

Статья. Библиографические данные:

Житников А.П.

Базовые направления развития параллельной (и последовательной) алгоритмики.

// Сборник научных трудов: Применение инновационных технологий преподавания математических дисциплин в школе и в вузе (по материалам научно-практической конференции). – Борисоглебск: БГПИ, 2014.

– С. 64-95.

БАЗОВЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ (И ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ) АЛГОРИТМИКИ

Представлен электронный вариант оригинала печатной статьи.

Статья приводится с технической доработкой:
гиперссылки, оглавление, цветовые элементы и т.п.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 ИСТОРИЧЕСКОЙ ПРОЦЕСС РАЗВИТИЯ АЛГОРИТМИКИ	5
1.1 Исходные данные	5
Основная тенденция развития алгоритмики	5
1.2 Базовые прикладные области массовой алгоритмизации	5
Порядок формирования базовых областей алгоритмизации	5
Последовательность областей массовой алгоритмизации	6
1.3 Базовые прикладные направления массовой алгоритмизации	7
Исходные общие положения	7
Последовательность появления массовых направлений	7
Исходные образующие отношения	8
Компоненты общего исторического процесса	9
2 СТРУКТУРА ИСТОРИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА РАЗВИТИЯ АЛГОРИТМИКИ	9

2.1	Модельное представление направлений алгоритмизации	9
	Взаимосвязь направлений алгоритмизации	10
	Общие соотношения направлений	10
	Уточнение (сглаживание) жизненных линий процессов	11
	Периодизация состава направлений алгоритмизации	11
2.2	Детализация состава направлений массовой алгоритмизации	12
	Основной состав направлений массовой алгоритмизации	12
	Уточнение состава направлений	13
	Состав стадий общего процесса развития алгоритмики	13
3	КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА НАПРАВЛЕНИЙ РАЗВИТИЯ АЛГОРИТМИКИ	14
3.1	D1: Арифметическое направление развития алгоритмики	14
3.1.1	Общие данные	14
	Общий поэтапный состав направления	14
	Первичная общая оценка	15
3.1.2	Подготовка формирования арифметического направления массовой алгоритмизации	15
	Этап D00: Общая подготовка арифметического направления	15
	Проблемы письменных вычислений	16
	Этап D10: Непосредственная подготовка	16
3.2	Становление арифметического направления массовой алгоритмизации	17
	Этап D11: Формирование массового арифметического направления	17
	Общее содержание этапа формирования	17
	Ключевые причинные факторы развития арифметики	18
	Основные результаты этапа формирования	18
	Значение массового распространения десятичной арифметики ..	19
3.3	Способы описания арифметических операций	20
	Исходные традиции индийского счета	20
	Принципиальная новизна новой арифметики	20
3.4	Начало автоматизации арифметических операций	21
	Первые арифметические машины	21
	Вычислительные механизмы и алгоритмы	22
3.5	D2: Математическое направление развития алгоритмики	22
	Общий поэтапный состав направления	22
	Этапы D00-D01: Длительная общая подготовка	23
	Этап D20: Непосредственный подготовительный период	23
	Этап D22: Формирование массового математического направления	23
3.6	D3: Техническое направление развития алгоритмики	24

	Общий поэтапный состав направления	24
	Этапы D00-D01-D02: Длительная общая подготовка	25
	Этап D30: Непосредственный подготовительный период	26
	Этап D33: Формирование массового направления	26
	Оценки по предполагаемым срокам	27
4	АРИФМЕТИКА И АЛГОРИТМЫ НА ТЕХНИЧЕСКОЙ СТАДИИ...	27
	Общий этапный состав технической стадии алгоритмизации	27
	Теоретические средства компьютерной арифметики	28
	Парадоксальная практическая арифметика.....	29
	Теория чисел и алгоритмы	30
	Алгоритмическая теория чисел	30
	Парадокс алгоритмической теории чисел	31
	Моделирование арифметических операций.....	32
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	32
	ЛИТЕРАТУРА	33

ВВЕДЕНИЕ

В статьях [1,2] выделены и кратко анализируются исторически последовательно возникающие в общем последовательном расширении *базовые области* (R_i , Рис. 1.1) и соответствующие им *базовые направления* (D_i , Рис. 1.2) массовых приложений и развития параллельных (и последовательных) алгоритмических систем информатики:

арифметика, математика (включая арифметику как ее базис), *техника* (ее автоматизация и автоматика, включая математику как ее базис), *кибернетика* целесообразных систем (включая технику как ее базис).

В статье [3] приводится обоснование такого классификационного исторического подхода на основе следующих опорных положений:

1) Определение основных *тенденций развития* параллельных (и последовательных) алгоритмических систем:

это выполняется по обобщающей аналогии с тенденциями развития вычислительной техники, сформулированными в работе [4].

2) Уточнение конкретного смысла применения современного предельно *общего понятия техники* как совокупности способов и средств выполнения разных (всех) видов деятельности человека, особенно в условиях их (всеобщей) *информатизации*, включая формирование на автоматизированной компьютерной основе:

- *информационной инфраструктуры* разных видов деятельности;
- *информационных технологий* выполнения этих видов деятельности (в системе их информационной инфраструктуры).

Указанные направления развития алгоритмических систем образуют сложную *структуру* общего исторического процесса развития алгоритмики. Данная статья является прямым продолжением статьи [3]. Рассматриваются структура общего процесса развития и составляющие направления алгоритмики в рамках данной общей структуры. При этом отражается:

- базисная роль *математического* и, в его основе, *арифметического направлений* параллельной (и последовательной) алгоритмики;
- целесообразность раннего внедрения *алгоритмических методов обучения математике* (по аналогии, например, с некоторыми курсами дискретной математики для программистов) с отражением потенциального параллелизма математических алгоритмов;
- актуальность *алгоритмического обучения арифметике* на основе (виртуальных) моделей ранних домеханических вычислительных средств (типа абак) с демонстрацией их потенциального параллелизма.

Предварительно приводятся опорные данные по указанным историческим областям и направлениям алгоритмики.

1 ИСТОРИЧЕСКОЙ ПРОЦЕСС РАЗВИТИЯ АЛГОРИТМИКИ

1.1 Исходные данные

Основная тенденция развития алгоритмики

В статье [3] определяется (по аналогии с работой [4]) главная (наиболее существенная итоговая) тенденция развития алгоритмики:

Систематическое расширение общей области приложений алгоритмических систем информатики, включая два ключевых аспекта:

- систематический **рост (фактора) массовости** создания и применения алгоритмических систем – по мере их развития и роста их возможностей;
- систематическое **расширение разнообразия** и **общего (сводного) класса** алгоритмических систем по общей области их приложений.

Систематическое расширение общей области приложений алгоритмических систем охватывает весь **исторический процесс развития** алгоритмики. Он имеет достаточно сложную структуру, включая следующие исходные компоненты:

1) Последовательно возникающие базовые исторические **области** массовой алгоритмизации – в последовательном расширении общей области приложений алгоритмических систем. При этом **этапы** первичного формирования этих областей – это исходная **периодизация** общего исторического процесса развития алгоритмики:

- такие этапы достоверно отражают появление каждой очередной более широкой области массовой алгоритмизации и массовых алгоритмических систем нового типа (на достаточном уровне их развития);
- до этого, как правило, длительно (тысячелетиями) формировались их **предпосылки** и ранее существовали их простые (примитивные) исторические **прототипы** (причем корневого причинного значения).

2) Последовательно возникающие базовые исторические **направления** развития массовой алгоритмизации – в рамках таких базовых исторических областей. При этом **этапы** развития (и дифференциации) базовых направлений – это **частная периодизация** развития алгоритмических систем по направлениям их развития.

1.2 Базовые прикладные области массовой алгоритмизации

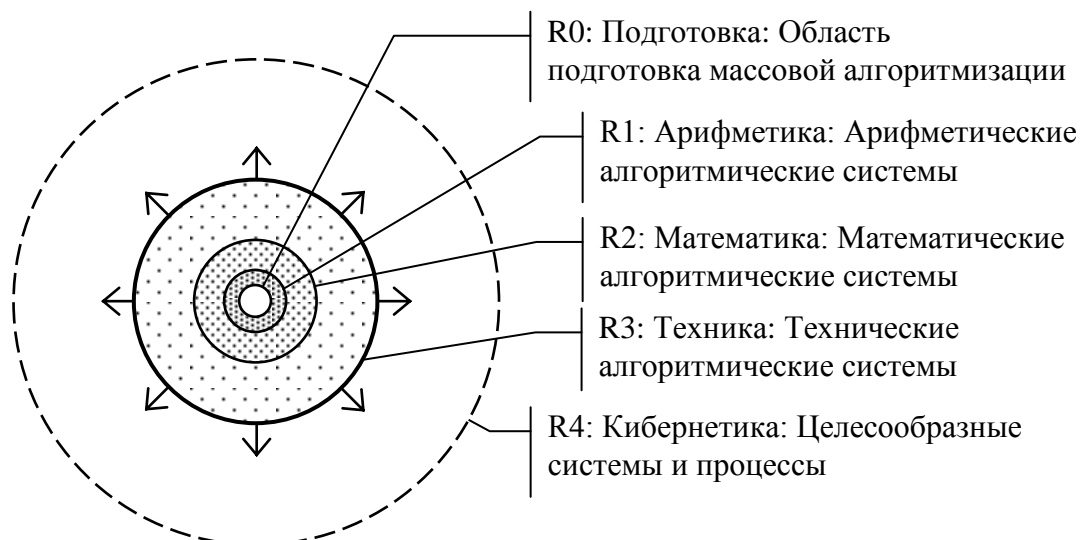
Порядок формирования базовых областей алгоритмизации

Как уже отмечалось, анализ проблемы выявляет исходную периодизацию **общего процесса развития** массовой алгоритмизации (Рис. 1.1):

- **последовательное поэтапное расширение** общей области массовых приложений алгоритмов;
- **поочередное формирование** (по ходу общего расширения) исторических **базовых областей** массовой алгоритмизации.

