СЧЁТНЫЙ ПРИБОР ИОФЕ – КАК И ПОЧЕМУ ОН РАБОТАЛ

Дмитрий Михайлович Златопольский
Музей истории вычислительной техники школы № 1530 «Школа Ломоносова»,
Москва, Российская Федерация, zlatonew@gmail.com

Аннотация – **В статье впервые приводится популярное математическое обоснование устройства и работы так называемых «брусков Иофе», созданных в России в 1881 г. Гиршем Иофе, разъяснения к использованию этого счётного прибора, а также ранее неизвестная информация о приборе и его изобретателе. Приведенное обоснование позволило автору впервые провести реконструкцию прибора, которая представлена в статье.**

Ключевые слова – **история российской счётной техники, вычислительный прибор, прибор для умножения, Гирш Иофе, полная таблица Слонимского.**

I. Введение

В истории вычислительной техники фамилия Иофе традиционно связывается с так называемыми «брусками Иофе» – счётным прибором, с помощью которого можно было достаточно быстро получать произведения многозначного числа сразу на все множители 2, 3, …, 9.

Единственное описание прибора в дореволюционной русской литературе представлено в книге [1]. Её автор, известный популяризатор науки Владимир Георгиевич фон Бооль (1836–1899), пишет, что Иофе изобрёл свой прибор в 1881 году и назвал его «арифмометром». Он также отмечает, что на Всероссийской выставке 1882 года[1] прибор был отмечен почётным дипломом.

На основе работы [1] авторы книг [2-3] описали устройство и работу брусков Иофе современным русским языком, добавив некоторые теоретические детали.

Вот что говорится о брусках Иофе в книге [2]: «Прибор Иофе состоял из ящика с десятью отделениями, пронумерованными цифрами 0, 1, 2, ..., 9. В каждом отделении помещалось семь четырехгранных брусков, обозначенных с четырех сторон одной из цифр: 0, 1, 2 и т. д., а ниже цифрами I, II и т. д. и буквами A, B, C, D соответственно на каждой стороне. Затем вслед за этими обозначениями располагались столбцы цифр из таблицы Слонимского, по одному столбцу на каждой грани (на 70 четырехгранных брусках как раз помещается 280 столбцов, составляющих полную таблицу Слонимского). Еще ниже – римские цифры и те же буквы A, B, C и D. Римские цифры и буквы служили для указания порядка, в котором следовало располагать бруски, чтобы получить произведения данного числа на однозначные множители. Рассмотрим пример умножения числа 325.

n	0	3	2	5
	II B	I B	I C	I A
$n\cdot 2$	0	6	5	0
$n\cdot 3$	0	9	7	5
$n\cdot 4$	1	3	0	0
$n\cdot 5$	1	6	2	5
$n\cdot 6$	1	9	5	0
$n\cdot 7$	2	2	7	5
$n\cdot 8$	2	6	0	0
$n\cdot 9$	2	9	2	5
	I A	II B	I B	I C

Рис. 1. Пример умножения [2]

[1] Награды по Всероссийской промышленно-художественной выставке 1882 года в Москве. М., 1882. С. 525.

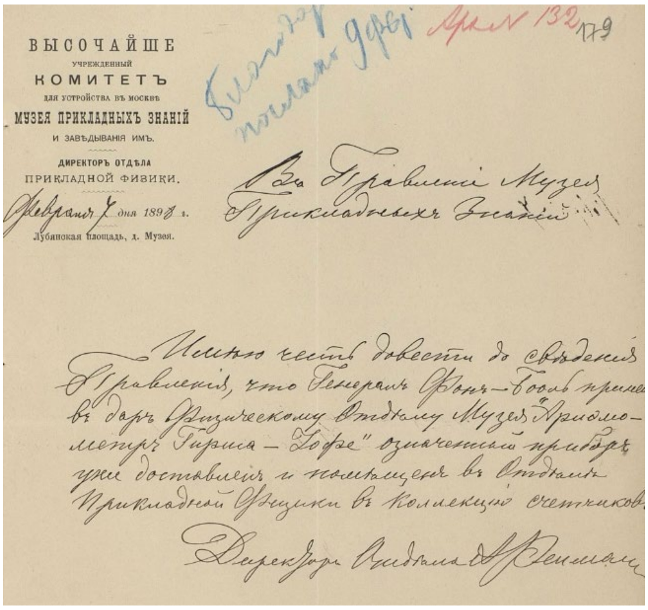
Для набора кратных взято четыре бруска с цифрами 0, 3, 2, 5. Сначала берется брусок с цифрой 5 (по числу единиц), с римской цифрой I и буквой A. Внизу бруска находятся знаки 1[2] и C, поэтому для цифры десятков из отделения 2 (по числу десятков) взят тот из семи брусков, который имеет те же знаки 1[3] и C, но сверху. Внизу мы видим знаки 1 и B. Для сотен берется тот из брусков отделения 3, который сверху имеет те же знаки: 1[4] и B. Заметим, что внизу его – знаки 2[5] и B, поэтому из отделения 0 (это число тысяч) взят тот из брусков, который вверху имеет эти же знаки 2[6] и B. Этот порядок подбора брусков дает произведение числа 325 на 1, 2, …, 9».

Добавим, что до этого авторы книги [2] описывают другой вычислительный прибор, разработанный Зиновием Яковлевичем Слонимским в 40-х годах XIX века. Указывается, что теоретической основой прибора является теорема, доказанная изобретателем («теорема Слонимского»), которую он изложил в работе [4]. При описании прибора упоминается, что в нём используется таблица из 280 столбцов и даётся некоторое, достаточно сложное, обоснование её использования в приборе. В заключение авторы пишут, что идеи Слонимского имели «связь со многими изобретениями» и приводят в качестве примера бруски Иофе.

В книге [3] приводится такой текст о брусках Иофе: «Принцип работы с ними основан на теореме Слонимского. Прибор Иофе состоял из 70 четырехгранных брусков. Это позволило разместить на 280 гранях 280 столбцов таблицы Слонимского. Каждый брусок и каждый столбец были помечены, для чего использовались арабские и римские цифры и буквы латинского алфавита. Латинские буквы и римские цифры служили для указания порядка, в котором нужно было размещать бруски, чтобы получить произведение множимого на одноразрядный множитель».

Конечно, такое описание прибора вызывало вопросы у любителей истории вычислительной техники в части того, как на нём проводились расчёты и почему результат был верным. Как выглядела «таблица Слонимского»? Какие числа были представлены на брусках? Что означают римские цифры и латинские буквы на них?

Ответы на эти вопросы мог бы дать хотя бы один из сохранившихся экземпляров прибора. К сожалению, информации о таком экземпляре нет. Даже прибор, который В.Г. фон Бооль подарил Политехническому музею (тогда – Музею прикладных знаний, см. ниже письмо от 4 февраля 1898 года директора отдела прикладной физики музея А. Репмана), увы, не сохранился [5].


ВЫСОЧАЙШЕ
учрежденный
КОМИТЕТЪ
для устройства въ Москвѣ
МУЗЕЯ ПРИКЛАДНЫХЪ ЗНАНІЙ
и завѣдыванія имъ.
ДИРЕКТОРЪ ОТДѢЛА
ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ.
Февраля 7 дня 1898 г.
Лубянская площадь, д. Музея.

Арх № 132 179

Въ Правленіе Музея Прикладныхъ Знаній

Имѣю честь довести до свѣдѣнія Правленія, что Генералъ Фонъ-Бооль принесъ въ даръ Физическому Отдѣлу Музея Аритмометръ Гирша – Іофе" означенный приборъ уже доставленъ и помѣщенъ въ Отдѣлѣ Прикладной Физики въ коллекцію счетчиковъ.

Директоръ Отдѣла А. Репманъ

Рис. 2. Письмо о дарении прибора Иофе Музею прикладных знаний [5]

В данной публикации попытаемся дать ответы на перечисленные вопросы.

---

[2] Цифра 1 указана ошибочно – должна быть римская цифра I.
[3] См. предыдущую сноску.
[4] То же.
[5] Должно быть II.
[6] То же.

II. Теоретическое обоснование устройства прибора

Когда мы умножаем многозначное число на однозначное в столбик, некоторая очередная цифра искомого произведения в общем случае определяется следующим образом:

1) очередная цифра множимого умножается на число-множитель;
2) к полученному произведению добавляется значение переноса «в уме» из разряда справа;
3) если полученная сумма является двузначной, то

- её последняя цифра записывается как очередная цифра искомого произведения;
- первая цифра суммы переносится в старший разряд,
- иначе (полученная сумма – однозначная)

сумма записывается как очередная цифра искомого произведения.

Если условно рассматривать однозначную сумму как двузначную (08 и т.п.), то этап 3 можно сформулировать так:

- последняя цифра суммы записывается как очередная цифра искомого произведения;
- первая цифра переносится в старший разряд.

Итак, для определения очередной цифры искомого произведения, например, в разряде сотен, необходимо знать значение переноса из разряда десятков справа. Но это значение, в свою очередь, зависит от ряда других значений, то есть оно неизвестно! Как же быть? Рассмотрим *все возможные* варианты.

Например, когда очередная цифра множимого равна 7, а умножается она на числа 0, 1, …, 9, то получаются следующие значения произведения (см. табл. 1).

Таблица 1
Результат умножения числа 7

Число	**7**									
Умножается на	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Произведение	0	7	14	21	28	35	42	49	56	63

Но возможны также переносы из разряда справа. Тут и начинается самое интересное. Оказывается, при умножении однозначных чисел существуют только 28 неповторяющихся вариантов набора значений переноса в старший разряд. Они перечислены в табл. 2.

Таблица 2
Все возможные сочетания вариантов переноса в старший разряд при умножении однозначных чисел

1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
4	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
5	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
6	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
7	0	0	0	0	0	1	1	1	1	2
8	0	0	0	0	1	1	1	1	2	2
9	0	0	0	0	1	1	1	2	2	2
10	0	0	0	1	1	1	2	2	2	3
11	0	0	0	1	1	1	2	2	3	3
12	0	0	0	1	1	2	2	2	3	3
13	0	0	0	1	1	2	2	3	3	3
14	0	0	0	1	1	2	2	3	3	4

15	0	0	1	1	2	2	3	3	4	4
16	0	0	1	1	2	2	3	3	4	5
17	0	0	1	1	2	2	3	4	4	5
18	0	0	1	1	2	3	3	4	4	5
19	0	0	1	1	2	3	3	4	5	5
20	0	0	1	2	2	3	4	4	5	6
21	0	0	1	2	2	3	4	5	5	6
22	0	0	1	2	3	3	4	5	6	6
23	0	0	1	2	3	3	4	5	6	7
24	0	0	1	2	3	4	4	5	6	7
25	0	0	1	2	3	4	5	5	6	7
26	0	0	1	2	3	4	5	6	6	7
27	0	0	1	2	3	4	5	6	7	7
28	0	0	1	2	3	4	5	6	7	8

Это значит, что для каждого из произведений для числа 7 в табл. 1 можно рассмотреть и учесть все 28 вариантов значений переносов из разряда справа.

Результат показан в табл. 3.

Таблица 3
Значения произведений числа 7 на однозначные числа (фрагмент)

	Число 7 умножается на									
Номер варианта переносов	*0*	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*
1	0	7	14	21	28	35	42	49	56	63
2	0	7	14	21	28	35	42	49	56	64
3	0	7	14	21	28	35	42	49	57	64
…										
27	0	7	15	23	31	39	47	55	63	70
28	0	7	15	23	31	39	47	55	63	71

Теперь мы можем определить, какая очередная цифра может быть в том или ином случае при умножении числа 7 и какие значения переносов в старший разряд будут в каждом случае. Возможные очередные цифры для каждого из 28 вариантов приведены в табл. 4, а значения переносов – в табл. 5:

Таблица 4
Значения последней цифры произведений числа 7 на однозначные числа (фрагмент)

	7									
	0	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*
1	0	7	4	1	8	5	2	9	6	3
2	0	7	4	1	8	5	2	9	6	4
3	0	7	4	1	8	5	2	9	7	4
...										
27	0	7	5	3	1	9	7	5	3	0
28	0	7	5	3	1	9	7	5	3	1

Таблица 5
Значения переноса в старший разряд при умножении числа 7 на однозначные числа (фрагмент)

	7									
	0	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*
1	0	0	1	2	2	3	4	4	5	6
2	0	0	1	2	2	3	4	4	5	6
3	0	0	1	2	2	3	4	4	5	6
...										
27	0	0	1	2	3	3	4	5	6	7
28	0	0	1	2	3	3	4	5	6	7

И ещё очень важный вывод. По таблице 5 мы можем определить, какой вариант набора значений переносов (см. табл. 2) передается в старший по отношению к цифре 7 разряд в том или ином случае. Номера этих вариантов укажем в дополнительном справа столбце таблицы 4 (см. табл. 6), а таблицу 5 забудем.

