998, с. 70-74.

21. Викторова В.С., Кунтшер X., Петрухин Б.П., Степанянц А.С. Relex - программа анализа надежности, безопасности, рисков.// М: Надежность, № 4 (7), 2003, с.42-64.

22. Кравец А.С. Природа вероятности. (Философские аспекты). М, Мысль, 1976, 173с.

23. Рябинин И.А. Задача № 35 и история ее исследований // Морской Вестник, №4(8), 2003, с. 48-51.

24. Рябинин И.А., Парфенов Ю.М., Юрлов Ю.Е. Процедура получения функции работоспособности сложной технической системы путем построения деревьев орграфа. Алгоритм № 148 // В кн. Сборник алгоритмов и программ, Вып. 7, Л. : ВМА, 1979.

25. Рябинин И.А., Борисов С.С., Новиков Э.П., Парфенов Ю.М. Процедура ' расчета надежности структурно-сложных технических систем логико-вероятностным методом с учетом энергетических характеристик элементов. Алгоритм № 149. // В кн. Сборник алгоритмов и программ, Вып. 7, Л. : ВМА, 1979.

26. Рябинин И.А., Грек Б.В., Борисов С.С. Поиск минимальных сечений отказов структурно-сложных технических систем. Алгоритм № 186. // В кн. Сборник алгоритмов и программ, Вып. 8, Л. : ВМА, 1982.

27. Рябинин И.А. Наука как генератор нового объективного знания. // Системы управления и обработки информации: Научн.-техн. сб. / ФНПЦ «НПО «Аврора», СПб., 2003, Вып. 5, с. 84-94.

28. Колмогоров А.Н., Драгалин А.Г. Введение в математическую логику. // М.: Изд-во Моск. ун-та, 1982, 120 с.

29. Можаев А.С. Общий логико-вероятностный метод анализа надежности сложных систем. // Л.: ВМА, 1988, 67 с.

30. Можаев А.С. Универсальный графоаналитический метод, алгоритм и программный модуль построения монотонных и немонотонных логических функций работоспособности систем. // Труды третьей Международной научной школы «Моделирование и Анализ Безопасности и Риска (МА БР - 2003)», август 20-23, 2003, СПб, 517с.

31. Можаев А.С. Программный комплекс автоматизированного логико-вероятностного моделирования систем на ЕС ЭВМ. // Приложение к кандидатской диссертации. Л.: ВМА, 1983 - 1985.

32. Можаев А.С., Гладкова И.А. Библиотека программных модулей автоматического построения монотонных и немонотонных логических функций работоспособности систем и многочленов вероятностных функций (ЛОГ & ВФ). // Свидетельство об официальной регистрации № 2003 611100. М.: РОСПАТЕНТ РФ, 2003.

33. Программный комплекс автоматизированного структурно-логического моделирования и расчета надежности и безопасности АСУТП на стадии

проектирования (ПК АСМ СЗМА). // Техническая документация. СПб.: ОАО «СПИК СЗМА», 2003. Интернет-сайт: www.szma.com. Свидетельство об официальной регистрации № 2003 611101. М.: РОСПАТЕНТ РФ, 2003.

34. Можаев А.С. Программные средства автоматизированного моделирования и оценки надежности и безопасности АСУТП на стадии проектирования. // Электронный научно-популярный журнал «Промышленная безопасность труда», № 6, 2003, www.alf-center.com

35. Рябинин И.А. Научная Школа «Моделирование и Анализ Безопасности и Риска в Сложных Системах» и ее смысл. // Труды четвертой Международной научной школы МА БР 2004, июнь 22-25, 2004, 650 с.

36. Грэхем Р., Кнут Д., Паташник О. Конкретная математика. Основание информатики // М., «Мир», 1998, 703 с.

37. Нейман Дж. Вероятностная логика и синтез надежных организмов из ненадежных компонент.// Сб. Автоматы, ИЛ, М., 1956, с. 68-139.

38. Rouche N. Extension aux probabilities du formalisme de falgebre logique. (Руш "Расширение формализма-алгебры логики на вероятности") Revue HF, 1956, 3 №5, 179-182 (франц.).

39. Колмогоров А.Н. От редакции // Успехи математических наук, вып. V, М-Л, 1938, с. 283.

Благодарности

Эта статья является результатом информационной помощи четырех человек, которых я просто обязан искренне поблагодарить.

1. Татьяну Игоревну **Мигай** - дочь, которая через Интернет обнаружила доклад Я.Я.Голоты [6].

2. Николая Васильевича **Хованова** - доктора физико-математических наук, который проявил большой интерес к моим работам и через свою уникальную картотеку обнаружил Н. Руша [38].

3. Евгения Дмитриевича **Соложенцева** - доктора технических наук, подарившего мне на день рождения свою статью «Вероятностная логика фон Неймана и логико-вероятностное исчисление И.А. Рябинина».

4. Василия Владимировича **Карасева-** - кандидата технических наук, оперативно и грамотно набравшего весь текст статьи и разместившего материалы на Интернет сайте: http://expert-info.org/risks/mainrus.html