Последовательность областей массовой алгоритмизации

Выделяются (Рис. 3.1) следующие последовательно возникающие прикладные *области* (regions) R0..R4 массовой алгоритмизации:



$R1 \rightarrow R2 \rightarrow R3 \rightarrow R4$: последовательное появление областей

$R1 \subset R2 \subset R3 \subset R4$: последовательное включение областей

Рис. 1.1. Прикладные исторические области массовой алгоритмизации

R0: **Подготовка**: ОПМА: Область подготовки массовой алгоритмизации. Массовая алгоритмизация любого типа не начинается внезапно и всегда имеет каких-то более ранних предшественников. Эта область содержит предпосылки и простые алгоритмические прототипы алгоритмических систем всех областей и направлений последующего формирования и развития массовой алгоритмизации. Причем эти исторические предшественники имеют корневое историческое **причинное значение** в формировании и развитии всех последующих за ними видов алгоритмических систем.

R1: **Арифметика**: А-ОМА: Арифметическая область массовой алгоритмизации. Это **первичная**, узкая по классу прикладных алгоритмических систем и высокоспециализированная область алгоритмизации – алгоритмизация арифметической деятельности человека. Она лежит в основе (в базисе) всех последующих областей массовой алгоритмизации.

R2: **Математика** (включая арифметику): М-ОМА: Математическая область массовой алгоритмизации. Это **вторичная** качественно новая, очень широкая и разнообразная область алгоритмизации – алгоритмизация математической деятельности человека: наиболее продвинутая, хорошо сформировавшаяся и господствующая в настоящее время область приложений алгоритмических систем.

R3: **Техника** (включая математику и арифметику). Т-ОМА: Техническая область массовой алгоритмизации. Это **третичная** еще более широкая и разнообразная область массовой алгоритмизации – алгоритмизация технической деятельности человека. При этом:

- термин "техника" используется **в предельно широком смысле**:

техника представляет собой **методы и средства** выполнения любых видов деятельности;

- техника (в целом) – это **активно формируемая область алгоритмизации** в настоящее время, однако ее формирование не завершено (и существуют проблемы наработки четкого выявления ее специфики).

R4: Кибернетика: П-ОМА. Перспективная область массовой алгоритмизации. Это алгоритмизация целесообразных систем – алгоритмизация любых (всех) видов целесообразной деятельности любых ее исполнителей (человека и не человека). Она включает в себя технические системы (человеческой деятельности) как ее **базис** – условно это **техническая кибернетика**.

1.3 Базовые прикладные направления массовой алгоритмизации

Исходные общие положения

По ходу развития человеческой цивилизации формируется система **областей** (R_i), **направлений** (D_i) и **стадий** (S_i) общего исторического процесса развития алгоритмики, представленных далее на временной диаграмме (Рис. 1.2). Границы стадий на диаграмме указаны ориентировочно (они достаточно размыты и уточняются в данной статье позднее).

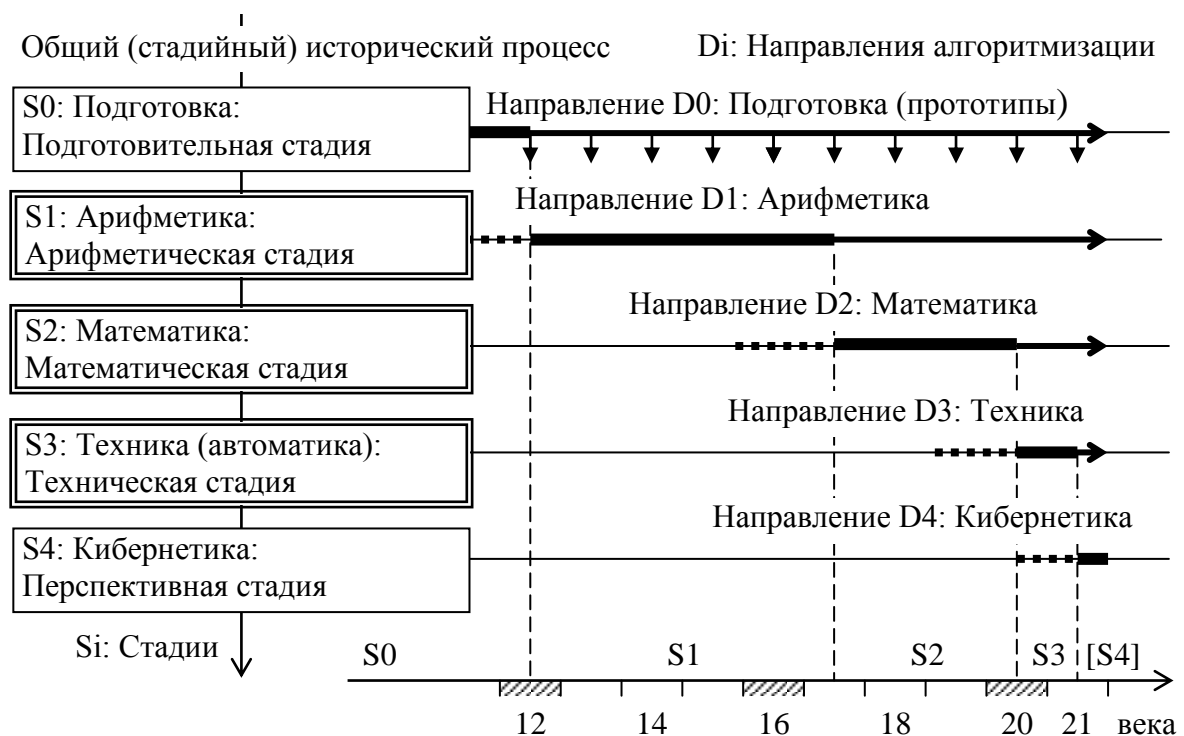


Рис. 1.2. Направления и стадии общего процесса массовой алгоритмизации

Последовательность появления массовых направлений

Направления развития алгоритмики (НРА: D_i) возникают в глубокой древности, включают в себя подготовку, формирование и последующее развитие соответствующих направлений массовой алгоритмизации (НМА: D_i^*). Выделяются следующие направления развития алгоритмики:

D0: **Подготовка**: НПМА: Направление подготовки и текущей "подпитки" всех частных направлений массовой алгоритмизации.

D1: **Арифметика**: А-НРА: Арифметическое направление развития алгоритмики. Это исторически первичное направление подготовки, формирования и последующего развития массовой алгоритмизации арифметической деятельности человека. Оно включает в себя:

D1*: А-НМА: Арифметическое направление массовой алгоритмизации (выделено утолщенной стрелкой);

D1': Этап формирования А-НМА – первый этап направления D1*: А-НМА (выделен отрезком стрелки двойной толщины).

D2: **Математика**: М-НРА: Математическое направление развития алгоритмики (включая арифметическое направление как базис). Это исторически вторичное направление подготовки, формирования и последующего развития массовой алгоритмизации математической деятельности человека. Оно включает в себя:

D2*: А-НМА: Математическое направление массовой алгоритмизации (выделено утолщенной стрелкой);

D2': Этап формирования М-НМА – первый этап направления D2*: М-НМА (выделен отрезком стрелки двойной толщины).

D3: **Техника**: Т-НРА: Техническое направление развития алгоритмики (включая математическое направление как базис). Это исторически третичное направление подготовки и формирования (и последующего развития) массовой алгоритмизации технической деятельности человека. Оно включает в себя:

D3*: Т-ПМА: Техническое направление массовой алгоритмизации (выделено утолщенной стрелкой);

D3': Этап формирования Т-ПМА – первый этап направления D2*: М-ПМА (выделен отрезком стрелки двойной толщины):

это текущий этап, формирование технического направления не завершено.

[D4]: **Кибернетика**: П-НРА: Перспективное направление развития алгоритмики (включая техническое направление как базис). Находится в стадии подготовки формирования массовой алгоритмизации кибернетики целесообразных систем (этап систематического формирования направления массовой алгоритмизации еще не наступил).

Исходные образующие отношения

По мере интенсивного формирования областей (R_i) массовой алгоритмизации (ОМА) закладываются соответствующие им одноименные **направления** (D_i^*) массовой алгоритмизации (НМА), которые далее сохраняются и развиваются. На диаграмме (Рис. 1.2) они показаны сплошными линиями (разной толщины) со стрелками. При этом развитие каждого нового направления массовой алгоритмизации происходит в условиях существования и развития ранее возникших направлений.

Стадии (S_i) общего процесса массовой алгоритмизации представляют собой этапы ($S_i = D_i'$) формирования соответствующих им направлений

(D_i^*) массовой алгоритмизации (на диаграмме показаны начальными отрезками линий двойной толщины). Они существуют в периоды времени:

- от начала формирования соответствующих им областей массовой алгоритмизации (R_i);
- до начала формирования очередных областей алгоритмизации ($R_{(i+1)}$).

При этом:

- направления массовой алгоритмизации НМА: D_i^* представляют собой завершающую часть более длительного в прошлом направления развития алгоритмики НРА: D_i – систем соответствующего типа (i);
- в периоды времени, предшествующие формированию направлений массовой алгоритмизации (D_i^* : НМА) существуют длительные (многотысячелетние) периоды *их общей подготовки*;
- в конце таких периодов существуют относительно более короткие переходные *этапы непосредственной подготовки* формирования очередных областей и направлений массовой алгоритмизации:

на временной диаграмме (Рис. 1.2) они отмечены пунктиром.

Условно показаны предполагаемые пессимистические сроки становления массовой алгоритмической кибернетики (где-то от середины 21-го века). По оптимистическим оценкам возможны сдвиги этих сроков ближе к началу 21-го века. Эти вопросы кратко отражаются позднее.

Компоненты общего исторического процесса

Общий процесс D (общее направление) развития алгоритмики представляет собой в целом (Рис. 1.2):

1) Множество параллельно во времени существующих частных прикладных направлений развития алгоритмики (НРА: D_i):

$$D = \{D_0, D_1, D_2, D_3, [D_4]\};$$

2) Последовательность основных общих стадий алгоритмизации:

$$D = (D_0' \rightarrow D_1' \rightarrow D_2' \rightarrow D_3' \rightarrow [D_4']) = (S_0 \rightarrow S_1 \rightarrow S_2 \rightarrow S_3 \rightarrow [S_4]),$$

где $D_i' = S_i$ – этап формирования направления массовой алгоритмизации D_i^* (его первый этап в составе направления D_i^*).

При этом здесь и далее *квадратными скобками* "[]" обозначаются *предполагаемый (прогнозируемый) перспективный этап* кибернетики и одновременные ему этапы других направлений алгоритмизации.