Таблицы, аналогичные табл. 6, можно также получить и для случая умножения других цифр.

Если цифры и число из табл. 6 и других аналогичных таблиц представить в столбцах, не учитывая умножение числа на 0 и 1 и повторяя множимое, то применительно к таблице 6 можно получить таблицу из 28 столбцов (см. табл. 6).

Во всех таблицах будут представлены 280 столбцов[7], в которых записаны результаты умножения однозначных чисел на 2, 3, … 9 для всех возможных наборов переноса из младшего разряда:

– очередная цифра произведения;
– номер варианта переноса в соседний старший разряд.

[7] 280 столбцов с цифрами и будут являться той самой «полной таблицей Слонимского», которая упоминалась в цитате из [2] в начале статьи (таблицу, аналогичную табл. 2, называют «основной таблицей Слонимского»).

Таблица 6
Результаты умножения числа 7 на однозначные числа (фрагмент)

7	**7**	**7**	**7**	**7**	**7**	**7**	**7**	**7**	**7**	**7**	**7**	**7**	**7**	**7**	**7**	**7**	**7**	**7**	**7**	**7**
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	…	25	26	27	28
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5	…	5	5	5	5
1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	…	3	3	3	3
8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	9	9	9	0	0	…	1	1	1	1
5	5	5	5	5	6	6	6	6	6	6	7	7	7	7	7	…	9	9	9	9
2	2	2	2	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	5	5	…	7	7	7	7
9	9	9	0	0	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	…	4	5	5	5
6	6	7	7	7	7	7	8	8	8	9	9	9	9	0	0	…	2	2	3	3
3	4	4	4	4	4	5	5	5	6	6	6	6	7	7	8	…	0	0	0	1
20	20	20	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	22	22	…	23	23	23	23

III. Материальная реализация метода умножения

Если содержимое столбцов записать на 280 узких пластинах (несколько примеров см. на рис. 3), то их можно использовать для нахождения произведений многозначного числа сразу на все множители 2, 3, … 9.

7	**7**	**4**
1	22	8
4	5	8
1	3	2
8	1	7
5	8	1
2	6	5
9	4	9
6	2	4
3	9	8
8	22	12

Рис. 3. Примеры пластин для расчётов

В качестве примера приведём расчёт умножения числа 274. Из комплекта пластин с верхней цифрой 4 (последней цифрой множимого) используем пластину с вариантом переносов номер 1 (так как для всех множителей от 0 до 9 перенос из «младшего», отсутствующего в данном случае, разряда равен 0) – см. рис. 4*а*.

Видно, что после «использования» цифры 4 в старший разряд передается вариант переносов номер 12. Поэтому из пластин с верхней цифрой 7 (количество десятков в множимом) отбираем соответствующую пластину и прикладываем её к имеющейся (рис. 4*б*). Для цифры 2 все действия аналогичны (см. рис. 4*в*). В дополнительной пластине с цифрой 0 номер «выходного» варианта переносов равен 1 (0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0). Это значит, что дальнейшие действия можно не проводить.

Общий результат показан на рис. 4*г*[8].

4
1
8
2
6
0
4
8
2
6
12

а)

7	**4**
12	1
4	8
2	2
9	6
7	0
4	4
1	8
9	2
6	6
21	12

б)

2	**7**	**4**
21	12	1
5	4	8
8	2	2
0	9	6
3	7	0
6	4	4
9	1	8
1	9	2
4	6	6
8	21	12

в)

	0	**2**	**7**	**4**
	8	21	12	1
2	0	5	4	8
3	0	8	2	2
4	1	0	9	6
5	1	3	7	0
6	1	6	4	4
7	1	9	1	8
8	2	1	9	2
9	2	4	6	6
	1	8	21	12

г)

Рис. 4. Пример умножения с использованием пластин

[8] На рис. 4*г* слева изображена также вспомогательная пластина со значениями множителя.

Можно 280 столбцов с числами (таблицу Слонимского) разместить на четырёх длинных гранях 70 брусков, что и сделал в своём приборе Иофе[9]. Семь брусков, относящих к той или иной цифре множимого, размещались в одном из десяти пронумерованных отделений ящика (см. начало статьи). Эта цифра записывалась в верху длинных граней этих семи брусков. Вместо чисел 1, 2, …, 28, ранее на рисунках в статье оттенённых (напомним, что эти числа соответствовали номеру варианта последовательности переносов), изобретатель использовал римские числа I, II, …, VII и латинские буквы A, B, C, D.

Соответствие между числами и обозначениями Иофе показано на рис. 5.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	…	14	15	16	…	21	22	23	…	28
I A	II A	III A	IV A	V A	VI A	VII A	I B	II B	…	VII B	I C	II C	…	VII C	I D	II D	…	VII D

Рис. 5. Соответствие чисел – номеров вариантов переносов и обозначений Иофе на брусках

Этот «код Иофе» записывался под верхней цифрой в две строки. Под кодом располагались столбцы цифр из таблицы Слонимского, а под ними – также код в виде римских цифр и латинских букв. Как и наших таблицах выше, этот код указывал номер варианта последовательности переносов, который должен быть использован в бруске в разряде слева.

Реконструкция одного из 70 брусков показана на рис. 6, а его развёртка – на рис. 7.

Рис. 6. Реконструкция одного из брусков

7	7	7	7
IV A	IV B	IV C	IV D
4	4	5	5
1	2	2	3
8	9	0	1
5	6	8	9
2	4	5	7
0	1	3	4
7	9	0	2
4	6	8	0
VII C	VII C	I D	II D

Рис. 7. Развёртка одного из брусков

Видно, что на каждом бруске Иофе представил столбцы значений, относящиеся к одной и той же римской цифре.

Итак, можно так сформулировать методику проведения расчётов на брусках Иофе. При описании будем использовать понятия «верхний код Иофе» и «нижний (выходной) код Иофе».

Крайним правым бруском при расчётах должен быть брусок с последней цифрой множимого и верхним кодом IA. Выходной код этого бруска определяет верхний код для бруска с предпоследней цифрой множимого и т.д. Соответствующий подбор брусков проводится до тех пор, когда выходной код окажется IA (в ряде случаев при расчётах может понадобится дополнительный крайний левый брусок с цифрой 0 – см., например, рис. 1 и 4).

К описанию прибора Иофе в [2, 3] добавим, что на верхнем торце каждого бруска указывалась та же римская цифра, что и во второй строке на длинных гранях (см. рис. 6) [1]. Конечно, это облегчало поиск нужного бруска в одном из 10 отделений. Ящик прибора закрывался крышкой, которая одновременно использовалась для размещения в ней набора нужных брусков при проведении расчётов. На рис. 8 показаны элементы крышки в виде выступов (дальнего K, левого K'K' и ближнего K). Между дальним и ближними выступами и размещались бруски, используемые при расчётах. Левый выступ K'K' был подвижный, так что его всегда можно было придвинуть к используемым брускам. На нём были напечатаны

[9] Фон Бооль ошибочно считал, что цифры на брусках Иофе «были получены эмпирическим путём» [1].

знаки, говорящие об умножении множимого числа на множитель 2, 3, …, 8 и 9. Против этих знаков на брусках и были представлены искомые произведения (см. реконструкцию на рис. 9).

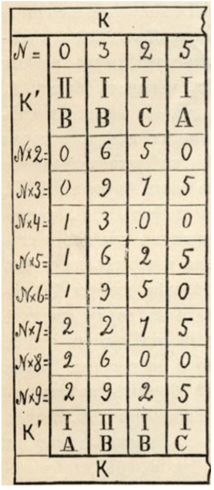


Рис. 8. Часть крышки прибора [1]

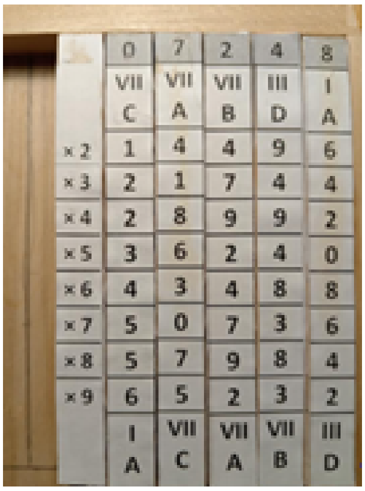


Рис. 9. Пример расчёта в реконструкции прибора

На рис. 10 показана выполненная автором реконструкция брусков Иофе – экспонат музея истории вычислительной техники школы № 1530 «Школа Ломоносова» г. Москвы (http://www.museum.ru/m2744).

Рис. 10. Реконструкция прибора Г. Иофе

IV. Некоторые сведения о Гирше Иофе

В заключение – некоторая информация об изобретателе описанного прибора. Вот что говорится о Иофе в [6]: «Русский математик и писатель. Родился 17 июня 1853 г. в Монастырщине, близ Мстиславля Могилёвской губернии. Получил обычное талмудическое образование и рано проявил незаурядные математические способности. Отец не позволил ему поступить в государственную школу, и, не имея возможности изучать математику по книгам, Иофе стал решать алгебраические задачи по правилам, которые обнаруживал самостоятельно. В 1873 году отец подарил ему труды Хаима Зелиговича Слонимского, а также другие математические труды на иврите. В 1877 г. Иофе опубликовал в “Ha-Ẓefirah”[10] (№ 24) свою первую математическую статью, и с тех пор он опубликовал много математических и талмудических статей в этом периодическом издании и в “Ha-Asif”[11]. В 1881 г. Иофе поехал в Москву, где выставил свою счётную машину, за что получил почётное упоминание администрации выставки[12]. В то же время он опубликовал на русском языке свой математический трактат “К графическому выпрямлению дуги окружности” (в журнале “Математический листок”, 1881-82, № 7-9). В начале последнего десятилетия девятнадцатого века Иофе поселился в Варшаве».

[10] Газета на иврите, периодически издававшаяся в Варшаве в период 1862-1931 гг. Сноска наша – **Д. З.**
[11] Ежегодный журнал на иврите, который издавался в Варшаве Н. Соколовым. Сноска наша – **Д. З.**
[12] См. сноску 1.

В этом источнике имя и фамилия изобретателя приводится как Zebi Hirsh Jaffe. В [7] о нём говорится: «Иоффе, Гирша[13] Залманович, Могилёвская губ., Климовичский у., мест. Петровичи». Конечно, в данном случае речь идёт о месте проживания в 1896 г. Этот факт говорит о том, что последняя фраза приведенной чуть выше цитаты из [6] требует уточнения.

Добавим, что в 1896 году на Всероссийской промышленной и художественной выставке в Нижнем Новгороде Иофе экспонировал свои разработки – «Автоматические календари: ручка-календарь, брелок-календарь, календарь-автомат» [7, с. 53]. В сентябре 1900 года он получил привилегию[14] (патент) за № 4060 на эти устройства. Они показаны на чертежах из привилегии (рис. 11).

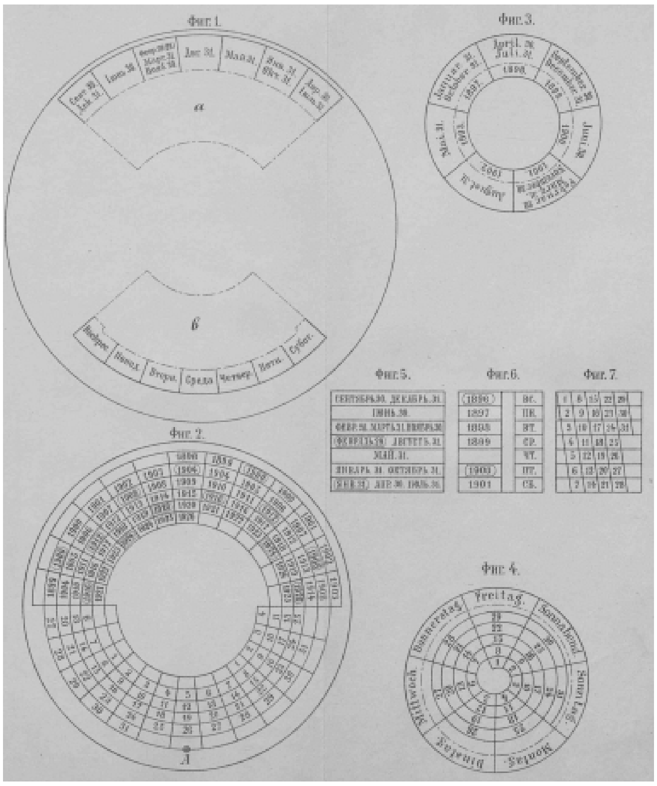


Рис. 11. Чертеж из привилегии, выданной Г. Иофе

V. Благодарность

Автор благодарен профессору Высшей школы экономики В.В. Шилову за предоставленную информацию и помощь в подготовке данной статьи.