2 СТРУКТУРА ИСТОРИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА РАЗВИТИЯ АЛГОРИТМИКИ

2.1 Модельное представление направлений алгоритмизации

Все базовые области (Рис. 1.1) и базовые направления (Рис. 1.2) исторически постоянно расширяются – по фактору массовости и по видам алгоритмических систем. Но общее соотношение вложенности областей и

направлений сохраняется – в попарном соотношении вложенности области базиса в общую область с надстройкой базиса. Это обстоятельство создает определенные проблемы представления такого объемного соотношения этих областей и направлений во времени.

Взаимосвязь направлений алгоритмизации

Принимается следующая взаимосвязь стадий и направлений развития алгоритмизации (Рис. 2.1). Это ориентировочная опорная графическая модель. Она условно представлена спрямленными линиями направлений алгоритмизации – за счет применения прямой и обратной логарифмической шкалы для разных координат. Обратная логарифмическая шкала времени (на Рис. 2.1) вводится для визуального выравнивания последовательно сокращающихся интервалов времени стадий (на Рис. 1.2).



Рис. 2.1. Модель механизма формирования стадий (S_i) и направлений (D_i).

Общие соотношения направлений

Каждое направление D_i алгоритмизации представлено ломаной линией, включая:

- **основную линию развития** направления массовой алгоритмизации D_i^* , начиная с соответствующей ему начальной стадией $D_i' = S_i$ и далее: на диаграмме представлена толстым отрезком линии;
- **этап непосредственной подготовки** начала массовой алгоритмизации в конце предшествующей стадии $S(i-1)$: он представлен на диаграмме соответствующей пунктирной переходной линией от направления D_0 общей подготовки;
- **длительную общую подготовку** начала массовой алгоритмизации на предшествующих стадиях в составе направления D_0 общей подготовки.

При этом выявляются следующие особенности:

- в новых стадиях прежние направления сохраняются и развиваются;
- новые направления включают в себя прежние направления как составляющие их частные виды алгоритмов, алгоритмических задач и систем;
- однако, предыдущие направления представляют собой базисные частные виды алгоритмизации, на которые опираются новые подходы;

- алгоритмические представления, концепции и теории алгоритмов новых направлений обобщают алгоритмические представления, концепции и теории составляющих их частных направлений.

В рамках всех стадий постепенно формировались алгоритмические предпосылки и тенденции очередных стадий и направлений с резким ускорением к началу этих очередных стадий:

это, своего рода, исторические переходные процессы – представляются на графиках переходными скосами выхода на линии новых направлений – на исходной диаграмме (Рис. 2.1) выделены пунктиром.

При этом прямые линии направлений с логарифмической шкалой представляют быстро нарастающие объемы знаний (примерно по экспоненте), что при последовательном сокращении интервалов стадий отражает рост их интенсификации (но визуально интервалы условно выровнены).

Уточнение (сглаживание) жизненных линий процессов

На следующем рисунке (Рис. 2.2) представлена система сглаженных линий, отражающих направления алгоритмизации. Это, в принципе, более точное представление процессов развития алгоритмизации во времени: идеализированные гладкие линии жизненного цикла подготовки, появления и развития направлений массовой алгоритмизации.

Графики обрываются где-то на середине 21-го века: без отражения неясных более отдаленных перспектив.

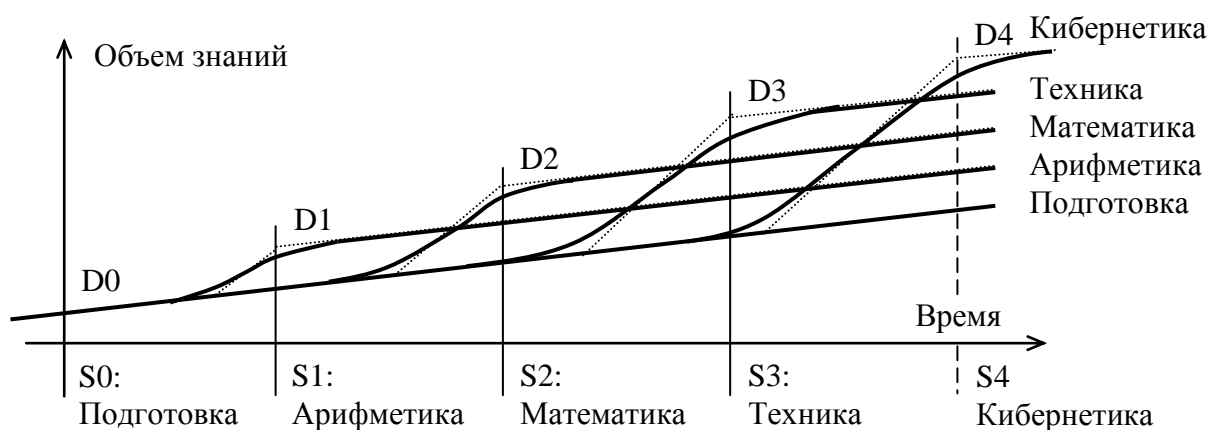


Рис. 2.2. Уточнение (сглаживание) представлений модели

Периодизация состава направлений алгоритмизации

Все направления алгоритмизации имеют четкую **периодизацию** по своим этапам, которые определяются стадиями общего процесса алгоритмизации (Рис. 2.3). Стадии определяют соотношение и взаимное влияние направлений по общим периодам. Но могут быть и другие дополнительные критерии периодизации частных процессов в разных отношениях.

Данные модельные представления обеспечивают системную ориентировку в проблеме в целом и основу для многоаспектного анализа развития алгоритмических систем (по аналогии с исторической лингвистикой) двумя взаимосвязанными методами:

- **диахронически** ("сквозь время") – анализ состава направлений алгоритмизации в последовательности их этапов во времени: выделяются диахронические факторы взаимосвязи разных этапов;
- **синхронически** – анализ состава разных периодов (стадий) как совокупности этапов разных направлений, существующих одновременно **в их взаимосвязи и взаимодействии**: выделяются синхронические факторы взаимосвязи разных направлений.

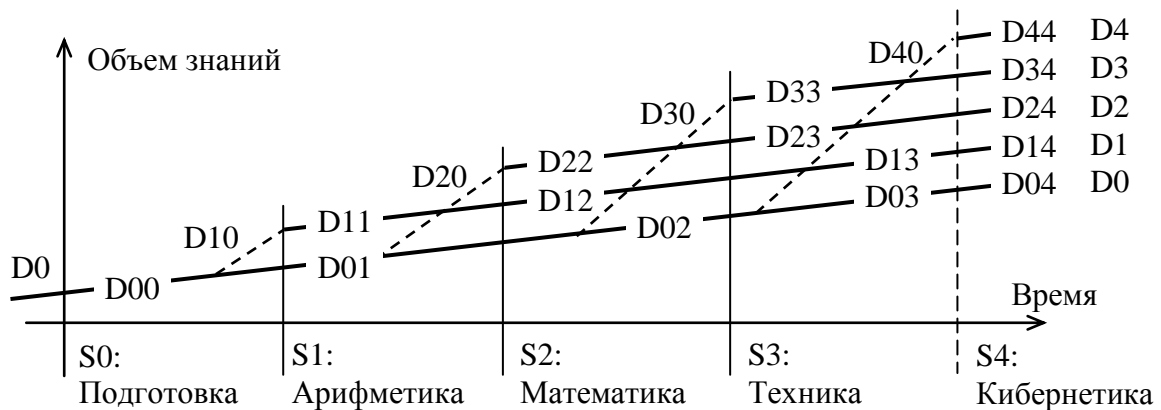


Рис. 2.3. Компонентный состав направлений и стадий

2.2 Детализация состава направлений массовой алгоритмизации

Основной состав направлений массовой алгоритмизации

Определяется основной состав $D0^*..D4^*$ направлений $D0..D4$ массовой алгоритмизации в последовательности их **основных этапов** (Рис. 2.3):

$D0^* = D00 \rightarrow D01 \rightarrow D02 \rightarrow D03 \rightarrow [D04]$ – подготовительный процесс $D0$, самый длительный процесс во времени и по числу этапов $D00..D04$ (по стадиям $S0..S4$), представляющий собой общую подготовку массовой алгоритмизации всех направлений;

$D1^* = D11 \rightarrow D12 \rightarrow D13 \rightarrow [D14]$ – основной состав арифметического направления $D1$ развития алгоритмики, включающий этапы $D11..D14$ массовой алгоритмизации (на стадиях $S1..S4$);

$D2^* = D22 \rightarrow D23 \rightarrow [D24]$ – основной состав математического направления $D2$ развития алгоритмики, включающий этапы $D22..D24$ массовой алгоритмизации (на стадиях $S2..S4$);

$D3^* = D33 \rightarrow [D34]$ – основной состав технического направления $D3$ развития алгоритмики, включающий этапы $D33, D34$ массовой алгоритмизации (на текущей технической стадии $S3$ и предполагаемой перспективной стадии $S4$ кибернетики);

$D4^* = [D44]$ – основной состав предполагаемого перспективного направления алгоритмизации кибернетики $D4$, включающий единственный предполагаемый перспективный этап $D44$ массовой алгоритмизации.

Уточнение состава направлений

Анализ только основных этапов направлений алгоритмизации может быть неясен по исходным причинам и обстоятельствам их появления. Для выявления их *непосредственных исторических причинных корней и условий* возможен более адекватный исторический анализ на основе уточнения состава $D1^{**}..D4^{**}$ направлений $D1..D4$ с учетом *переходных этапов* $D10..D40$ непосредственной подготовки их формирования, представленных пунктирными переходными линиями (Рис. 2.3):

$$D1^{**} = D10 \rightarrow D1^* = D10 \rightarrow (D11 \rightarrow D12 \rightarrow D13 \rightarrow [D14]),$$

$$D2^{**} = D20 \rightarrow D2^* = D20 \rightarrow (D22 \rightarrow D23 \rightarrow [D24]),$$

$$D3^{**} = D30 \rightarrow D3^* = D30 \rightarrow (D33 \rightarrow [D34]),$$

$$D4^{**} = D40 \rightarrow [D4^*] = D40 \rightarrow [D44],$$

где $Di0$ – переходный этап направления Di от подготовительного направления $D0$ – это этап непосредственной подготовки направления Di^* .

Для полноценного исторического анализа целесообразным является учет *полного состава* направлений алгоритмизации Di с включением всех предшествующих этапов направления общей подготовки $D0$:

$$D1 = D00(D10) \rightarrow (D11 \rightarrow D12 \rightarrow D13 \rightarrow [D14]),$$

$$D2 = (D00 \rightarrow D01(D20)) \rightarrow (D22 \rightarrow D23 \rightarrow [D24]),$$

$$D3 = (D00 \rightarrow D01 \rightarrow D02(D30)) \rightarrow (D33 \rightarrow [D34]),$$

$$D4 = (D00 \rightarrow D01 \rightarrow D02 \rightarrow D03(D40)) \rightarrow [D44].$$

В принципе обеспечивается выявление более *отдаленных причинных исторических корней* формирования направлений Di^* .

Состав стадий общего процесса развития алгоритмики

Аналогичным образом выявляется состав алгоритмической проблематики на каждой стадии общего процесса алгоритмизации – совокупность (множество) этапов всех составляющих ее направлений (Рис. 2.3):

$$S0 = \{D00(D10)\}$$

подготовительная стадия – включает только начальный этап $D00$ подготовительного направления $D0$ с переходным этапом $D10$ в его составе (этап непосредственной подготовки арифметического направления алгоритмизации $D1$).

$$S1 = \{D11, D01(D20)\}$$

давно прошедшая (в конце средних веков и далее) *арифметическая стадия* массовой алгоритмизации, включающая следующие этапы разных направлений алгоритмизации:

$D11$ – давно прошедший *начальный этап формирования* арифметического направления $D1$ массовой алгоритмизации;

$D01(D20)$ – этап общей подготовки $D0$ алгоритмизации последующей

арифметической стадии с переходным этапом D20 в его составе – непосредственная подготовка математического направления D2* массовой алгоритмизации.

$S2 = \{D22, D12, D02(D30)\}$

прошедшая **математическая стадия** алгоритмизации, включающая этапы направлений:

D22 – относительно недавно завершённый **начальный этап формирования** математического направления D2* массовой алгоритмизации;

D12 – прошедший во времени **рабочий этап** арифметического направления D1* на прошедшей математической стадии S2;

D02 – этап общей подготовки D0 алгоритмизации на математической стадии S2 с переходным этапом D30 в ее составе – непосредственная подготовка технического направления D3*.

$S3 = \{D33, D23, D13, D03(D40)\}$

текущая **техническая стадия** алгоритмизации (растет число компонент):

D33 – текущий **начальный этап формирования** технического направления D3* массовой алгоритмизации – еще **не завершённый**;

D23 – текущий **рабочий этап** математического направления D2* на технической стадии S3;

D13 – текущий **рабочий этап** арифметического направления D1* на технической стадии S3;

D03(D40) – текущий этап общей подготовки D0, включая этап D40 непосредственной подготовки массовой алгоритмизации кибернетики;

$[S4] = \{[D44], [D34], [D24], [D14], [D04]\}$

предполагаемая перспективная стадия массовой алгоритмизации кибернетики, самая сложная (по числу предполагаемых перспективных частных компонент).

3 КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА НАПРАВЛЕНИЙ РАЗВИТИЯ АЛГОРИТМИКИ

В данной статье кратко отражаются только этапы подготовки и формирования существующих направлений массовой алгоритмизации, что позволяет отразить фактор массовости алгоритмических систем.

3.1 D1: Арифметическое направление развития алгоритмики

3.1.1 Общие данные

Общий поэтапный состав направления

Вводятся виды состава арифметического направления D1 (Рис. 3.1):

$D1^* = D11 \rightarrow D12 \rightarrow D13 \rightarrow [D14]$ – основной состав направления D1:

он представлен на диаграмме толстой черной линией, где D11 – этап формирования массовой алгоритмизации в арифметике;

$D1^{**} = D10 \rightarrow D1^{*} = D10 \rightarrow (D11 \rightarrow D12 \rightarrow D13 \rightarrow [D14])$ – учет переходного этапа D10 непосредственной подготовки этапа D11 начала массовой алгоритмизации в арифметике (пунктирная переходная линия);

$D1 = D00(D10) \rightarrow (D11 \rightarrow D12 \rightarrow D13 \rightarrow [D14])$ – полный поэтапный состав направления D1, включая этап $D00 = D00(D10)$ длительной общей подготовки начала массовой алгоритмизации в арифметике.

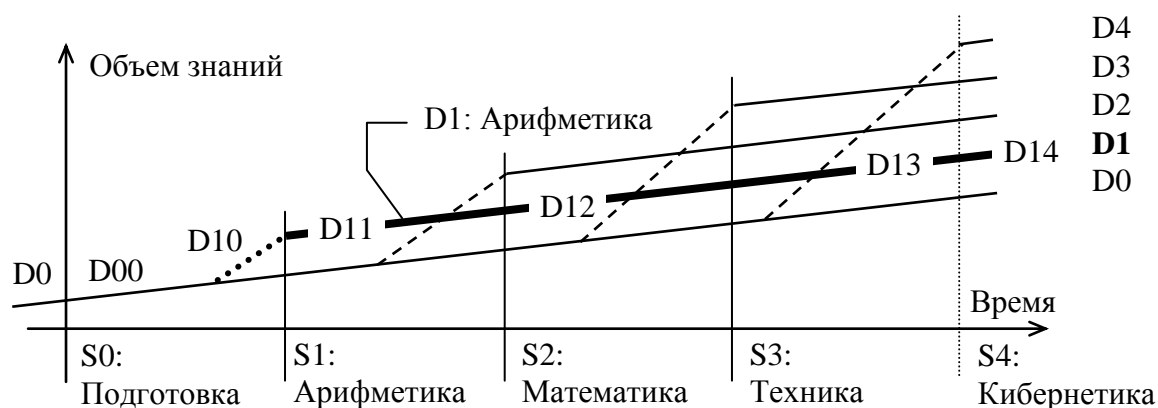


Рис. 3.1. Арифметическое направление алгоритмизации

Первичная общая оценка

Все эти периоды достаточно активно изучаются с точки зрения *истории арифметики* и *вычислительной техники*. Но они мало изучены с точки зрения *истории арифметических алгоритмов*. Поэтому далее в описании этих этапов по возможности делается, в той или иной форме, постоянный акцент на указание наличия арифметических алгоритмов и арифметических алгоритмических систем (возможно интуитивных).

3.1.2 Подготовка формирования арифметического направления массовой алгоритмизации

Этап D00: Общая подготовка арифметического направления

Этап $D00 = D00(D10)$ – это длительный многотысячелетний *общий подготовительный период* массовой алгоритмизации в арифметике: начиная с древнекаменного века до (примерно) середины 12-го века.

Этот период включает в себя следующие компоненты арифметики (как объекты древней интуитивной алгоритмизации):

1) Освоение понятия числа, счета объектов, измерения величин, разных *непозиционных систем счисления* для устного и письменного выражения (обозначения) достаточно больших чисел:

- числа выступают *в разной знаковой форме* их представления – в *письменной* форме (начиная от зарубок на дереве или кости и знаков на глиняных табличках) или в *натурной* форме (например, группами счетных

предметов: камешков – калькулей, ракушек, фруктовых косточек и т.п.);

- это основные (конструктивные) знаковые объекты, с которыми работают долго и трудно формируемые древние и более поздние **интуитивные арифметические алгоритмы**.

2) Освоение арифметических операций сложения, вычитания, умножения, деления, а также возведения в степень и извлечение корней. Используются следующие способы и средства арифметических вычислений:

а) Устный и пальцевой счет, счет на камушках.

б) Домеханический приборный счет на абаке (разных конструкций): это счетная доска [4] с многоразрядными числовыми регистрами, в разрядных позициях которых размещаются или перемещаются счетные предметы (камешки, ракушки, фруктовые косточки и т.п.).

3) Появление в Древней Греции и последующее развитие элементов теории чисел (теоретической арифметики).

Описания правил (алгоритмов) работы с абаксом не было. Правила вычислений осваивались практически в обучении:

методом показа приемов вычислений на конкретных примерах, их повторения (по алгоритму типа: *делай как я*) и последующего тренажа – на учебных примерах и в практике вычислений (со спонтанной их реализацией в нейродинамических структурах мозга – неясной и в наше время).

Проблемы письменных вычислений

Письменные числовые представления существовали в разных **непозиционных системах счисления**, которые были (алгоритмически) неудобными для выполнения письменных вычислений, и поэтому:

письменные вычисления (их алгоритмы) систематически не осваивались, за исключением, возможно, вычислений с небольшими числами.

Кроме того, древние носители письма – папирус и пергамент, а затем бумага на ранних стадиях освоения ее производства были очень дорогими: они были **недоступны** для записи повседневных оперативных вычислений (за исключением, может быть, глиняных табличек).

Этап D10: Непосредственная подготовка

Этап D10 – это период непосредственной подготовки массовой арифметической алгоритмизации (в конце этапа D00 общей подготовки):

примерно с 5-го века до середины 12-го века: длительностью 7-8 веков.

Этот этап включает в себя следующие исторические факты [6-8]:

1) Появление **индийского счета** (примерно 5-й век н.э.) и его распространение в арабском мире (к 9-му веку). Он включал две компоненты:

- письменная **десятичная позиционная система счисления** – новая простая, единообразная и удобная в применении **система записи чисел**;

- еще очень примитивная, сложная и неудобная **техника письменного десятичного счета** на счетной доске, покрытой песком или пылью: с записью вычислений кистью, палочкой или прямо пальцами рук.

2) Начало широкого распространения индийского счета в Средневеко-

вой Европе с середины 12-го века:

на основе латинского перевода учебника [5] по индийскому счету арабского ученого **Аль-Хорезми** или **alchorizmi**, **algorizmi** (имя автора в латинской нотации, заглавных букв еще не было).

Работа с такой счетной доской имела следующие особенности:

- завись исходных данных и всех вычислений выполнялась в двух много-разрядных строках (регистрах) **с перезаписью данных** по ходу счета: это была, по существу, письменная модель приборного счета на абаке.
- при этом **промежуточные данные** счета **не сохранялись**, **проверка** правильности вычислений была **невозможна** (без полного пересчета);
- необходимы были **сложные промежуточные вычисления в уме**.

Для операции целочисленного деления использовалась 3-я строка-регистр для формирования остатка деления.

3.2 Становление арифметического направления массовой алгоритмизации

Этап D11: Формирование массового арифметического направления

Этап D11 – это период становления арифметического направление D1 массовой алгоритмизации (на арифметической стадии S1) общего исторического процесса развития алгоритмических систем – в интервале времени: середина 12-го века – середина 17-го века: около 5 веков.