Список литературы

1. Апокин И.А., Майстров Л.Е. Развитие вычислительных машин. М.: Наука, 1974. 400 с.
2. Апокин И.А., Майстров Л.Е. История вычислительной техники. М.: Наука, 1990. 264 с.
3. Фон Бооль В.Г. Приборы и машины для механического производства арифметических действий: Описание устройства и оценка счётных приборов и машин. М., 1896. 244 с.
4. Слонимский, Зелиг. Описание нового числительного инструмента, изобретённого Зелигом Слонимским и удостоенного от Академии наук второстепенной Демидовской премии. СПб., 1845.
5. Смолевицкая М.Э. В.Г. Фон Бооль – военный, педагог, популяризатор науки, автор первой монографии по счётным устройствам в России // Материалы Международной конференции Российского национального комитета по истории и философии науки и техники РАН, посвящённой 90-летию Института истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова РАН. М., 2022. С. 403-406.
6. https://jewishencyclopedia.com/articles/10995-mordecai-jaffe#anchor113.
7. Подробный указатель по отделам Всероссийской промышленной и художественной выставки 1896 г. в Нижнем Новгороде. Отдел XIX «Народное образование». М., 1896.

[13] Именно так фамилия и имя.
[14] В документе местом жительства заявителя указана Варшава.

САМУИЛ АВРААМОВИЧ КАЦЕНЕЛЛЕНБОГЕН И ЕГО СЧЕТНЫЕ ПРИБОРЫ

Дмитрий Михайлович Златопольский[1], **Валерий Владимирович Шилов**[2]
[1] *Музей истории вычислительной техники школы № 1530 «Школа Ломоносова», Москва, Российская Федерация, zlatonew@gmail.com*
[2] *НИУ «Высшая школа экономики», Москва, Российская Федерация, valery-54@yandex.ru*

***Аннотация* – В статье впервые описывается конструкция двух вычислительных приборов, созданных в России в 1875 г. и в 1886 г. Самуилом Авраамовичем Каценелленбогеном, и методы расчетов на них. Представлена также биографическая информация об изобретателе.**

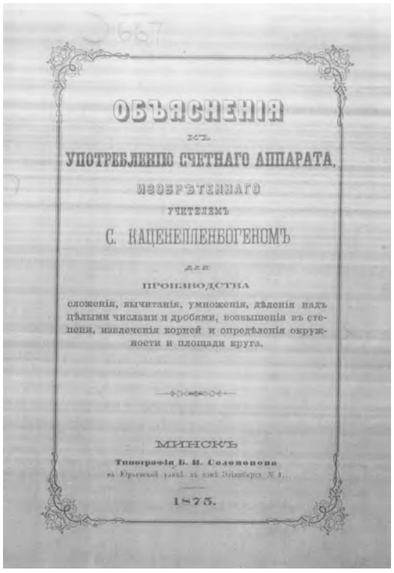
***Ключевые слова* – история российской счетной техники, Самуил Каценелленбоген, вычислительный прибор, вычислительные таблицы.**

I. Введение

К сожалению, история российской счетной техники до сих пор изучена крайне неудовлетворительно. Это можно сказать как о дореволюционном (до 1917 г.), так и довоенном (до 1941 г.) периоде. Многие созданные отечественными изобретателями устройства никогда не привлекали внимания исследователей и до сих пор не описаны, более того, некоторые из них вообще в поле зрения современных исследователей никогда не попадали. Одним из таких забытых изобретателей является Самуил Авраамович Каценелленбоген, который в конце XIX века не только опубликовал описания своих счетных приборов, но и изготавливал и продавал их.

В 1875 году в Минске была опубликована 10-страничная брошюра «учителя С. Каценелленбогена» [1] (рис. 1), в которой описывался его вычислительный прибор. Прибор, как указывалось в названии брошюры, был предназначен для:

● выполнения четырех арифметических действий с целыми и дробным числами;
● возведения в квадрат и куб;
● извлечение квадратных и кубических корней;
● определения длины окружностей и площади кругов заданных диаметров[1].


ОБЪЯСНЕНІЯ
КЪ
УПОТРЕБЛЕНІЮ СЧЕТНАГО АППАРАТА,
ИЗОБРѢТЕННАГО
УЧИТЕЛЕМЪ
С. КАЦЕНЕЛЛЕНБОГЕНОМЪ
ДЛЯ
ПРОИЗВОДСТВА
сложенія, вычитанія, умноженія, дѣленія надъ цѣлыми числами и дробями, возвышенія въ степени, извлеченія корней и опредѣленія окружности и площади круга.

МИНСКЪ
Типографія Б. И. Соломонова
на Юрьевской улицѣ, въ домѣ Элиаберга № 1.
1875.

Рис. 1. Титульный лист брошюры Каценелленбогена [1]

В небольшой рекламной публикации, связанной с тем же прибором [2] его автор писал, что прибор стал результатом двенадцатилетней работы, и что он «поступил уже в продажу». Продавался прибор в нескольких вариантах – со счетами оригинальной конструкции за 40 рублей, и с традиционными русскими счетами за 30 рублей (без пересылки). Вскоре, правда, их цена возросла до 50 и 45 рублей соответственно [3]. Каждый прибор имел уникальный серийный номер, и оба варианта сопровождались описанием на русском, французском или немецком языке. В 1886 году С.А. Каценелленбоген опубликовал краткое описание нового, усовершенствованного, варианта прибора [4]. Он стоил уже 60 рублей.

Мы не знаем, кто изготавливал приборы Каценелленбогена, – скорее всего, кто-то из минских ремесленников, но продавались они самим изобретателем, сначала в Минске, а потом и в Петербурге. Известный петербургский профессор Артур Гассельблат, изобретатель логарифмической линейки оригинальной конструкции, в своей лекции о счетных приборах и инструментах, данной в марте 1889 года, упомянул, что прибор Каценелленбогена изготавливается механическими мастерскими Оскара Рихтера и продается в магазине фирмы[1] (см. рис. 2) по цене 35 рублей [5] (что, заметим, меньше сумм, приводимых в брошюрах изобретателя; возможно, снижение цены было обусловлено уменьшением затрат на изготовление при переходе от кустарного производства к мелкосерийному). Установить количество изготовленных приборов можно было бы, хотя бы приблизительно, по их серийным номерам. Но, к сожалению, до сих пор ни один сохранившийся экземпляр счетных приборов Каценелленбогена не известен. Точно также трудно оценить и объем продаж, но, в любом случае, ввиду значительной цены приборов, он едва ли мог быть сколько-нибудь существенным.

Рис. 2. Магазин фирмы Оскара Рихтера в Санкт-Петербурге

Счетные приборы С.А. Каценелленбогена остались незамеченными современниками. Единственное известное нам упоминание о них в литературе обнаруживается в уже упомянутой лекции Артура Гассельблата, который, в частности, писал о приборе Каценелленбогена, что результаты всех операций, кроме четырех арифметических действий, удобнее определять по печатным таблицам.

В настоящей статье мы впервые даем описание устройства счетных приборов и способов выполнения вычислений на них. Конструкция описанного в [1–3] прибора представлена в разделе «Описание первого варианта прибора», а методика проведения расчетов на нем – в разделах «Вычисления на счетах» и «Расчеты с использованием цилиндров». Особенности прибора, описанного в [5], разбираются в последнем разделе статьи. Но начнем ее с краткого изложения собранных нами биографических сведений об изобретателе приборов.

II. Биография

Биографические сведения о Самуиле Авраамовиче Каценелленбогене, родившемся в Вильно (сегодня Вильнюс, столица Литовской республики) в 1829 (по другим сведениям, в 1827) году, достаточно скудны. Он был пятым сыном Авраама бен-Симхи Каценелленбогена (1798–1873), известного виленского просветителя – математика, естествоиспытателя, писателя, автора сочинений по грамматике и механике (в их числе книга «Паровая машина», изданная в 1846 г. в Данциге) [6]. В декабре 1837 года Высочайшим повелением императора Николая I был основан курорт Друскеники (сегодня Друскининкай). Согласно тому же источнику, Авраам Каценелленбоген «открыл минеральные воды в Друскениках, за что получил награду в 1837 г. при письменной благодарности от гродненского губернатора Доппельмейера».

Сведений о полученном Самуилом образовании у нас нет. Впервые его имя мы встречаем в 1865 году в «Памятной книжке Минской губернии», ежегодном справочном и статистическом издании, которое выпускал Минский губернский статистический комитет. Из нее мы узнаем, что с 7 октября 1864 г. Самуил

[1] Фирма саксонского подданного Оскара-Бернгарда Рихтера была основана в 1850 г. и просуществовала до 1918 г. Она производила широкий спектр оптических, электрических и механических приборов и инструментов. Продукция фирмы неоднократно отмечалась медалями Всероссийских промышленных выставок.

Аврамович[2] Каценелленбоген, иудейского вероисповедания, исполняет обязанности учителя еврейских предметов в Минском Казенном Еврейском училище 1 разряда. Эти же сведения приводятся в «Памятных книжках» на 1866 и 1867 годы, а в книжках на 1870, 1872, 1873, 1874 и 1875 годы он назван уже «учителем общих предметов». Кроме этого училища, Самуил Авраамович с 15 сентября 1870 года преподавал в арифметику в Частной двухклассной школе для девиц-евреек («Памятные книжки» на 1872, 1873, 1874 и 1875 годы), с 1 мая 1872 года – еще и в Частном училище для девиц евреек («Памятные книжки» на 1873, 1874 и 1875 годы). С 17 октября 1870 года он был принят законоучителем в женскую гимназия Минска («Памятные книжки» на 1872 и 1873 годы).

Таким образом, судя по всему, как преподаватель Самуил Авраамович был весьма востребован. Но преподаванием он не ограничивался. В эти годы он издал в Вильне пособие по арифметике [7], а в Минске сборник математических таблиц [8], а также первые описания своих счетных приборов [1-2]. Вероятно, он пользовался немалым авторитетом как в еврейской общине, так и у губернской администрации. Этим можно объяснить то, что в «Памятной книжке» на 1878 год он фигурирует уже как сверхштатный сотрудник канцелярии губернатора, «состоящий при Губернаторе учёный еврей»[3].

В «Памятной книжке» на 1880 года имя Каценелленбогена отсутствует. Следует полагать, что именно в это время он переехал в Санкт-Петербург, где публикуются все его последующие сочинения. Род его занятий здесь в первые годы нам неизвестен, но он продолжает работу над своим изобретением [3, 4], а также издает несколько сборников готовых таблиц [10-12]. Но, судя по всему, это были последние проявления его интереса к проблемам математики и вычислений. В дальнейшем Каценелленбоген опубликовал только учебники для старших классов гимназии – «Закон еврейской веры» и «Моисеево вероучение».

С 1888 года он, как указано в [13], «состоит преподавателем Закона Божия еврейской веры» во Второй Санкт-Петербургской гимназии. После этого на протяжении четверти века, как свидетельствуют ежегодники «Адресная книга города Санкт-Петербурга» и «Весь Петербург», Каценелленбоген в качестве законоучителя иудейской веры преподает в разных гимназиях города, – мужских Императора Александра I (бывшей Второй), Четвертой, Шестой, Седьмой, Десятой, Наследника Цесаревича и Великого князя Алексея Николаевича, женской Императрицы Марии Александровны (бывшей Мариинской).

Деятельность Каценелленбогена получила официальное признание. Не позднее, чем в 1891 г., Каценелленбоген становится личным почетным гражданином[4] (так он именуется в справочниках, начиная с 1892 г.). В справочнике 1908 г. и последующих он уже указывается как потомственный почетный гражданин.

Как преподаватель Каценелленбоген последний раз упоминается в справочнике 1913 года. В справочниках «Весь Петербург» (1914 г.) и «Весь Петроград» (1915-1917 гг.) он фигурирует как частное лицо.

Скончался Самуил Авраамович Каценелленбоген в Петрограде 30 января 1917 года и был похоронен на Еврейском Преображенском кладбище [14]. Мы публикуем единственную известную нам фотографию Каценелленбогена – сделанный в 1898 г. групповой портрет преподавателей Второй гимназии. Раввин С.А. Каценелленбоген на нем – крайний справа в первом ряду (рис. 3).

III. Описание первого варианта прибора

Прибор представлял из себя, как указано в [2], «небольшой ящик» из орехового дерева с крышкой и медными ручками и состоял из:

[2] Так («Аврамович») в источнике. В некоторых печатных источниках его отчество пишется также как «Абрамович».

[3] Должности учёных евреев при различных органах управления, в том числе при генерал-губернаторах в черте оседлости, существовали с 1844 по 1917 год. В 1850 г. императорская «Секретная инструкция генерал-губернаторам о евреях» обязала каждого из них иметь при себе учёного еврея, который предохранял бы главу губернии от ошибок и давал советы [9]. Занимавшие эту должность (иногда их также именовали «евреями для исполнения особых поручений») должны были иметь среднее или высшее образование.