Общее содержание этапа формирования

Перевод трактата Алгоризми по десятичной арифметике на латинский язык положил начало двум параллельно **проходящим** процессам:

1) Быстрое распространение в Европе десятичного счета с появлением множества школ обучения десятичному счету [7]:

- "уже в середине XII в. принципы и приемы действий **десятичной позиционной арифметики** ... **получили широкую известность** ...";
- сразу же, еще в XII веке появились "**латинские алгоритмы**" – **латинские трактаты** (руководства на латинском языке) по индийскому счету, представляющие собой обработку книги Алгоризми (algorizmi);
- постепенно сложилась "огромная литература по **алгоризмам**, ставшая одной из **основ дальнейшего прогресса науки** в Европе": это была литература по индийскому счету – по **десятичным вычислениям** на основе арифметики Алгоризми;
- при этом сама книга Алгоризми долгое время служила образцом учебника арифметики (по порядку изложения, примерам вычислений и т.п.).

2) Длительное (в течение нескольких веков) **совершенствование** десятичного счета и образование, в итоге, современной **письменной десятичной арифметики**, но уже в записи вычислений на бумаге.

Ключевые причинные факторы развития арифметики

Имела место целая система причинно-следственных отношений (причем, технико-экономического типа):

1) Исходным **причинным фактором развития** десятичного индийского счета в Средневековой Европе стал **перевод десятичных вычислений на бумагу** (передовой, по тем временам носитель) – в отличие от записи чисел и вычислений на счетной доске, покрытой песком или пылью: это стало возможным, поскольку **совершенствование технологии изготовления бумаги** снизило ее стоимость, и она стала доступна для массовых оперативных вычислений – в отличие от первых лет ее появления (а также в отличие от применения папируса и пергамента) [6-8].

2) Массовый перевод вычислений на бумагу породил, по-видимому, **изменение способа записи** вычислений:

- до этого на счетной доске, покрытой песком или пылью, применялась многократная **перезапись чисел в двух строках-регистрах** (со **стиранием** прежних и **записью** новых числовых значений);
- при вычислениях на бумаге (с записью чернилами) **перезапись** чисел в строках-регистрах (со стиранием чисел) стала **невозможной**.

2) Это обстоятельство потребовало использования **дополнительных строк-регистров** для записи промежуточных и конечных данных счета: например, в операции сложения двух чисел появились две дополнительные строки – для формирования суммы и межразрядных переносов, а в операции умножении появилось много дополнительных строк-регистров.

3) Это, в свою очередь, потребовало упорядочения и стандартизации системы вычислительных действий в составе арифметических операций.

Основные результаты этапа формирования

Формирование арифметической области и арифметического направления развития массовой алгоритмизации завершилось появлением следующих их ключевых компонент (к концу 16-го – середине 17-го веков):

1) Постепенно была наработана общепринятая **цифровая символика**: десять "арабских" цифр 0, 1..9 (которые восходят к девяти индийским "числовым буквам" и маленькому кружку типа "о" для обозначения пустой разрядной позиции – "никакое число").

2) Появились компактные и единообразные **письменные протоколы** выполнения арифметических операций – запись "столбиком" или "уголком" всех промежуточных и конечных результатов по ходу счета, причем: обеспечивались **простота элементарных действий** в уме, исчерпывающая **полнота, наглядность** и **возможность контроля** всего хода счета.

3) Сформировалась практически современная **письменная десятичная арифметика** в десятичной позиционной системе счисления:

- сначала с целочисленными операциями сложения, вычитания, умножения и деления с остатком;
- затем с дробными числами – после начала распространения в Средневековой Европе **десятичных дробей** (с 1585 года и далее).

4) Таким образом, **впервые в истории** появилась однозначная и всеми одинаково воспроизводимая детальная **письменная запись** хода очень сложных (по тем временам) и **регулярных** (циклических) **процессов**.

5) В конечном счете, применительно к таким процессам сформировались **термин "algorithm"** (алгоритм) и **понятие алгоритма** как арифметической операции в форме регулярного вычислительного процесса:

алгоритмы (операции) сложения, вычитания, умножения и деления.

6) Новая **десятичная арифметика** постепенное получает повсеместное (всеобщее) **массовое распространение** во всех областях деятельности (в период мануфактурного производства и становления раннего капитализма, широкого распространения разных коммерческих контор и т.п.):

"в длительной, но победоносной" борьбе алгоритмиков (сторонников письменной десятичной арифметики) с абакистами или абацистами (сторонниками приборного счета на абаке) [7,8].

7) Появляется тенденция **всеобщего обучения** (всех образованных людей) письменной десятичной арифметике.

8) Появляются первые механические средства автоматизации десятичных вычислений (рассматриваются далее).

Следует уточнить принципиальный аспект:

- конкретно – это были **арифметические алгоритмы**: частный прикладной вид алгоритмов по современным представлениям;
- а еще конкретнее – это были **последовательные арифметические алгоритмы письменных вычислений** на бумаге в позиционной десятичной системе счисления – в их жестком противопоставлении счету на абаке: то есть работа на абаке исключалась, по-видимому, из понятия алгоритма.

Значение массового распространения десятичной арифметики

Постепенно все это привело **к полной реорганизации арифметики** и обеспечило необходимые **арифметические тылы** больших **подвижек в алгебре и других разделах математики** [7,8]:

- это пример взаимодействия направлений алгоритмизации;
- он относится к переходному этапу D20 непосредственной подготовки последующего этапа D22 формирования математического направления D2* массовой алгоритмизации.

На этой основе постепенно была подготовлена **первичная алгоритмическая база** арифметики:

- арифметические **алгоритмические прототипы** на уровне способов выполнения хорошо организованных регулярных процессов выполнения арифметических операций (с десятичными числами);
- массовые **интуитивные алгоритмические представления** и массовый **интуитивный алгоритмический опыт** арифметического содержания в повседневной вычислительной практике.

Позднее это стало существенной частью "общечеловеческой культуры" [7] – общей культуры образованного человека уже к концу 18-го века

(в рамках начальной арифметической подготовки) и, затем:

- обязательной нормой современного общего образования;
- средством повседневной работы многих категорий **специалистов**.

3.3 Способы описания арифметических операций

Исходные традиции индийского счета

Современное понятие алгоритма ассоциируется с **правилами** типа **точного и понятного предписания** исполнителю выполнить определенную последовательность действий (или в более общей форме: комплекс действий определенной последовательной или параллельной структуры).

Однако, еще в учебнике Алгоритми большие проблемы понимания представляет используемый словесный способ описания арифметических операций на счетной доске [5]:

- на основе демонстрации примеров счета;
- часто без приведения конкретных промежуточных данных счета – только со словесными пояснениями.

Такое описание правил арифметических вычислений **трудно для понимания** даже для современного человека, уже знающего десятичную арифметику (в чем легко убедиться, читая этот трактат [5]).

Теме не менее в Европе с большим интересом и энтузиазмом стали осваивать и высоко ценили "тот род арифметики, которым преимущественно пользуются сарацины (арабы), и который **замечательным образом разъяснил** достойный *algorizmi* (Аль-Хорезми)" – из средневековой переписки математиков [7].

Для того времени **такой способ изложения** алгоритмов был, по-видимому, **нормой**. Но такой подход в принципе сохранился и в описании работы с десятичными алгоритмами в конце арифметической стадии:

- не было четких и хорошо понятных описаний арифметических алгоритмов в современном понимании алгоритма;
- алгоритмы исполнителей формировались стихийно по ходу обучения на частных примерах и в практике применения вычислений, и при этом: десятичные алгоритмы также формировались в непонятной до сих пор интуитивной реализации (в нейродинамических структурах мозга).

По этой причине понятие арифметического алгоритма как **операции** (регулярного вычислительного процесса) еще, по-видимому, **не ассоциировалось** с понятием **правила** выполнения арифметической операции:

такие правила (как объекты именования) еще просто отсутствовали в явной, концентрированной, точной и хорошо понятной форме изложения.

Принципиальная новизна новой арифметики

Тем не менее, на арифметической стадии развития алгоритмики появилось одно **принципиальное отличие** (по сравнению с индийским счетом на счетной доске):

при выполнении арифметических операций порождается детальный, точный и хорошо понятный цифровой **протокол** хода вычислений.

Общие представления относительно протокола счета и его последовательное построение подсказывают необходимый порядок действий и, при необходимости, помогают вспомнить забытые правила счета:

фактически **протоколы** выполнения арифметических операций **заменяют** (некоторым образом) арифметические **алгоритмы** (как предписания).

Однако **протоколы** выполнения алгоритмов – это **не алгоритмы**:

- целесообразно выявление принципиальной разницы их применения;
- в частности, для одного алгоритма необходимо большое число разных представительных примеров с определенными особенностями.

Тем не менее, при этом **обеспечивалась главная задача**:

целенаправленный и результативный **регулярный вычислительный процесс** с регулярными записями чисел – если правильно выполняются интуитивно освоенные правила.

3.4 Начало автоматизации арифметических операций

Первые арифметические машины

Вследствие больших успехов в письменной десятичной арифметике в середине 17-го века появляется **первое средство механической автоматизации** десятичных арифметических операций:

- суммирующая машина Паскаля [4] – полуавтомат в разных вариантах исполнения (около 50-ти экспериментальных моделей за период: 1640-1653 гг.) с возможностью вычитания методом суммирования;
- обеспечивается последовательное поразрядное выполнение операции сложения по мере последовательного ввода чисел.

Это вполне логичное и знаменательное **завершение** формирования десятичной техники счета и арифметического направления массовой алгоритмизации в части качественного развития приборного счета (скачком): переход от простой домеханической к сложной механической форме.

Несколько позднее появляется более совершенный прибор: арифмометр Лейбница [4] – также полуавтомат в разных вариантах исполнения (несколько разных моделей за период 1670-1716 гг.) для выполнения 4-х арифметических операций.

Эти средства не нашли еще практического применения в виду их технического (инженерного) несовершенства и большой стоимости. Однако:

- они **демонстрировали** принципиальную возможность механической автоматизации умственных операций:

в полном соответствии с механистическими представлениями того времени (и были очень популярны в научных и общественных кругах [4]);

- они **заложили** собой **новое техническое направление** – механическую автоматизацию арифметических операций.