[4] Институт почётного гражданства был установлен в Российской империи манифестом императора Николая I от 10 апреля 1832 года. Начиная с 1850 г., ходатайствовать о почётном гражданстве имели право «ученые евреи при губернаторе». Вероятно, Каценелленбоген стал личным почётным гражданином именно по этому основанию.

1) счетов оргигинальной конструкции, предназначенных для сложения и вычитания, а также для умножения и деления на не более чем двузначные числа[5];

2) комплекса цилиндров и вспомогательных деталей для других расчетов.

Рис. 3. Педагогический персонал 2-й Санкт-Петербургской гимназии в 1898 г. [13]

Счеты состояли из 16 узких элементов (в дальнейшем будем использовать термин – «разряды»), на верхней поверхности которых выполнена прорезь, в которой перемещалась «пуговица», снабженная выступом, облегчающим её смещение (нашу реконструкцию разряда см. на рис. 4). В 15 разрядах верхняя поверхность была разделена на 10 равных частей, границы которых обозначены в виде «снежинок» (*), нарисованных слева. Положение «снежинок» соответствовало числам 0 (дальняя от пользователя прибора), 1, 2, …, 9 и 0[6]. Крайний справа разряд был разделен на 8 равных частей.

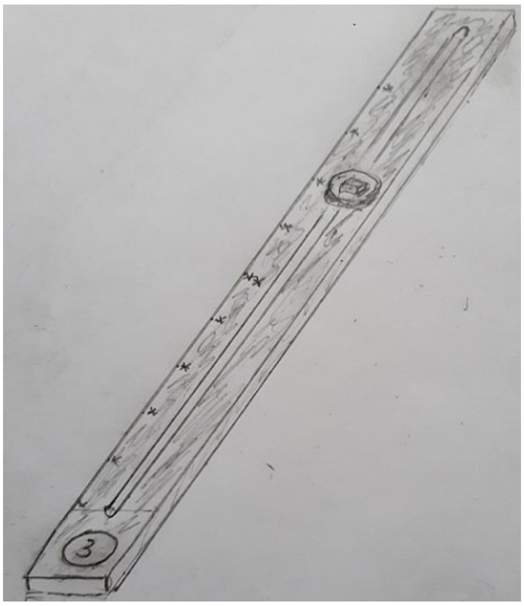


Рис. 4. Реконструкция отдельного разряда счетов

[5] Предлагался также вариант прибора, снабженный традиционными русскими счетами. В [2] говорится о традиционных русских счетах с косточками разных цветов в различных разрядах.

[6] В положении, соответствующем цифре 5, были изображены две «снежинки».

В ближней к пользователю части каждого разряда имелось отверстие, закрытое стеклом. При перемещении «пуговицы» в положение, соответствующее той или иной цифре, эта цифра отображалась под стеклом[7].

Третий и второй разряды справа были предначенены для вычислений с копейками, сантиметрами и подобными единицами[8]. Цифры в их «окошках» были окрашены в красный цвет.

На крайнем правом разряде «снежинки» соответствовали значениям $^1/_8$, $^1/_4$, $^3/_8$, …, 1, 0 (эти значения также отображались в «окошке» при перемещении «пуговицы»).

Под счетами, в особых отделениях, находились 16 цилиндров, из которых девять были обозначены буквами A, B, C, D, E, F, G, H, I и семь – знаками $^1/a$, a^2, a^3, $\sqrt{a}$, $\sqrt[3]{a}$, $2\pi r$, πr^2 [1].

Справа от счетов, под стеклом, находились еще два цилиндра. Один из них, окрашенный в красный цвет, был закреплен постоянно (горизонтально), но имел возможность вращаться вокруг своей оси, а другой был съемным. В отверстие, в котором на оси размещался второй цилиндр, при расчетах вставлялся один из других 16 цилиндров. Вращение обоих цилиндров осуществлялось расположенными справа от них специальными механизмами, управляемыми рукояткой. Стекло над цилиндрами сдвигалось имеющей на нем «пуговицей».

На боковой поверхности красного цилиндра, вдоль его оси, были нанесены числа в 10 столбцов, обозначенных буквами A, B, C, D, E, F, G, H, I, K (рис. 5):

1	101	201	…	801	901
2	102	202	…	802	902
…	…	…	…	…	…
99	199	299	…	899	999
100	200	300	…	900	1000
A	B	C	…	I	K

Рис. 5. Развертка цилиндрической поверхности красного цилиндра

Числа, расположенные в несколько столбцов, предусмотрены также на других 16 цилиндрах (о них – ниже). На цилиндрах, обозначенных буквами, столбцы чисел имели обозначения в виде чисел 1, 2, …, 9, а на остальных семи цилиндрах – в виде букв A, B, C, D, E, F, G, H, I, K.

При вращении цилиндров в их верхней части появлялся тот или иной столбец с числами.

Между двумя правыми цилиндрами, также под сдвижным стеклом, находился механизм, названный изобретателем «нониусом». Он представлял из себя горизонтально расположенную проволоку, расположенную над цилиндрами. Нониус мог перемещаться параллельно осям цилиндров между двумя вертикальными пластинами. Он обеспечивал, так сказать, логическую связь между значениями, указанными на цилиндрах в их верхней части (по сути, это аналог «бегунка» на логарифмической линейке).

Оси цилиндров были железными. Пластины нониуса и проволока, а также механизмы для вращения цилиндров были выполнены из меди. Как пишет Каценелленбоген в [2], «Цифры на счетах большие, а на цилиндрах – умеренные, покрытые лаком».

Под счетами находился выдвижной ящик для бумаг с замком. К каждому прибору прилагалась брошюра на русском, немецком или французском языках с указаниями по его использованию. Каждый экземпляр прибора имел индивидуальный номер и снабжался печатью и подписью изобретателя.

IV. Вычисления на счетах прибора Каценелленбогена

В исходном положении все «пуговицы» находились в самом дальнем от пользователя положении, соответствующем нулю.

[7] Механизм, посредством которого происходило отображение цифр, в работах С.А. Каценелленбогена не описан.

[8] Или с десятичными дробями и смешанными числами с двумя знаками в дробной части. Все указанные особенности счетов говорят о том, что на них можно было проводить расчеты с 15-значными целыми значениями (Каценелленбоген в [1] при описании использует термин *квадриллион*) и с нецелыми значениями с двумя знаками в дробной части.

Сложение выполнялось следующим образом. Перемещением «пуговиц» каждого разряда уставливалось значение первого слагаемого. Затем, начиная с последнего разряда «пуговицы» второго слагаемого смещались на соответствующее количество позиций. Цифры в «окошках» каждого разряда, меньшие или равные 9, являлись окончательными. Если в каком-то разряде результат оказывался равным нулю (т.е. сумма цифр в данном разряде равнялась 10) или если сумма цифр в данном разряде превышала 10, то пользователь поступал так, как и при вычислениях на традиционных русских счетах.

Алгоритм действий при вычитании достаточно очевиден (при вычитании цифр вычитаемого «пуговицы» перемещались от пользователя прибора к его дальней части). Сложение и вычитание дробей, знаменатель которых равен 8, в крайнем правом разряде проводилось аналогично.

Видно, что при расчетах автоматический перенос единицы в соседний разряд при сложении и её автоматическое заимствование при вычитании не происходили.

Умножение на счетах своего прибора Каценелленбоген описывает в [1] следующим образом:

- при умножении на однозначное число на него умножается каждая цифра множимого (путем многократного сложения), а не проводится умножение всего многозначного множимого (также путём многократного сложения), как это было принято при использовании обычных русских счетов;
- при умножении на двузначное число предварительно определяются его множители (имеются в виду однозначные – *Авт.*), после чего происходило умножение на каждый множитель[9];
- при умножении на множитель, не разлагающийся на однозначные множители, результат определялся не на счётах, а с использованием цилиндров[10].

Деление (путем многократного вычитания) изобретатель также предлагал проводить поразрядно, начиная с самого старшего разряда. При делении на двузначное число делитель разлагается на множители (Каценелленбоген также упоминает два множителя). Сначала происходило деление делимого на один из множителей, а затем полученное частное делилось на второй. Если делитель не разлагался на множители, то частное определялось не на счётах, а с использованием цилиндров.

Можно отметить следующие преимущества счетов Каценелленбогена по сравнению с традиционными русскими счетами:

- результат представлен в «окошках» в виде ряда цифр;
- в каждом разряде используется один элемент (подвижная «пуговица»), а не десять, выполненных, как правило, двуцветной окраской.

V. Расчеты с использованием цилиндров

1. Умножение

Начнем с умножения на однозначное число. Множимое (не более чем трехзначное число) находили на красном цилиндре (при вращении последнего – столбец с этим множимым размещался в верхней части цилиндра). Например, число 476 находилось в столбце E красного цилиндра. Поэтому в отверстие справа от него вставлялся цилиндр, также обозначенный буквой E (рис. 6). Этот цилиндр вращался до появления в верхней части столбца с числом, равным множителю (3).

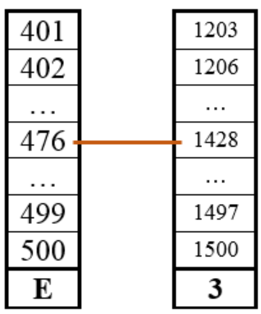


Рис. 6. Схема умножения 476 на 3

[9] Каценелленбоген упоминает два множителя. Понятно, что при трёх однозначных множителях результат определяется аналогично.
[10] С использованием цилиндров можно было умножать и на однозначные и двузначные числа, но только в случае, когда множимое – двузначное или трёхзначное.

После этого нониус смещался в положение, соответствующее числу 476 (левый конец проволоки нониуса устанавливался на указанное число). При этом правый конец проволоки указывал искомое произведение.

Сказанное означает, что на цилиндре Е были записаны произведения всех чисел из столбца Е красного цилиндра на 1[11], 2, …, 9 (по соответствующим столбцам) – см. рис. 7.

401	**802**	**1203**	**1604**	**2005**	2406	2807	3208	3609
402	**804**	**1206**	**1608**	**2010**	2412	2814	3216	3618
…	**…**	**…**	**…**	**…**	…	…	…	…
476	**952**	**1428**	**1904**	**2380**	**2856**	3332	**3808**	4284
…	**…**	**…**	**…**	**…**	…	…	…	…
499	**998**	**1497**	**1996**	**2495**	2994	3493	3992	4491
500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**

Рис. 7. Развертка чисел цилиндра Е

Соответствующие произведения чисел из других столбцов красного цилиндра были записаны на остальных цилиндрах, обозначенных буквами. Иными словами, в приборе Каценелленбогена при умножении использовались готовые таблицы с произведениями чисел от 1 до 1000 на 1, 2, …, 9[12].

Каценелленбоген в [1] описывает также методику определения произведения двух более чем трехзначных чисел.

2. Деление

При делении делимое откладывалось на счетах. При этом делитель расположен верхней части красном цилиндре. Затем определялось, какой буквой помечен столбец, в котором расположен делитель, и соответствующий цилиндр размещался справа. Нониус перемещался на уровень делителя. Правый цилиндр вращался до тех пор, когда под нониусом оказывалось максимальное число, не превышающее какую-то группу левых цифр делимого. Например, при делении 41056904 на 476:

– число-делитель 476 на красном цилиндре находилось в столбце Е;
– в правое отверстие размещался цилиндр Е;
– левый конец нониуса устанавливался на делитель;
– при вращении правого цилиндра находилось число 3808 (см. рис.7).

Последнее число размещалось в столбце, обозначенном цифрой 8. Эта цифра являлась первой цифрой искомого частного. После этого на счетах из делимого вычиталось найденное число (3808) с учетом весомости первой цифры частного, которая в данном случае равна 10000.

Затем аналогичные действия проводились с найденной разностью, которую рассматривали как делимое. Они повторялись до тех пор, когда полученная разность становилось равной нулю (в этом случае частное было целым числом без остатка), или когда разность оказывалась меньше делителя (имело место деление с остатком).

Для указанного примера все действия иллюстрируются следующей схемой:

```
  41056904
– 3808       подходящее число; находится в столбце 8
   2976904
–  2856      подходящее число; находится в столбце 6
    120904
–    952     подходящее число; находится в столбце 2
     25704
–    2380    подходящее число; находится в столбце 5
      1904
–     1904   подходящее число; находится в столбце 4
         0
```

[11] Значения произведений на 1 использовались при делении (см. далее).
[12] Аналогичные таблицы использовались и при других расчетах с помощью цилиндров (см. далее).

Найденные цифры – 8, 6, 2, 5 и 4, то есть частное равно 86254 (остаток равен нулю).

3. Остальные действия

Остальные действия с использованием цилиндров, указанные в вводной части статьи, выполнялись по одинаковой методике.