Вычислительные механизмы и алгоритмы

Следует отметить, следующее концептуальное обстоятельство:

- понятие (арифметического) алгоритма *ассоциировалось с действиями человека-вычислителя* – внешне в принципе хорошо понятными;
- но понятие (арифметического) алгоритма еще *не ассоциировалось с действиям механизмов* нового типа – еще в принципе плохо понятными, без профессиональной технической документации для изготовления и изучения и, тем более, с наличием элементов параллелизма вычислений;
- факт наличия параллелизма вычислительных действий (по-видимому) *еще явно и четко не осознавался*, но осознавалось и пропагандировалось его *следствие* – ускорение многоразрядного приборного счета: как писал Лейбниц, "... машина дает возможность совершать умножение и деление над огромными числами *мгновенно*, притом не прибегая к последовательному сложению и вычитанию" [4].

3.5 D2: Математическое направление развития алгоритмики

Общий поэтапный состав направления

Вводятся виды состава математического направления D2 (Рис. 3.2):

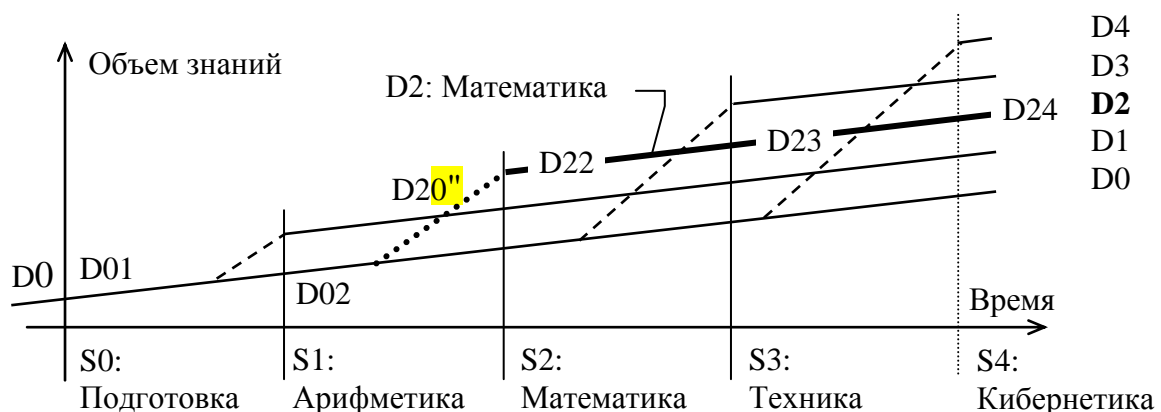


Рис. 3.2. Направление развития математической алгоритмики

$D2^* = D22 \rightarrow D23 \rightarrow [D24]$ – основной состав направления D2:

он представлен на диаграмме толстой черной линией, где D22 – этап формирования массовой алгоритмизации в математике (представляет математическую стадию S2 общего процесса массовой алгоритмизации);

$D2^{**} = D20 \rightarrow (D22 \rightarrow D23 \rightarrow [D24])$ – учет переходного этапа D20 непосредственной подготовки этапа D22 начала массовой алгоритмизации в математике (представлен пунктирной переходной линией);

$D2 = (D00 \rightarrow D01(D20)) \rightarrow (D22 \rightarrow D23 \rightarrow [D24])$ – полный поэтапный состав направления D2, включая этапы D00, D01(D20) длительной общей подготовки начала массовой алгоритмизации в математике.

Этапы D00-D01: Длительная общая подготовка

Этапы D00-D01 – это длительный многотысячелетний *общий подготовительный период* математического направления D2 массовой алгоритмизации. Он охватывает общую подготовительную стадию S0 и арифметическую стадию S1 общего процесса развития алгоритмики: начиная с появления первых цивилизаций и далее.

В содержание этого общего периода включается:

1) Зарождение математики в первых цивилизациях.

2) Возникновение в Древней Греции и последующее развитие научных основ геометрии (первое строгое аксиоматическое построение математической теории), элементов теории чисел и алгебры. При этом уже в Древней Греции (и даже ранее) появляются:

- четкие правила (алгоритмы) геометрических построений;
- правило (алгоритм) Евклида – математический алгоритм вычисления поиска наибольшего общего делителя и другие правила т.п.:

это пример математизации арифметики – приложения математики (в данном случае алгебры) к арифметике (вопрос рассматривается далее).

Этап D20: Непосредственный подготовительный период

Этапа D20 (в составе этапа D01) – это непосредственный подготовительный период появления математического направления D1 массовой алгоритмизации (в составе арифметической стадии S1). Он включает в себя:

1) Завершение (к концу 16-го века) формирования элементарной математики.

2) Появление (в начале 17-го века) координатной системы и аналитической геометрии, понятия переменной, завершение способов символической записи алгебраических выражений, формирование алгебры как единой дисциплины.

3) Появление дифференциального и интегрального исчисления (середина-конец 17-го века), где у Лейбница впервые водится *понятие (математического) алгоритма* применительно к способам решения задач дифференциального и интегрального исчисления.

Этап D22: Формирование массового математического направления

Этап D22 – это период становления математического направления D2 массовой алгоритмизации (на математической стадии S2 общего процесса массовой алгоритмизации) – в интервале времени (примерно): середина 17-го века – середины 20-го века: порядка 3-х веков.

Этот период:

1) Начинается постепенным *распространением понятия алгоритма* во все разделы бурно развивающейся математики. Оно не имеет четкого определения, и интуитивно используются, по-видимому, в значениях типа: *способ, метод, правило* решения математической задачи.

2) Завершается появлением *теории алгоритмов*, точнее двух ее относительно независимых разделов:

а) В основаниях математики (в рамках задач строгого логического обоснования математики) появляется **фундаментальная или классическая теория** (математических) **алгоритмов** (30-е годы 20-го века).

б) В связи с появлением ЭВМ и их программирования (середина 40-х годов 20-го века) появляется **неклассическая прикладная теории** (математических) **алгоритмов**:

- сначала – теория последовательных алгоритмов (50-е годы);
- затем – теория параллельных алгоритмов (60-е годы).

В рамках теории алгоритмов:

- понятие (математического) алгоритма определяется как **точное и понятное предписание** исполнителю выполнить **последовательность действий**, направленных от исходных данных к конечному результату решения математической задачи;
- разрабатываются и исследуются разные **формы** выражения алгоритмов как предписаний, их синтаксис, эквивалентные преобразования и т.п.

Такие представления относились к последовательным алгоритмам. Позднее понятие алгоритма обобщается на предписание выполнить **комплекс действий в определенном** (последовательном или параллельном) **порядке** (во времени).

По своему историческому происхождению и назначению – это теория математических алгоритмов, или, точнее: теория математических приложения параллельных (и последовательных) алгоритмических систем.

3.6 D3: Техническое направление развития алгоритмики

Как уже неоднократно отмечалось, термин "техника" **используется в предельно широком смысле** и означает **профессиональное** (в разной степени) **искусство** (мастерство, умение) выполнения любых видов деятельности человека:

техника – это **методы и средства** выполнения деятельности и, в частности, **комплексы средств технического оснащения**.

Общий поэтапный состав направления

Принимаются виды состава технического направления D3: (Рис. 3.3):

$D3^* = D33 \rightarrow [D34]$ – основной состав направления D3:

он представлен на диаграмме толстой черной линией, где D33 – этап формирования массовой алгоритмизации в технике;

$D3^{**} = D30 \rightarrow (D33 \rightarrow [D34])$ – дополнительный учет переходного этапа D30 непосредственной подготовки этапа D33 начала массовой алгоритмизации в технике (пунктирная переходная линия);

$D3 = (D00 \rightarrow D01 \rightarrow D02(D30)) \rightarrow (D33 \rightarrow [D34])$ – полный поэтапный состав направления, включая этапы $D00$, $D01$, $D02 = D02(D30)$ длительной общей подготовки начала массовой алгоритмизации в технике.

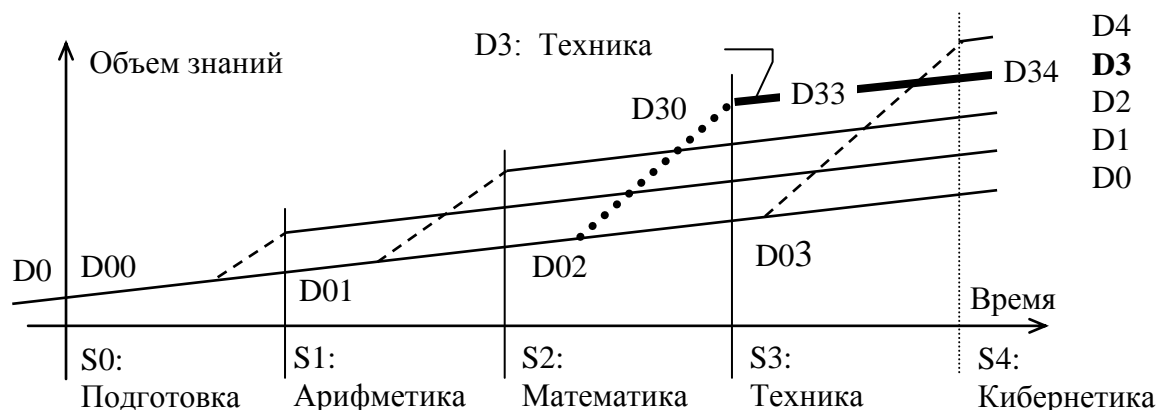


Рис. 3.3. Направление развития технической алгоритмики

Этапы D00-D01-D02: Длительная общая подготовка

Этапы D00-D01-D02 – это период длительной многотысячелетней общей подготовки технического направления D2 (на общей подготовительной стадии S0, арифметической стадии S1 и математической стадии S2 общего процесса развития алгоритмики):

начиная с древнекаменного века и до середины 20-го века.

В данной статье этот период кратко характеризуется в целом – без его детализации по составляющим этапам подготовки (D00, D01, D02):

- он начинается от доисторических времен первобытного человека каменного века – изготовление и применение каменных, деревянных орудий и технологий, огня и т.п. (с интуитивной наработкой алгоритмов);
- затем появляется техника и технологии медного и железного века, систематическое развитие технической механики в Древней Греции, включая, в частности, появление древнегреческих ритуальных и театральных автоматов (последовательного и параллельного действия) и т.д.;
- затем появляется средневековая техника и технологии и далее, включая, в частности, часовые механизмы – для отсчета времени и показа разных сцен, андройды, развитие ткацкого производства с появлением ткацких станков с программным управлением от перфокарт и т.п.