Исходное число (число, возводимое в степень, подкоренное число, знаменатель обыкновенной дроби, диаметр окружности, её длина или площадь круга; во всех случаях – не более чем трехзначное число) на красном цилиндре располагалось в его верхней части. Справа помещался цилиндр с обозначением необходимого действия. Определялась буква столбца, в котором находилось исходное число, и правый цилиндр вращался до момента появления в его верхней части той же буквы. Нониус перемещался на уровень числа на красном цилиндре. При этом правый конец проволоки нониуса указывал на искомое значение.

Приведем пример преобразование обыкновенных дробей в их десятичный эквивалент. Как уже отмечалось в вводной части статьи, имеются в виду дроби от ½ до $^1/_{1000}$.

Знаменатель дроби находился в верхней части красного цилиндра при его вращении, а результат определялся на цилиндре, обозначенном $^1/a$. Этот цилиндр поворачивался в положение, при котором в его верхней часть оказывался столбец, обозначенный той же буквой, что и знаменатель дроби на красном цилиндре. После установки нониуса в соответствующее положение можно было определить значение искомой десятичной дроби.

VI. Описание второго варианта прибора

На верхней поверхности прибора между двумя узкими прямоугольными отверстиям была размещена «розовая таблица» из десяти столбцов с числами от 1 до 1000. Столбцы были обозначены буквами A, B, C, D, E, F, G, H, I, K[5].

На передней стенке прибора находились два циферблата, каждый – со стрелкой, перемещаемой вручную, и кнопкой. На левом циферблате были представлены буквы A, B, C, D, E, F, G, H, I, а на правом – знаки $^1/a$, a^2, a^3, $\sqrt{a}$, $\sqrt[3]{a}$, $2\pi r$, πr^2.

После установки стрелки левого циферблата на одной из букв при каждом нажатии левой кнопки в левом отверстии верхней части появлялся один из столбцов таблицы с числами (всего столбцов – девять, обозначенных числами 1, 2, …, 9).

Аналогично после установки стрелки правого циферблата на одном из знаков при каждом нажатии правой кнопки в правом отверстии появлялся один из десяти столбцов с числами (столбцы были помечены буквами A, B, C, D, E, F, G, H, I, K).

Анализ методик проведения вычислений на приборе, описанных в [4], показывает, что:

– розовая таблица представляла собой развертку цилиндрической части красного цилиндра первого варианта прибора (см. рис. 5).

– левая таблица состояла из девяти «разделов», являющихся аналогами разверток цилиндрической части цилиндров, обозначенных буквами A, B, C, D, E, F, G, H, I, использововшихся в первом варианте прибора;

– правая таблица включала семь «разделов» – аналогов разверток цилиндрической части цилиндров, в первом варианте прибора обозначенных знаками $^1/a$, a^2, a^3, $\sqrt{a}$, $\sqrt[3]{a}$, $2\pi r$, πr^2.

Соответственно, и методики всех расчетов по сути были аналогичны вычислениям с использованием цилиндров в первом варианте прибора.

Например, умножение проводилось следующим образом:

– в розовой таблице находили множимое и определялась буква столбца, в котором оно представлено;

– в положение, соответствующее этой букве, установливалась стрелка левого циферблата;

– кнопка левого циферблата нажималась до момента появления в левом отверстии столбца, обозначенного числом-множителем;

– искомое произведение находили в появившемся столбце на уровне множимого в розовой таблице. Для удобства считывания результата изобретатель рекомендовал использовать линейку.

С использованием левого циферблата осуществлялось также деление, методика которого аналогична делению на первом варианте прибора (вычитание проводилось на отдельных счетах).

Остальные расчеты делались с использованием правого циферблата. Например, для возведения в квадрат:

– возводимое в квадрат число отыскивали в «розовой» таблице и определялась буква столбца, в котором оно представлено;

– стрелка правого циферблата устанавливалась в положение, соответствующее знаку a^2;

– кнопка правого циферблата нажималась до момента появления в правом отверстии столбца, обозначенного той же буквой, что и столбец в розовой таблице;

– искомое значение квадрата находили в появившемся столбце на уровне возводимого числа в розовой таблице (также с использованием линейки).

Конструкция, обеспечивающая появление тех или иных столбцов чисел в том или ином положении стрелок циферблата, в [4] не описана, но можно предположить, что справа и слева использовались по одной большой таблице с числами. Они состояли, соответственно, из 90 столбцов (девять «разделов» по десять столбцов в каждом) и из 70 столбцов (семь «разделов» по десять столбцов в каждом). При перемещении стрелок циферблата таблицы смещались на первый столбец того или иного «раздела», а при каждом нажатии кнопок – на следующий столбец «раздела».

VII. Заключение

В [2] Каценелленбоген, отдавая должное русским счетам как простому, удобному и надежному счетному инструменту, констатировал, что они получили распространение только в России, и что за границей ими не пользуются. Он формулирует причины этого, указывая на присущие счетам недостатки, особо отмечая их малую приспособленность для выполнения операций умножения и деления, и предлагает свой вариант решения проблемы. В целом описанные счетные приборы С.А. Каценелленбогена находились в русле попыток различных российских изобретателей усовершенствовать русские счеты, снабдив их дополнительным устройством для умножения и деления (здесь можно вспомнить счеты Ф.В. Езерского [15] и Н.И. Компанейского [там же]). Однако нельзя сказать, что эта попытка полностью удалась. Его приборы были и сложны, и слишком дороги и едва ли могли заменить массовому пользователю привычный ему инструмент – счеты. Тем не менее, изобретения С.А. Каценелленбогена представляют несомненный интерес не только как еще одно свидетельство работы российской изобретательской мысли, но и как одна из первых попыток (пусть и не слишком удачная) вывести на рынок отечественный универсальный счетный прибор.

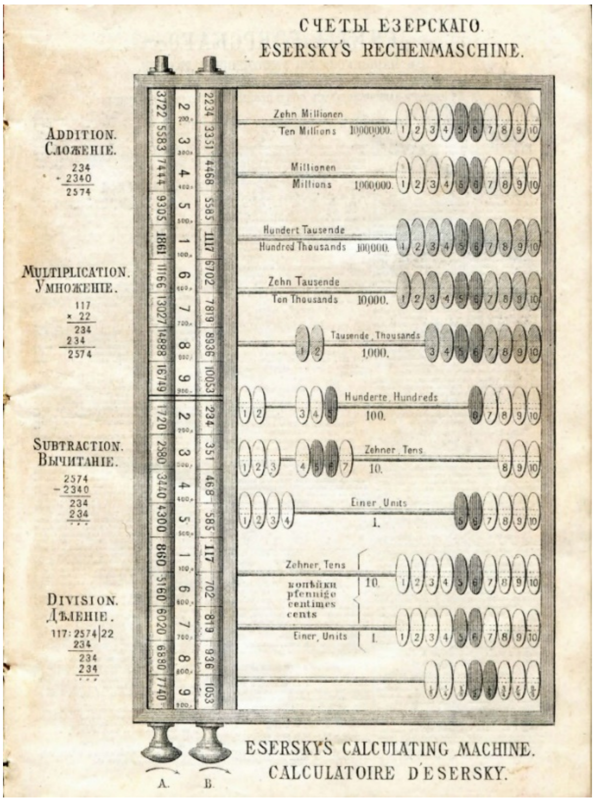


Рис. 8. Счёты Ф.В. Езерского

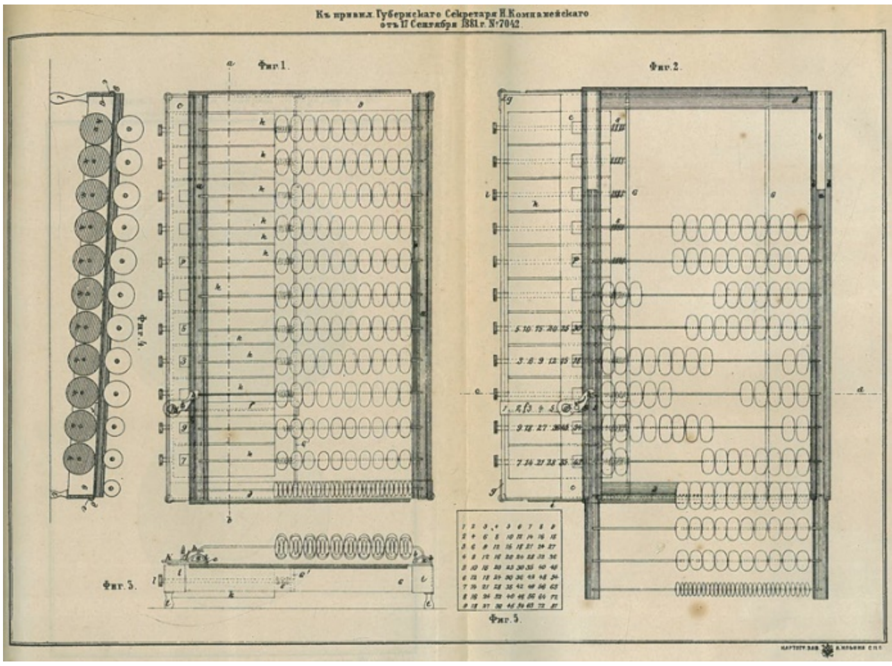


Рис. 9. Счёты Н.И. Компанейского

Список литературы

1. Каценелленбоген С.А. Объяснения к употреблению счетного аппарата, изобретенного учителем С. Каценелленбогеном для производства сложения, вычитания, умножения, деления над целыми числами и дробями, возвышения в степени, извлечения корней и определения окружности и площади круга. Минск, 1875.
2. Каценелленбоген С.А. О новоизобретенном счетном аппарате. Минск, 1876.
3. Каценелленбоген С.А. О новоизобретенном счетном аппарате. СПб., 1880.
4. Каценелленбоген С.А. Новоизобретенный счетный аппарат С.А. Каценелленбогена. СПб., 1886.
5. Hasselblatt A. Über Methoden und mechanische Hülfsmittel zum Erleichtern des Rechnens // Protocolle des St. Petersburger Polytechnischen Vereins. 1889. № 3. S. 86-89.
6. А. Д. Каненелленбоген, Авраам бен-Симха // Еврейская энциклопедия: Сборник знаний об иудаизме и его культуре в прошлом и настоящем. Т. 9. СПб., [1911].
7. Каценелленбоген С.А. Полный курс арифметики. С прил. 1300 практич. задач [для упражнения]. В 2-х ч. Вильна, 1873.
8. Каценелленбоген С.А. Готовые умножение, деление, вычисление процентов и учетов векселей, обращение простых дробей в десятичные, возвышение чисел во 2-ю и 3-ю степени, извлечение квадратных и кубических корней, определение окружности, площади или диаметра круга. Сост. и издал [учитель] *С.А. Каценелленбоген*. Минск, 1876.
9. Манойленко А.С., Манойленко Ю.Е. «Секретная инструкция генерал-губернаторам о евреях» 1850 г. (новый источник по истории института «ученых евреев» при генерал-губернаторах) // Евреи Европы и Ближнего Востока: культура и история, языки и литература. Материалы международной научной конференции. СПб., 2018. С. 10-16.
10. Каценелленбоген С.А. Таблицы, показывающие плату, взимаемую за хранение товара в пакгаузах станций железных дорог. Сост. С.А. Каценелленбоген. СПб., 1882.
11. Каценелленбоген С.А. Таблицы для легчайшего перечисления иностранных монет на русские и стоимости английской тонны в стоимость пуда по данным биржевым курсам от 20 до 34 пенсов за рубль. При сем прил. общесравнительные табл. фунтов, центнеров, листов и мер емкости. СПб., 1882.
12. Каценелленбоген С.А. Расчетная книга, или Таблицы, показывающие: а) плату за вещи, приобретаемые весом, мерою или поштучно, б) заработок поденных рабочих с прибавкою за лишний труд и в) расчет служащим при их увольнении. СПб., 1884.
13. Тихомиров П.К. Историческая записка 75-летия С.-Петербургской второй гимназии. Ч. 3: (1881–1905). СПб., 1905.
14. Еврейские корни // https://forum.j-roots.info/viewtopic.php?t=139&start=100#p2372
15. фон Бооль В.Г. Приборы и машины для механического производства арифметических действий. М., 1896. 244 с.

СТАНОВЛЕНИЕ И РАЗВИТИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В СО РАН

Валерий Павлович Ильин
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН,
Новосибирск, Российская Федерация, ilin@sscc.ru

История учит человека тому,
что человек ничему не учится из истории.