Программное управление на перфокартах было заимствовано Бэббиджем для механической аналитической вычислительной машины:

это пример взаимодействия технического и математического направлений в автоматизации механических алгоритмических систем.

Данный период практически не изучен с точки зрения алгоритмической проблематики в изготовлении и применении технических средств. По-прежнему, правила (алгоритмы) осваивались непосредственным обучением и практической передачи опыта. Но представляет интерес специальный алгоритмический анализ этого периода.

Этап D30: Непосредственный подготовительный период

Этап D30 (в конце этапа D02) – это непосредственный подготовительный период появления технического направления D1 массовой алгоритмизации (в составе математической стадии S2).

Этот этап включает в себя развитие научно-технической революции (НТР). Общепринятого толкования этого понятия нет. Далее принимается за основу следующая ее начальная периодизация:

- первая НТР – изобретение паровой машины (середина 18-го века), распространение разных машин с паровым приводом и начало индустриализации производства и транспорта на механической машинной основе;
- вторая НТР – появление электричества (середина 19-го века), электрических двигателей и приборов разного назначения, начало массовой автоматизации производства, транспорта, связи – к середине 20-го века.

Здесь широко использовались разные правила производства и применения разных видов техники, включая разную техническую документацию, руководства, технологии производства (как документации). Однако: понятие алгоритма применительно к ним еще не использовалось, не разрабатывались и не исследовались применительно к ним общие алгоритмические методы и средства.

Однако, они представляют интерес для алгоритмического анализа с точки зрения истории появления, накопления и развития предпосылок и прототипов современных технических алгоритмических систем.

Этап D33: Формирование массового направления

Этап D33 – это текущий период становления технического направления D3 массовой алгоритмизации (на текущей технической стадии S3 общего процесса развития алгоритмических систем): с середины 20-го века.

Этот этап включает продолжение научно технической революции: третья НТР – это так называемая постиндустриализация.

Общепринятого толкования этого термина также нет. Принимаются за основу следующие его аспекты (в смысле "супериндустриализации"):

- массовая **информатизация** на автоматизированной компьютерной машинной основе разных (всех) общественно значимых областей деятельности человека – физического и умственного труда, быта, отдыха и т.д.: формирование информационной инфраструктуры и информационных технологий производства разных видов продукции и услуг и т.п.;
- тенденции продвижения на этой основе к постиндустриальному обществу, включая инновационную экономику, индустрию знаний и т.п.

Эта ситуация связана с массовым распространением **технических алгоритмических систем** управления дискретными информационными и материальными процессами. Объективно возникает потребность формирования **технической теории алгоритмов** или точнее:

это теория технических приложений параллельных (и последовательных) алгоритмических систем информатики.

Следует иметь в виду, что этот этап еще не завершен, и **не завершено**

становление практической и теоретической **технической алгоритмики**.

Представляет интерес сравнительный анализ различий математических и технических алгоритмов и систем [1]. Этот вопрос требует самостоятельного изложения и здесь не рассматривается, но такая разница интуитивно хорошо ощущается в конкретных примерах алгоритмов.

Оценки по предполагаемым срокам

Общей чертой арифметической и математической стадии массовой алгоритмизации является формирование алгоритмики соответствующего типа к концу соответствующей стадии. По аналогии можно предположить становление технической алгоритмики **к концу технической стадии**.

Принимается оценка соотношения стадий по длительности (Рис. 1.2):

1) Длительность арифметической стадии была примерно 5 веков:
середина 12-го века – середина 17-го века.

2) Длительность математической стадии была примерно 3 века:
середина 17-го века – середина 20-го века.

3) Если принять линейную зависимость, то можно предположить длительность технической стадии алгоритмизации примерно 1 век:
середина 20-го века – середина 21-го века.

То есть к концу этого периода должна, предположительно, и сформироваться техническая алгоритмика и техническая теория алгоритмов.

В текущее время (середина 10-х годов 21-го века) – это достаточно пессимистическая оценка сроков ("долго ждать"). С учетом ускоряющихся темпов научно-технического прогресса можно предположить более оптимистические оценки – начало 30-х или даже начало 20-х годов 21-го века. Но такое "ускорение" требует применения определенных активных мер.

4 АРИФМЕТИКА И АЛГОРИТМЫ НА ТЕХНИЧЕСКОЙ СТАДИИ

Данный вопрос очень кратко рассматривается как один частный аспект в общем составе многоаспектного анализа взаимосвязи разных базовых направлений по стадиям алгоритмизации (в синхроническом анализе): в данном случае – на незавершенной текущей технической стадии развития параллельных (и последовательных) алгоритмических систем.

Общий этапный состав технической стадии алгоритмизации

За исходную основу принимаются общий состав текущей технической стадии S3 общего процесса развития алгоритмики (Рис. 4.1):

$S3 = \{D33, D23, D13, D03(D40)\}$ – множество (взаимодействующих между собой) текущих этапов базовых направлений D1, D2, D3, D4,

где D33 – текущий **этап формирования** технического направления D3* массовой алгоритмизации – еще **не завершенный**;

D23 – текущий **рабочий этап** математического направления D2* на технической стадии S3;

D13 – текущий **рабочий этап** арифметического направления D1* на технической стадии S3;

D03(D40) – этап общей подготовки D0, включая:

D40 – текущий **этап непосредственной подготовки** массовой алгоритмизации в области кибернетики целесообразных систем.

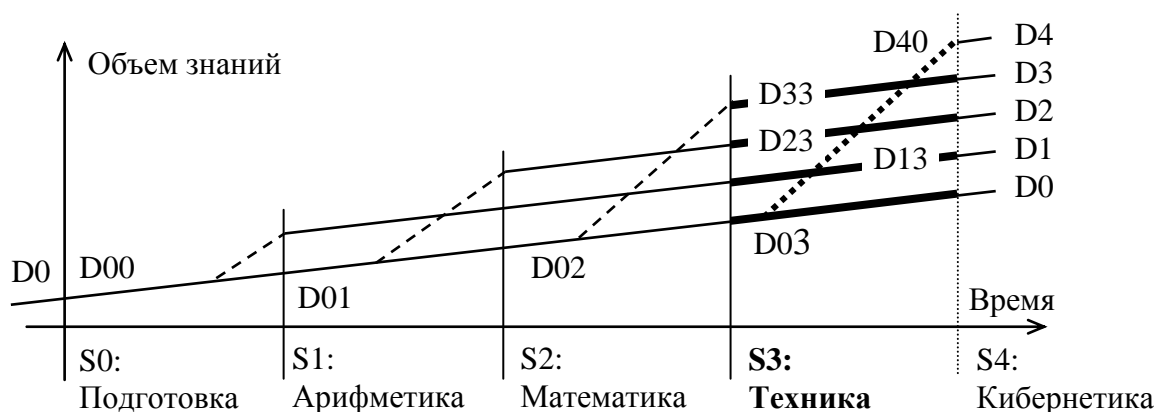


Рис. 4.1. Техническая стадия развития алгоритмики

Теоретические средства компьютерной арифметики

На текущей технической стадии алгоритмизации имеет место встречная тенденция взаимного влияния направлений алгоритмизации [2]:

- массовая математизация и, в частности, **арифметизация техники**: это происходит в системе всеобщей информатизации всех видов технической деятельности на компьютерной (и, более широко, микропроцессорной) основе – с общим арифметическим базисом в ее основе;
- массовая инженеризация (технизация) математики и, в ее составе, **инженеризация арифметики**, и, при этом: существенно **меняется характер арифметики**, ориентированной на массовую **техническую реализацию** арифметических процессов.

При этом используются теоретические средства двух типов:

1) **Методы цифровой схемотехники** для аппаратной реализации арифметических процессов в составе центральных процессоров (в более общем смысле: **числовые коды**, их отношения и операции). В частности:

а) Активно используются **системы счисления позиционного типа**: двоичная, троичная, восьмеричная, шестнадцатеричная и другие системы для последовательной и, главным образом, параллельной арифметики.

б) Появились перспективные **непозиционные системы счисления** в остаточных классах (модулярные системы или системы вычетов). Они имеют преимущества по отношению к позиционным системам [9]: отсутствие межразрядных переносов, полный параллелизм обработки разрядов (без переносов), высокий темп обработки модулярных операций, недостижимый в позиционных системах и многие другие достоинства.

в) Разные форматы представления данных в двоичном коде: биты, байты, машинные слова разной структуры по числу байтов.

г) Разные коды представления двоичных чисел:

с фиксированной и плавающей точкой (запятой), коды положительных и коды отрицательных чисел – прямой, обратный и дополнительный код.

д) Разные арифметические операции – сложение и вычитание, умножение и деление, специальные операции с числами разной формы:

- с фиксированной и плавающей точкой;
- в двоичной, двоично-десятичной системе счисления и т.п.

е) Теоретические средства описания, анализа и синтеза устройств цифровой схемотехники двух основных типов:

е1) Комбинационные устройства (комбинационные автоматы):

- шифраторы и дешифраторы;
- мультиплексоры и демультиплексоры – для соединения и разделения потоков сигналов;
- компараторы – устройства сравнения кодов;
- арифметические устройства – сумматоры, умножители, специальные вычислители – многочисленные классификационные виды.

е2) Последовательностные устройства (автоматы):

- элементы памяти (триггеры) и задержки – большое разнообразие типов;
- регистры – простые и сдвиговые регистры, реверсивные регистры;
- счетчики – простые и реверсивные, в разных системах счисления и т.п.

2) **Программная (и алгоритмическая) арифметика**, если не применяется аппаратная арифметика. Например:

- программные средства умножения и деления чисел с фиксированной или плавающей точкой (запятой);
- арифметические операции с (длинными) числами двойной и многократной точности или сложности (превышающей разрядность машинных числовых регистров) [10].

Парадоксальная практическая арифметика

Несмотря на обилие разнообразных теоретических средств, существуют **незавершенная половинная ситуация** – хроническая проблема последовательной и параллельной арифметической алгоритмики:

1) В начальной школе арифметика до сих пор изучается в массовом порядке по древней, в принципе, системе практического обучения на большом числе примеров с неявным интуитивным освоением алгоритмов: фактически обучение ведется по протоколам частных примеров счета – со всеми недостатками замены алгоритмов протоколами счета.