Парадокс Гегеля

Аннотация – **Излагается история зарождения и развития проблематики искусственного интеллекта в ВЦ СО АН СССР под руководством А.П. Ершова, Г.И. Марчука, С.К. Годунова и Н.Н. Яненко, включая взаимодействие человека и ЭВМ, автоматизацию построения алгоритмов и аналитических преобразований. Приводится также обзор дальнейших исследований, проводившихся в ИМ, ИСИ, ИВМиМГ и в других институтах СО РАН, включая анализ результатов последних лет по интеллектуализации математического и программного обеспечения нового поколения для суперкомпьютерного предсказательного моделирования.**

Ключевые слова – **искусственный интеллект, автоматизация построения алгоритмов, взаимодействие человека с компьютером, математическая база знаний.**

I. Введение

Искусственный интеллект (ИИ), совместно с проблемами больших данных и высокопроизводительными вычислениями, составляет неделимую тройственную структуру, на которой зиждется суперкомпьютерный прогресс, лежащий в основе протекающей ныне 4-й индустриальной революции. Естественно, что актуальность интеллектуализации математического и программного обеспечения (МПО) значительно увеличивается с появлением постпетафлопсных и экзафлопсных многопроцессорных вычислительных систем (МВС). Однако справедливости ради следует отметить, что перспективность распознавательных возможностей компьютера была предсказана еще в 19-м столетии создателем аналитической машины Ч. Бэббиджем и Ады Лавлейс, которая признана первым в мире программистом [1].

Направления фундаментальных исследований по искусственному интеллекту очень обширны, и не менее востребованы его актуальнейшие приложения: автоматизация построения алгоритмов, распознавание образов, базы знаний, экспертные системы, нейросети, машинное обучение, системы принятия решений, робототехника (в том числе беспилотники) и т.д. Наше основное внимание будет сосредоточено на методологических принципах интеллектуализации разработок вычислительных алгоритмов и технологий, реализуемых в составе интегрируемых вычислительных окружений (ИВО) для высокопроизводительного решения междисциплинарных прямых и обратных задач предсказательного моделирования, уже являющегося главным орудием получения новых фундаментальных и прикладных знаний.

Основы этих подходов зарождались еще полвека назад, и одним из центров кристаллизации новых идей явился Новосибирский Академгородок, ставший после своего основания в 1957 г. столицей Сибирского отделения АН СССР. Следует отметить, что это были годы восстановления страны из послевоенной разрухи, период холодной войны и экономической изоляции от развитых западных государств.

Альма матер сибирской *Computer Science* стал Вычислительный центр СО АН СССР, официально открытый в январе 1964 г. и до этого функционировавший в составе Института математики СО АН. Организатор и директор ВЦ, Гурий Иванович Марчук – будущий преемник М.А. Лаврентьева на посту Председателя СО АН (1975-1980) и последний президент АН СССР (1985-1991), привлек в новый институт выдающихся ученых, создавших свои научные школы мирового уровня, среди них А.П. Ершов, М.М. Лаврентьев, Н.Н. Яненко, А.А. Алексеев, С.К. Годунов, Г.А. Михайлов [2]. На пике своего развития ВЦ СОАН насчитывал около 1300 сотрудников, а его машинный парк по суммарной мощности ЭВМ занимал третье место в Советском Союзе. Созданный как автономная организация Главный Производственный Вычислительный центр был идеальной фабрикой машинного времени, успешно внедрявшей новинки компьютерных технологий, включая отечественные параллельные машины ПС-2000 и ЕС ЭВМ, причем работа еще в 1970-е гг. велась фактически на коммерческих началах. ВЦ СОАН был Меккой для мировых ученых, специалистов по вычислительной математике и моделированию, а также по теоретическому, системному и прикладному программированию, сотрудники института были активными участниками и организаторами международных конференций. Не случайно в этой «точке кипения» зарождались новые идеи и междисциплинарные научные направления, одним из которых явился искусственный интеллект.

ВЦ стал кузницей кадров для многих институтов Академгородка и других научных центров. На его базе функционировало пять университетских кафедр, в том числе самые массовые кафедры программирования в НГУ и НЭТИ. ВЦ СОАН организовал ряд дочерних институтов, куда направлялись научные десанты, а около 30 «выпускников» Вычислительного центра стали директорами институтов. После развала СССР и трагических для российской науки 90-х годов целая армия научно-инженерных специалистов, особенно программистов, ушла за границу и в бизнес.

Однако заложенная в советское время российская академическая среда и образовательные структуры оказались необычайно живучими, и начало 21-го столетия стало периодом активизации вычислительных наук и технологий. Появившиеся в Академгородке многочисленные «софтовые» фирмы приобрели международную известность как «силиконовая тайга», которая успешно существует, в том числе за счет зарубежных заказов. Неслучайно данный регион оказался центром притяжения для ряда транснациональных компьютерных и нефтяных компаний.

Мир *Computer Science* за последние десятилетия кардинально изменился. Появление Интернета, мобильных телефонов, социальных сетей и суперкомпьютеров экзафлопсного уровня ставит перед цивилизованным миром качественно новые вызовы, еще далеко не осознанные научным сообществом. Темпы технологического прогресса ускоряются, в этой ситуации обретают качественно новый смысл философские и гуманитарные вопросы устойчивого мирового развития. По этим историческим процессам существует разнообразная литература [3-15], и здесь одну из ключевых ролей играет искусственный интеллект, анализ этапов становления и развития которого может помочь в осознании его миссии и формировании дорожной карты, которая должна найти решение для новых беспредельных проблем цивилизации.

II. Первые интеллектуальные «ласточки»

Зарождение и формирование «сибирского» искусственного интеллекта происходило в ВЦ СО АН, который отделился от Института математики СО АН СССР в 1964 г. Понятно, что вычислительные науки – это область интеллектуальной деятельности. И наоборот, искусственный интеллект невозможен без преобразования информации, одним из важнейших видов которого являются вычисления. С появлением первых ЭВМ стало очевидно, что они кардинально повлияют на формы и содержание человеческой деятельности. В 1948 г. Н. Винер ввел термин «кибернетика» – наука об управлении и передаче данных, это понятие не могло не включать интеллектуальные аспекты. К сожалению, в СССР политические идеологи заклеймили эту область как «реакционную лженауку». Постепенно эти философские «вывихи» исправлялись, чему способствовала опубликованная в 1955 г. в журнале «Вопросы философии» статья С.Л. Соболева, А.И. Китова и А.А. Ляпунова в защиту кибернетики. Сейчас это слово почти исчезло из русскоязычной научной литературы. Позднее ему на смену пришел термин «информатика», но ненадолго.

Алексей Андреевич Ляпунов (1911-1973) по праву считается основоположником отечественной школы программирования. В 1952 г. на кафедре вычислительной математики МГУ, возглавляемой С.Л. Соболевым, он объявил спецкурс «Принципы программирования», во время чтения которого зародились развитые затем А.А. Ляпуновым идеи автоматизации программирования, операторного метода и синтаксических структур, реализованные в первых отечественных трансляторах. После переезда в Академгородок Алексей Андреевич возглавил отдел математической логики и кибернетики и сразу активизировал местную кибернетическую жизнь. Он дома организовал семинар по кибернетике, куда ходили и чистые математики, и лингвисты, и экономисты, и биологи. В НГУ А.А. Ляпунов основал кафедру теоретической кибернетики и был одним из организаторов знаменитой Новосибирской физматшколы. Все последние годы своей жизни Алексей Андреевич увлеченно продвигал проблемы кибернетического эксперимента в исследованиях производственных процессов, биологии, имитационного моделирования, лингвистики и машинного перевода. Без сомнения, его можно назвать предтечей современного, т. е. интеллектуального, математического моделирования.

Огромную роль в жизни Института математики СО АН СССР сыграл Леонид Витальевич Канторович, проработавший в нем с 1960 по 1971 г. Еще в 1953-1954 гг., после появления первых ЭВМ, он разработал методологию крупноблочного программирования с использованием операторных схем, аналитических выкладок и построением программирующих программ. В Академгородке Леонид Витальевич организовал и возглавил кафедру вычислительной математики НГУ и отделение математической экономики Института математики, в котором активно развивались методы оптимизации и их реализации на вычислительных машинах. Здесь же был разработан проект специализированной «арифметической машины» (АМ) для решения задач линейной алгебры и линейного программирования, которая явилась прообразом будущих векторных конвейерных процессоров.

Говоря об этом «инкубационном» периоде сибирских вычислительных наук, нельзя не восхититься прозорливостью М.А. Лаврентьева и С.Л. Соболева, которые, будучи «чистыми» математиками, смогли предвидеть мировые тенденции *Computer Science* и сделали не только необходимые, но и достаточные выводы для обеспечения развития Сибирского отделения.

Крупнейшим подразделением молодого Вычислительного центра СОАН был отдел программирования, взявшийся под руководством А.П. Ершова за решение грандиозной задачи – разработку языка, транслятора и системы программирования АЛЬФА – русского варианта ALGOL, являвшегося в 1960-е годы каноническим средством описания алгоритмов. Этот проект инициировал поток разнообразных исследований и по теории программирования, и по технологиям трансляции, и по языковым аспектам, и по вопросам искусственного интеллекта. Одна из основных задач ИИ – совершенствование взаимодействия человека с ЭВМ. Этой идее был посвящен доклад Г.И. Марчука и А.П. Ершова, представленный на конгрессе Международной федерации по обработке информации в 1965 г., где авторы сформулировали проблему создания системы программирования для автоматизации построения алгоритма решения задачи в достаточно общей операторной постановке. Своеобразным подтверждением актуальности данной тематики является недавний интеллектуальный эксперимент по игре профессионалов в «живые», или активные, шахматы, когда игрок – это человек с компьютером. Оказалось, что сильнейшая пара не та, в которую входит супергроссмейстер или суперкомпьютер, а та, где наилучшее взаимопонимание человека и ЭВМ.

Любопытно, что первая защищенная в ВЦ кандидатская диссертация (В.Л. Катков, 1965 г.) была посвящена интеллектуализации сложной математической задачи – групповому анализу дифференциальных уравнений, разрабатываемому Л.В. Овсянниковым в Институте гидродинамики СОАН. Созданная тогда программа КИНО (Координаты ИНфинитезимального Оператора) была бы «в теме», востребованной и в наши дни. В рамках системы АЛЬФА И.В. Поттосиным был разработан ДИФПРОЦЕССОР для автоматизированного дифференцирования функций, а М.М. Бежановой – подсистема ТЕНЗОР, осуществляющая выполнение векторно-матричных операций. Была также создана система АНАЛИТИК с реализацией схемы Л.В. Канторовича для программирования математической символики на ЭВМ. На машинах того поколения (1966 г.) реализовали систему разделения времени АИСТ-0, которую сам А.П. Ершов сравнивал с установкой ракетного двигателя на телегу.

В 1973 г. была сформирована группа А.С. Нариньяни, в 1977 г. реорганизованная в Лабораторию искусственного интеллекта, в которой велись исследования по общению с компьютером на языке естественного типа, математической лингвистике и вычислениям на недоопределённых моделях. Первоначальный проект коллектива, однако, был связан с разработкой математического и программного обеспечения для «макета шагающего автомата, управляемого от ЦВМ». Далее крупной разработкой стала РИТА (Рисунок – Информация – Текст – Автор) – система перевода словесного описания в рисунок, основанная на цифровизации конструкций русского языка. Развитием лингвистических исследований явилась большая разработка ЗАПСИБ (ЗАПрос к Справочно-Информационной Базе), призванная реализовать поддержку диалога человека с ЭВМ и основанная на семантическом анализе текстов с широкой областью применения. В лаборатории ИИ был также реализован теоретико-множественный язык СЕТЛ, ориентированный на программирование логически сложных задач. Параллельно с языковыми разработками создавались программные инструменты для построения ряда практических диагностических экспертных систем.

На основе разработанного А.С. Нариньяни аппарата недоопределенных вычислений была предложена система программирования УНИКАЛЬК, в математическом плане реализующая оригинальный способ решения обратных задач идентификации параметров модели [16]. Может показаться неожиданным, но такой подход перекликается с попытками формализации интеллектуальной деятельности, активно развиваемой в течении многих лет Г.С. Альтшуллером и его последователями в системе ТРИЗ (Теория Решения Изобретательных Задач) [17].

Лаборатория ИИ плодотворно сотрудничала с коллегами из Франции, Германии и других стран. Ее результаты были опубликованы в специальном выпуске журнала *Communications of the ACM* под названием «*Soviet Computing*». В 1990 г. коллектив лаборатории перешел в только что созданный Институт систем информатики (ИСИ СОАН СССР), где лаборатория искусственного интеллекта успешно функционирует по сей день.

В 1992 г. А.С. Нариньяни переехал в Москву и возглавил там Российский НИИ Искусственного интеллекта с филиалом в Новосибирске. Позднее его ученики организовали программистскую компанию ЛЕДАС, успешно выполняющую заказы по актуальным САПРовским проблемам и в настоящее время. Лаборатория ИИ в ИСИ СО РАН, руководимая Ю.А. Загорулько, вносит свой существенный вклад в развитие инженерии знаний.

Перейдем к более прикладным областям программирования, связанными с обеспечением вычислительных экспериментов, методологией и технологиями математического моделирования. Фактически в 1960-1980-е гг. зародилось новое направление человеческой деятельности, в котором переплелись и фундаментальные проблемы, и не менее актуальные технические вопросы. Вычислительная математика и информатика, стали реальным орудием познания во всех производственных и социальных сферах.