2) В связи с продвижением алгоритмов в информатику младших классов относительно недавно начинается массовое опытно-поисковое освоение алгоритмического обучения арифметике. Это обнаруживается, например, в интернете и представляет интерес для алгоритмического анализа.

3) Ознакомление с компьютерной арифметикой в курсах информатики также выполняется, как правило, на основе частных примеров – перевод чисел из одной системы счисления в другую, двоичные арифметические операции в разных кодах и т.п. Начинается использование арифметических

алгоритмов, но это пока не имеет общепринятого массового характера, что также представляет интерес для анализа. Кроме того, в настоящее время практически преобладает параллельная компьютерная арифметика, но в массовых курсах информатики она, обычно, даже не упоминается.

4) Параллельная арифметика сумматоров и других арифметических устройств представлена, обычно, комбинационными логическими схемами. Описание их параллельной работы во времени выполняется в словесной форме и, возможно, с привлечением плохо понятных временных диаграмм работы конкретной аппаратуры. Представляет интерес разработка алгоритмических средств описания таких арифметических схем [1].

Теория чисел и алгоритмы

На математической и затем технической стадии алгоритмизации также имеет место встречная тенденция взаимного влияния направлений [2]:

- **математизация арифметики** – в форме развития *теории чисел* (зачатки которой появились еще в древней Греции);
- **арифметизация математики** – в основаниях математики для решения задачи строго логического обоснования всех разделов математики: на предельно простой арифметической аксиоматической основе.

Теория чисел – это математическая дисциплина, областью исследования которой являются арифметические (числовые) множества, отношения, операции, их алгебраические и другие обобщения и т.п. Современная теория чисел "очень сложна по своим методам, почерпнутым из почти всех прочих математических наук" [11]. При этом аспект *математизации арифметики* представляет большой теоретический и практический интерес для систематического алгоритмического анализа.

Алгоритмическая теория чисел

Далее приводятся несколько высказываний из книги [11] по теории чисел, которые дают первичное освещение указанной выше проблемы.

"Предлагаемый в этой книге подход по теории чисел отличается от классического подхода старых монографий в некоторых важных аспектах."

"Мы всюду подчеркиваем алгоритмическую сторону дела, не забывая строго обосновывать все встречающиеся на нашем пути алгоритмы."

"Таким образом, в действительности эта книга об **алгоритмической теории чисел**."

"Разумеется, со времен Эвклида теория чисел была пронизана алгоритмами, однако до самого последнего времени этот подход казался несколько старомодным."

"Иногда математические книги представляют собой сухую **последовательность определений, теорем и доказательств**."

"Такой **стиль** восходит к "Элементам" Эвклида, и в конце двадцатого века он **приобрел силу стандарта**."

Примером такого (стандартного) классического стиля в теории чисел

является, по-видимому, классическое учебное пособие [12]. Здесь нет (явно выраженных) алгоритмов, и не встречается термин "алгоритм".

Более того, примером такого стиля в теории чисел является книга [13], в названии которой даже явно присутствует термин "алгоритм" ("Быстрые алгоритмы ..."). Здесь исчерпывающим образом изложена в общем виде фундаментальная специализированная теоретическая база. Однако трудно выделить явно конкретные выполнимые алгоритмы. По-видимому, используется традиционная первичная интерпретация алгоритма в математике, как метода или способа решения математической задачи.

Данная проблемная ситуация представляет интерес для анализа:

- причем, более широко – как, например, реализуется алгоритмический подход в некоторых учебниках по дискретной математике для программистов (и, желательно, было бы для технических специальностей);
- но какова "цена вопроса"? – такой перестройки обучения математике.

Парадокс алгоритмической теории чисел

В работе [11], представляющей собой алгоритмическую теорию чисел, приводится, например, алгоритм деления:

Ввод: натуральные числа a и b .

Вывод: неотрицательные целые числа q и r , для которых выполнено равенство: $a = bq + r$ и $0 \leq r < b$.

Шаг 1: Положим $Q = 0$, $R = a$.

Шаг 2: Если $R < b$, то сообщить: "частное равно Q , а остаток равен b " и остановиться. В противном случае перейти к шагу 3.

Шаг 3: Если $R \geq b$, то вычесть b из R , увеличить Q на 1 и перейти к шагу 2.

Это математический (алгебраический) алгоритм – его знали еще древние Греки [11]. Такие алгоритмы позволяют решать фундаментальные теоретические проблемы арифметики. Однако они **не пригодны непосредственно** для практических арифметических операций с многоразрядными числами в конкретных системах счисления:

- ни в древние времена для приборных вычислений на абаксе;
- ни в наше время для обучения младших школьников письменной десятичной арифметике на бумаге.

Суть дела в том, что они задаются предельно обобщенно для любых систем счисления и абстрактно, безотносительно к системе счисления: это универсальная математическая (алгебраическая) форма алгоритма.

Но для обучения применению таких алгоритмов в конкретных системах счисления их еще нужно "доводить до ума". Таким образом, даже **в алгоритмической теории чисел** сохраняется древняя хроническая **проблема реальных алгоритмов** для конкретных систем счисления.

Конкретные алгоритмы, исполнимые в конкретных системах счисления уже применяются в образовании, но пока это не носит общепринятого массового характера. Актуальной задачей является анализ этой инертной ("тормозной") проблематики с целью выявления ее причин (начиная с ее исторических корней) и их преодоления.

Кроме того, также представляет интерес сравнительный анализ (принципиальной разницы) арифметики (как базиса) и математики (как надстройки), математических и арифметических алгоритмов и алгоритмических систем [1,2].

Моделирование арифметических операций

Некоторый поисковый опыт работы показывает [1]:

- перспективным подходом может быть **первичное обучение** выполнению арифметических операций в начальной школе **на программных моделях древних вычислительных приборов** типа абак, но в десятичной системе счисления:

это принципиально более продвинутый метод, чем традиционное начальное обучение предметному счету на палочках;

- при этом возможно **простое и доступное алгоритмическое обучение десятичному счету** на уровне наглядно-действенного и наглядно-образного мышления с манипулированием группами счетных объектов: в частности, хорошо демонстрируется механизм порождения и выполнения межразрядных переносов;
- кроме того, возможно раннее демонстрационное **ознакомление с потенциальным параллелизмом** арифметических операций.

Такие модельные подходы полезны с любыми системами счисления и для профессионального обучения разных уровней [1]:

в курсах информатики, цифровой схемотехники, вычислительной техники.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Получена достаточно сложная общая классификационная **структурная картина** исторического процесса подготовки, формирования и развития массовой алгоритмизации (нарастающей сложности во времени). Она полезна сама по себе для общей ориентировки в алгоритмической проблематике в целом и обеспечивает возможность системного анализа конкретных направлений алгоритмизации – по отдельности и в их взаимосвязи.

Что касается замыкающей компоненты – области и направления развития **алгоритмических систем кибернетики**, то в излагаемой системе анализа она мало проработана (поскольку, в конечном счете, основной целевой проблемой автора являются технические алгоритмические системы). Однако ее анализ является целесообразным по следующим причинам:

- это актуально (и интересно) само по себе;
- обеспечивается возможность использования "известного **методологического принципа** [4]:

развитие **на высшем уровне** дает ключ к пониманию развития **на предшествующих уровнях**".

То есть с позиций алгоритмической кибернетики целесообразных систем в принципе возможно будет:

дополнительное (невозможное само по себе) выявление, конструктивное

описание, понимание и объяснение **ключевых сущностей** в области алгоритмических систем арифметики, математики и техники (как частных разновидностей целесообразных систем).

При этом **исходной проблемной задачей** является корректное и развернутое (многоуровневое) опорное **определение понятия кибернетики** как теории и практики целесообразно организованных систем (целенаправленно действующих на основе управления посредством информации).

ЛИТЕРАТУРА

Статьи [1-3] автора доступны на сайте:

URL: <http://paralg.ucoz.com/>: Параллельные алгоритмы и логика.

1. Житников А. П. Исторические области и парадоксы параллельной (и последовательной) алгоритмики. // Современные технологии преподавания естественнонаучных дисциплин в системе общего и профессионального образования: Сб. материалов Междунар. науч.-практ. форума. – Борисоглебск: Изд-во БГПИ, 2012. – С. 80-94.
2. Житников А. П. Теория алгоритмов в практике применения и в учебном процессе. // Применение инновационных технологий в преподавании математических дисциплин в школе и в вузе: Сб. науч. тр. – Борисоглебск: Изд-во БГПИ, 2013. – С. 38-56.
3. Житников А. П. Базовые прикладные области параллельной (и последовательной) алгоритмики. – В данном сборнике. – 20 с.
4. Апокин И. А., Майстров Л. Е. История вычислительной техники. – М.: Наука, 1990. – 264 с.
5. Ал-Хорезми. Книга об индийском счете. / В сб.: Хорезми. Математические трактаты. – Ташкент: Фан, 1983. С. 5 – 19.
6. Примечания к арифметическому трактату / В сб.: Хорезми. Математические трактаты. – Ташкент: Фан, 1983. С. 109 – 118.
7. Юшкевич А. П. О труде по арифметике Мухаммеда ибн Муса ал-Хорезми. / В сб.: Хорезми. Математические трактаты. – Ташкент: Фан, 1983. – С. 142 – 149.
8. Матвиевская Г. П. Выдающийся математик Мухаммед ибн Муса ал-Хорезми. / В сб.: Хорезми. Математические трактаты. – Ташкент: Фан, 1983. С. 266 – 399.
9. Жуков-Емельянов О.Д. Информационные технологии на основе модулярной алгебры. – М.: КРАСАНД, 2010. – 248 с.
10. Качко Е.Г. Распараллеливание алгоритмов умножения многократной сложности. // Вестник УГАТУ, Т. 15 (45). – Уфа: УГАТУ, 2011. С. 142-147.
11. Коутинхо С. Введение в теорию чисел. Алгоритм RSA. М.: Постмаркет, 2001. 328 с.
12. Демидов И.Т. Основания арифметики: Учебное пособие. Изд. 2-е. – М.: ДомКниги, 2010. – 160 с.
13. Гашков С.Б. Быстрые алгоритмы операций с числами и многочленами. – М.: ЛИБРОКОМ, 2012. – 224 с.