Одним из центров кристаллизации зарождающейся научной области стал сформированный и возглавляемый Н.Н. Яненко отдел механики сплошных сред ВЦ СО АН СССР. Организационно он существовал с 1964 по 1976 г., после чего практически все его сотрудники перешли в Институт теоретической и прикладной механики СОАН СССР, директором которого стал Н.Н. Яненко. Ядро отдела МСС составляли Ю.А. Березин, Г.В. Демидов, В.М. Ковеня, А.Н. Коновалов, В.М. Фомин, В.П. Шапеев, Ю.И. Шокин – ученые с разными интересами и судьбами, но все они внесли существенный вклад в становление оригинальной вычислительной школы, по праву носящей имя Н.Н. Яненко. Николай Николаевич организовал также кафедру численных методов механики сплошных сред НГУ, профессорско-преподавательский штат которой фактически состоял из сотрудников его отдела.

Проблематика механики сплошных сред всеобъемлюща: гидро- и газодинамика, упругость твердого тела и пластичность, фильтрация многофазных сред и физика плазмы. Все эти задачи имеют экстремальную вычислительную сложность, характеризуемую высокой размерностью, большим количеством неизвестных функций, сильной нелинейностью процессов и неоднородностью материальных свойств. Ситуация кардинально усугубляется, когда заказчиками являются представители оборонных министерств, что однозначно определяет жесткие требования к точности. Из конкретных жизненных условий возник вопрос почти гамлетовского звучания: как на существующем техническом и программном обеспечении решать большие задачи? А если этот вопрос трансформировать, то получается новая научная проблема: какой должна быть архитектура вычислительной системы, инструментальных и прикладных программных комплексов, чтобы эти задачи решались эффективно?

Эти вопросы стали активно обсуждаться на семинарах отдела МСС, которые благодаря организационной деятельности Николая Николаевича переросли во всесоюзные. Впечатляет даже простое перечисление тематики семинаров и школ, руководителем которых был Н.Н. Яненко: модели механики сплошной среды, аналитические методы в газовой динамике, численное решение задач вязкой несжимаемой жидкости, решение задач теории упругости и пластичности, численное решение задач фильтрации многофазной жидкости, комплексы программ для задач математической физики. За последним впоследствии утвердилось название «семинар по пакетам прикладных программ». Его восемь сессий-совещаний, прошедших за 1971-1983 гг. в Новосибирске, Иркутске, Таллинне, Днепропетровске, Ташкенте и других городах СССР, вовлекли сотни ведущих специалистов страны, включая академиков А.А. Самарского, О.М. Белоцерковского, Н.Н. Моисеева, и сыграли незаменимую методологическую и организационную роль в становлении и развитии отечественной вычислительной информатики.

Именно на этих заседаниях вырабатывались основные понятия, определения и методологические принципы, ставшие фундаментом новой дисциплины, получившей недавно официальный статус специальности «математическое моделирование». Дело доходило до философских споров, например, на тему, является ли программный или математический модуль объективной реальностью?!

Н.Н. Яненко, совместно с А.Н. Коноваловым, ввел и развил ряд основополагающих концепций и положений. В 1972-1973 гг. он сформулировал свою знаменитую технологическую цепочку современной вычислительной математики: реальное явление → его математическая модель → численный алгоритм → программа, реализующая этот алгоритм → вычисления по этой программе → анализ результатов. Отсюда возникает задача систематизации и оптимизации методов, применяемых на каждом из взаимосвязанных шагов технологической цепочки, установления соотношений между элементами этих структур и глобальной оптимизации всей вычислительной схемы. Здесь проблема заключается в кардинальном повышении производительности труда математика-программиста, являющейся черепашьей на фоне экспоненциально роста мощностей вычислительной техники.

На основе модульного анализа задач и алгоритмов были созданы технологические парадигмы и конкретные разработки пакетов прикладных программ, включающих развитые системные и функциональные наполнения. Коллегами Н.Н. Яненко (В.М. Ковеня, А.П. Лымарев, А.Д. Рычков и др.), уже в составе ИТПМ СОАН СССР, были реализованы программные комплексы АРФА, ИСТОК, ВАМЕР и СПРУТ для исследований в области аэродинамики и гидродинамики, построенные на передовых по тем временам принципах архитектур и организации эксплуатации. Под руководством А.Н. Коновалова коллективом разработчиков (Г.В. Шустов, А.И. Бугров, Л.Б. Чубаров и др.) была создана серия ППП с развитыми системными компонентами: ЗЕРКАЛО для решения задач теории упругости при моделировании деформаций крупногабаритных оптических изделий, НЕФТЬ для расчета фильтрационных процессов при добыче нефти с помощью вытеснения ее водой. При поддержке Николая Николаевича Ю.И. Шокин со своими учениками развил цикл теоретических и экспериментальных исследований по интервальному анализу.

Можно напомнить также ещё одну знаковую работу Н.Н. Яненко (выполненную совместно с В.П. Шапеевым и В.П. Ильиным), связанную с интеллектуализацией построения алгоритмов, а именно – автоматическим выводом разностных схем высокого порядка точности на основе машинных символьных преобразований. Николай Николаевич – один из первых математиков в мире, кто профессионально занялся распараллеливанием алгоритмов, главным стратегическим направлением вычислительной математики в эпоху многопроцессорных суперкомпьютеров. Еще в 1977 г. он опубликовал статью об организации параллельных вычислений и «распараллеливании прогонки». Здесь обнаружилось то счастливое обстоятельство, что изобретенный Н.Н. Яненко 20 лет назад метод дробных шагов идеально реализуется на многопроцессорных вычислительных системах. Однако возникает другое узкое место – временные потери при межпроцессорных коммуникационных обменах и Николай Николаевич активно обсуждает вопросы компьютерных архитектур с ведущими отечественными разработчиками ЭВМ. Большое внимание он уделял алгоритмическому обоснованию перспектив создания высокопроизводительных специализированных процессоров параллельного действия для решения определенных классов задач математической физики. Работы Н.Н. Яненко были широко известны и имели высочайший рейтинг за рубежом. У него были многочисленные творческие контакты с ведущими учеными мира, он активно участвовал в рабочей группе ИФИП.

Значительную роль в «интеллектуализации математики» в ВЦ СОАН сыграл С.К. Годунов. Большая группа авторов – его учеников – А.Г. Антонов, А.Я. Булгаков, О.П. Кирилюк, В.И. Костин, А.Н. Малышев, перешедшие позже в Институт математики СО РАН, разработали серию уникальных алгоритмов вычислительной алгебры, вошедших в библиотеку программ ПОЛИНА, реализующую матрично-векторные задачи с гарантированной (!) точностью на основе предварительного анализа спецификаций конкретной ЭВМ и свойств устойчивости или неустойчивости каждого расчетного этапа.

Интересные исследования были проведены С.К. Годуновым с коллегами по построению адаптивных сеток для многомерных краевых задач со сложными конфигурациями кусочно-гладких границ. В основу методологии он положил человеческий фактор: стремление строить «красивые» с точки зрения математика-эксперта сетки. Понятно, что такой субъективный подход достаточно сложно формализовать, однако его экспериментальная апробация демонстрировала хорошие результаты. Годуновские идеи были реализованы В.Л. Катковым в демонстрационной версии сеточного генератора.

В лаборатории автоматизации построения алгоритмов, в которую после 1968 г. вместе с В.П. Ильиным пришли новые люди – Б.И. Голубцов, В.М. Свешников, Е.А. Ицкович, А.Л. Урванцев, С.П. Гололобова, В.Я. Иванов, Н.И. Горбенко, А.Н. Юдин, М.В. Урев, В.А. Катешов и др. – за долгие годы коллективной работы было фактически создано направление вычислительной электрофизики, включающее задачи моделирования высоковольтной аппаратуры, электронно-оптических и полупроводниковых приборов, ускорителей, электронных и ионных пушек, средств сильноточной СВЧ-электроники и т. д. Для расчетов различного типа устройств были разработаны программные пакеты КСИ-БЭСМ, ЭРА, ЭФЕС, ЭФИР, ЭДС и др., осуществляющие автоматизацию всех этапов вычислительного процесса: двумерное и трехмерное геометрическое моделирование, построение сеток и аппроксимаций в сложных расчетных областях, линейные и нелинейные итерационные процессы, а также средства интеллектуального графического интерфейса с управлением численными экспериментами. Пользователями этих пакетов были более 100 организаций из городов и республик СССР, в значительной степени из оборонных министерств.

С точки зрения важной практической задачи с высоким уровнем интеллектуальной сложности можно привести пример реализованного В.А. Катешовым крупномасштабного вычислительного эксперимента по многопараметрической оптимизации электронно-оптического преобразователя (ЭОП), лежащего в основе прибора ночного видения. Проблема заключалась в нахождении физических режимов и геометрической конфигурации электродов с достаточно сложной топологической структурой, которая обеспечивает требуемые оптические характеристики прибора при заданных инженерных ограничениях на его конструктивные особенности. Более конкретно, требовалось провести глобальную минимизацию целевого функционала, имеющего овражный характер и выражаемого через аберрации оптического изображения до третьего порядка включительно при достаточно жестких линейных и нелинейных ограничительных условиях на оптимизируемые параметры.

Такая проблема могла быть решена только с помощью мета-алгоритма на основе формирования последовательно выполняемых расчетных сеансов при взаимодействии ЭВМ с живыми экспертами, динамически переформировывавшими локальную задачу оптимизации на основе анализа промежуточных результатов. Каждый такой сеанс (как правило, ночной) на машине М-220 длился около пяти-семи часов, а общее их число составило несколько десятков. В итоге задача была решена, на основе расчетных данных создали прибор, эксплуатационные характеристики которого соответствовали проектным. Этот уникальный результат был достигнут как итог многолетних исследований, по результатам которых была опубликована монография, по просьбе иностранных специалистов переведенная на английский язык.

III. Интеллектуальные вызовы и проблемы XXI века

После наступления нового тысячелетия в компьютерном мире продолжал действовать закон Мура, одного из основателей компании Интел: увеличение вычислительных мощностей в 1000 раз за 11 лет. Этот экспоненциальный рост относится и к суперкомпьютерным рекордсменам, и к средним показателям мирового списка лидеров ТОП-500. При этом почти одинаково растет и объем оперативной памяти: одному терафлопсу, например, соответствует приблизительно один терабайт запоминающих устройств. Существуют и другие интерпретации закона Мура. Очень важная деталь: существующие темпы относятся и к увеличению плотности размещения элементной базы, что ведет к миниатюризации персональных компьютеров и мобильных устройств, результатом чего являются массовые информационные технологии с огромными социальными последствиями для цивилизации. Все эти аспекты составляют материальную базу ускорения прогресса в искусственном интеллекте. Конечно, скоро наступит насыщение роста традиционной микроэлектроники, в силу непреложных физических законов. Однако уже на пороге появление квантовых компьютеров, что означает очередной кардинальный скачок возможностей человечества.

В 2008 г., после пришествия первого в мире петафлопсника, Дж. Донгарра вместе с ведущими экспертами сформировал проект *International Exascale Software Project* (*IESP*) и опубликовал «дорожную карту» для суперкомпьютерного сообщества, в которой была сформулирована сверхзадача: разработка огромных объемов программного обеспечения нового поколения, создание которого возможно только на основе широкой кооперации.

За десятилетия существования ЭВМ накоплены огромные объемы программного обеспечения, представляющего неоценимый интеллектуальный потенциал. Мы остановимся на прикладных разработках, существующих в различных формах и представляющих невообразимый «зоопарк»: дорогие коммерческие продукты и открытые изделия (*Open Source*), огромные программные комплексы, библиотеки, проблемно-ориентированные пакеты и отдельные вычислительные модули. Всё это составляет многомиллиардный рынок, но зачастую функционирует в Интернете как полулегальный «базар».

В последние годы профессиональное сообщество наметило переход к интегрируемым вычислительным окружениям (ИВО), составляющих методо-ориентированные экосистемы для решения междисциплинарных прямых и обратных задач математического моделирования процессов и явлений в самых разнообразных сферах человеческой деятельности. Примерами таких проектов являются *DUNE* (*Distributed Unifed Numerical Environment*), *Open FOAM* и *INMOST* (разработка ИВМ РАН им. Г.И. Марчука), информация о которых доступна в Интернете. В ИВМиМГ СО РАН много лет ведутся работы по Базовой системе моделирования (БСМ) [18], предназначенной для поддержки всех основных стадий крупномасштабного вычислительного эксперимента, включая формирование математической постановки, дискретизацию многомерных задач, аппроксимацию решаемых дифференциальных и/или интегральных уравнений, реализацию алгебраических систем, обработку и визуализацию расчетных данных, методы оптимизации для обратных задач, анализ полученных результатов и принятие решений.

Концепция БСМ заключается в том, что каждый из перечисленных этапов реализуется автономной подсистемой, взаимодействующей с другими посредством согласованных структур данных: геометрических, функциональных, сеточных, алгебраических и т.д. Функциональное наполнение этих стадий основывается на развитой интеллектуальной оболочке, рассчитанной на автоматизацию построения высокоэффективных алгоритмов с целью кардинального повышения производительности труда математиков-программистов. Необходимо отметить, что в современных МВС выполнение коммуникационных операций не только замедляет вычислительный процесс, но и является весьма энергозатратным, что существенно сказывается на эксплуатационных расходах. Отсюда возникает математическая проблема построения алгоритмов с минимальным объемом запоминаемых данных, что приводит к предпочтению использования методов повышенной точности. Такие подходы зачастую приводят к громоздким и трудно программируемым формулам, но в этом человеку должны помочь существующие интеллектуальные инструменты.

В составе ИВО, помимо БСМ, предлагается достаточно развитое системное наполнение, в целом такой проект должен удовлетворять следующим техническим требованиям: гибкое расширение состава реализуемых моделей, применяемых алгоритмов и технологий; адаптация к эволюции компьютерных платформ; унифицированные структуры данных и эффективное переиспользование внешних программных продуктов, интеллектуальные внутренние и пользовательские входные/выходные интерфейсы; согласованное участие различных групп разработчиков. Соблюдение перечисленных условий призвано обеспечить длительный жизненный цикл проекта и его востребованность со стороны широкого круга разнопрофильных пользователей.

Одним из главных компонентов ИВО, включающим за его интеллектуальные возможности, должна быть БАЗ – база алгоритмических знаний, которая может поддерживать максимальную эффективность работы всем ее клиентам: разработчикам (математикам и программистам), конечным пользователям с разной профессиональной подготовкой, административному персоналу. Это включает верификацию и тестирование кода, документирование, технологическое сопровождение и консультирование, выполнение заказных расчетов, работы по развитию всей системы и т.д. Образно говоря, в БАЗ должны быть все информационные и инструментальные компоненты, среди них: классифицированная библиография и глоссарий, многоверсионная библиотека (фонд) алгоритмов и программ, пользовательская документация с примерами использования, архив расчетных данных с результатами решения задач, средства для пополнения библиотечных и информационных компонент, экспертная система и/или средства принятия решений, инструменты машинного обучения технологиям моделирования, средства выбора алгоритмов для решения конкретных задач, инструменты отладки, верификации, валидации и тестирования программ, фабрика пользовательских интерфейсов, средства взаимодействия с внешними продуктами, в том числе с САПРовскими разработками (*CAD*, *CAE*); коммуникационные инструменты для взаимодействия с внешним миром.

Рассмотренные проекты ИВО и БАЗ очевидным образом меняют масштаб разработки, которая не может быть реализована одной группой и требует длительной координации вычислительного сообщества. Для такой кооперации необходима глубокая специализация с участием как производственных команд программистов, так и реализаций академического характера и, кроме того, учебных версий кода со своими специфическими требованиями. Отметим, что прообразом БАЗ в информационном плане является разработанный под руководством Дж. Донгарры и В.В. Воеводина проект AlgoWiki [19], а особенности создания распределенных вычислений рассматриваются в работе [20].

Последние два десятилетия исследования в области искусственного интеллекта в Новосибирском Академгородке, Иркутске, Красноярске и Томске ведутся достаточно широким фронтом. В ИСИ СО РАН сотрудниками основанной А.С. Нариньяни лаборатории активно продолжаются работы по системам принятия решений и экспертным системам [21-22]. В Институте математики СО РАН уже много лет специалистами по математической логике (Ю.Л. Ершов, С.С. Гончаров, Д.И. Свириденко) на основе результатов теоретических исследований разрабатываются актуальные прикладные вопросы семантического моделирования [23]. В Институте вычислительных технологий (ФИЦ) и в НГУ ведутся интересные работы по лингвистическим проблемам (В.П. Барахнин, Д.Е. Пальчунов). В ИВМиМГ СО РАН активно ведутся исследования по ИИ в лабораториях вычислительной физики, суперкомпьютерного моделирования и синтеза параллельных программ [24-27], недавно сформирована Лаборатория искусственного интеллекта во главе с М.А. Марченко, ориентированная на экологические и другие серьезные приложения.

IV. Заключение. Задачи и перспективы устойчивого развития

Приведенный исторический обзор свидетельствует, что «сибирский искусственный интеллект» имеет глубокие корни и хорошие предпосылки для дальнейших исследований как в методическом плане, так и в смысле технологических разработок для актуальных приложений. Следует признать, что в этой области еще требуется профессиональное, в первую очередь математическое, осмысление ряда понятий, ставших обыденными в средствах массовой информации, но не получили строгих определений и конкретных содержаний. Примерами могут служить такие категории, как «цифровизация», «двойники», «трансформация», «нейросеть», «машинное обучение».

Последний термин, в частности, перекликается с «суррогатной оптимизацией», основанной на быстром предсказательном моделировании (возможно, сначала достаточно приблизительном, с возможностью последующего уточнения) изучаемого объекта или процесса на основе статистической и/или эмпирической обработки большого объема данных, как экспериментально измеряемых, так и расчетных. Такой подход подразумевает этап «обучения» компьютерной модели, когда предварительно насчитывается и запоминается большое количество пробных вариантов, которые затем оперативно анализируются для принятия экспертного решения. Эта методология может означать компромисс между технологиями *big data*, или «*data science*», с классическим математическим моделированием [28, 29]. С другой стороны, этот принцип использования накопленного человеческого опыта для решения интеллектуальных задач перекликается с идеями Г.С. Альтшуллера [17] о создании технологии изобретательной деятельности.

Глобализация возможностей суперкомпьютерного моделирования на основе интеллектуальной обработки огромных объемов данных уже выходит за рамки научно-технологических проблем и начинает привлекать внимание крупного бизнеса, а также государственных и политических деятелей. Большую собственную программу по искусственному интеллекту объявил руководитель СБЕРа Г.О. Греф, а организованная им в ноябре прошлого года Международная конференция AI Journey 2022 явилась беспрецедентной по составу участников – ученых и высокопоставленных персон. В качестве примера важного общественного внимания к ИИ можно также привести статью бывшего Госсекретаря США Г. Киссинджера, опубликованную в журнале *The Atlantic* (2018 г.), в которой он пишет о влиянии ИИ на международную политику и рассматривает сегодняшнюю действительность с философской и исторической точки зрения как завершение основанной на разуме эпохи Просвещения.

Если говорить о Новосибирском Академгородке, где присутствуют различные науки и технологии, то здесь возникает уникальная возможность воплотить на компактной территории глобализацию интеллектуального моделирования, когда унифицированные математическое и программное обеспечение играет роль кровеносной или лимфатической системы с кардинальным ускорением эффективности фундаментальных и прикладных исследований. Эта идеальная картина, естественно, требует кропотливой организационной работы и устойчивого развития внешней социальной среды. Данные сферы деятельности, в принципе, тоже можно промоделировать и оптимизировать, но пока эту тему следует обсуждать только абстрактным образом, поскольку здесь мы вторгаемся в область социальных и гуманитарных проблем, где остаются открытыми даже вопросы существования корректных моделей.

Список литературы

1. Ильин В.П. Вычислительная информатика – открытие науки. Новосибирск: Наука: Сиб. отделение, 1991. 197 с.
2. Ильин В.П. Сибирская информатика: школы Г.И. Марчука, А.П. Ершова, Н.Н. Яненко // История информатики в России. Ученые и их школы. М.: Наука, 2003. С. 340-363.
3. Il'in V. Parallel intelligent computing in algebraic problems // Sokolinsky, L., Zymbler, M. (eds.) Parallel Computational Technologies. PCT 2021. Communications in Computer and Information Science. 2021. V. 1437. Springer, Cham.
4. Il'in V. Artificial intelligence problems in mathematical modeling // Voevodin V., Sobolev S. (eds.) RuSCDays 2019. CCIS. 2019. V. 1129. P. 505-516. Springer, Cham.
5. Forrester A., Sobester A., Keane A. Engineering Design via Surrogate Modeling: A Practical Guide. New York: Wiley, 2008.
6. Delfour M., Zolesio J.-P. Shape and Geometries: Metrics, Analysis, Differential Calculus, and Optimization. Philadelphia: SIAM Publ., 2011.
7. Cottrell J., Hughes T., Bazilevs Y. Isogeometric Analysis: Towards Integration of CAD and FEA. Singapore: Wiley, 2009.
8. Микони С.В. Формализация познавательного процесса на основе базиса моделей // Онтология проектирования. 2018. Т. 8. № 1 (27). С. 25-48.
9. LeCun Y., Bengio Y., Hinton G. Deep learning // Nature. 2015. Vol. 521. Pp. 436-444.
10. Weinan E. Machine learning and computational mathematics // Commun. Comput. Phys. 2020. Vol. 28. Pp. 1639-1670.
11. Боргест Н.М. Ключевые термины онтологии проектирования: обзор, анализ, обобщения // Онтология проектирования. 2013. № 3 (9). С.9-31.
12. Kleppe A. Software language engineering: Creating domain-specific language using metamodels. NY: Addison-Wesley, 2008.
13. Liao X., Lu K., Yang C., et. al. Moving from exascale to zettascale computing: challenges and techniques // Front. Inform. Technol. Electron. Eng. 2018. Vol. 19. No 1. Pp. 1236-1244.A.
14. Luccioni A., Bengio Y. On the Morality of Artificial Intelligence // arXiv:1912.11945 [cs.CY]. https://doi.org/10.48550/arXiv.1912.11945.

15. Dongarra J., Grigori L., Higham N.J. Numerical algorithms for high performance computational science, 2020. Vol. 378. Iss. 2166. https://doi.org/10.1098/rsta.2019.0066.
16. Загорулько Ю.А., Загорулько Г.Б. Недоопределенные модели Нариньяни: становление, применение, проблемы и перспективы // Труды SoRuCom-2020. С. 126-132.
17. Альтшуллер Г.С. Найти идею. Введение в теорию решения изобретательских задач. Новосибирск: Наука, 1986. 209 с.
18. Il’in V. The integrated computational environment for optimization of complex systems // Proceedings of the 15th International Asian School-Seminar «Optimization Problems of Complex Systems» (OPCS 2019). Pp. 65-67. https://doi.org/10.1109/opcs.2019.888015.
19. Antonov A., Dongarra J., Voevodin V. AlgoWiki Project as an Extension of the Top500 Methodology // Supercomputing Frontiers and Innovations. 2018. Vol. 5. No 1. Pp. 4-10.
20. Feoktistov A., Kostromin R., Sidorov I.A., Gorsky S.A. Development of distributed subject-oriented applications for cloud computing through the integration of conceptual and modular programming // Proc. of the 41st Intern. Conf. on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO 2018). Pp. 234-239.
21. Загорулько Ю.А., Загорулько Г.Б. Онтологический подход к разработке системы поддержки принятия решений на нефтегазодобывающем предприятии // Вестник НГУ. Сер.: Информационные технологии. 2012. Т. 10. Вып. 1. С. 121-128.
22. Zagorulko Y., Zagorulko G. Architecture of extensible tools for development of intelligent decision support systems // New Trends in Software Methodologies, Tools and Techniques. Proc. of the 10th SoMeT_11. Hamido Fujita (Eds.). Amsterdam: IOS Press, 2011. Pp. 457-466.
23. Goncharov S.S., Sviridenko D.I. Logical language of description of polynomial computing // Doklady Mathematics. 2019. Vol. 99. Iss. 2. Pp. 121-124.
24. Malyshkin V.E. Active knowledge, LuNA and literacy for oncoming centuries // LNCS. 2015. Vol. 9465. Pp. 292-303.
25. Il’in V.P., Skopin I.N. About performance and intellectuality of supercomputer modeling // Programming and Computer Software. 2016. Vol. 42. Iss. 1. Pp. 5-16.
26. Glinskiy B., Kulikov I., Sapetina A., Zagorulko Y., Zagorulko G. The creation of intelligent support methods for solving mathematical physics problems on supercomputers // Communications in Computer and Information Science. 2019. Vol. 1129. Pp. 427-438.
27. Gorodnichev M., Lebedev D. Semantic tools for development of high-level interactive applications for supercomputers // J. Supercomp. 2021. Vol. 77. Iss. 10. Pp. 11866-11880.
28. Бурнаев Е.В., Бернштейн А.В., Оселедец И.В. и др. Фундаментальные исследования и разработки в области прикладного искусственного интеллекта // Доклады РАН. Математика, информатика, процессы управления. 2022. Т. 508. С. 19-27.
29. Турдаков Д.Ю., Аветисян А.И., Оселедец И.В. и др. Доверенный искусственный интеллект: вызовы и перспективные решения // Доклады РАН. Математика, информатика, процессы управления. 2022. Т. 508. С. 13-18.