

Алексей Стахов

**Микропроцессоры Фибоначчи - как одна из базисных инноваций
будущего технологического уклада, изменяющих уровень
информационной безопасности систем**

Аннотация

По мнению выдающегося российского ученого академика Я.А. Хетагурова, применение микропроцессоров иностранного производства в российских разработках таит в себе большие проблемы для национальной безопасности России. Это своего рода «троянский конь», роль которого только начинает проявляться. Причина состоит в отсутствии в таких микропроцессорах контроля преобразований информации. Современные микропроцессоры ненадежны с информационной точки зрения.

В статье излагаются теоретические основы «микропроцессоров Фибоначчи» как нового направления в повышении информационной надежности микропроцессоров. «Троянским конем» двоичной системы, используемой в микропроцессорах, является ее **НУЛЕВАЯ ИЗБЫТОЧНОСТЬ**, что не позволяет осуществлять контроль преобразований информации в микропроцессоре. Настало время заменить «двоичное отношение» и двоичную систему, используемую в микропроцессорах, на «золотое отношение», фибоначчиеву и «золотую» систему счисления. Микропроцессоры Фибоначчи открывают новую эру в развитии высоконадежных микропроцессоров и, в перспективе, нанопроцессоров! Они являются одной из базисных инноваций будущего технологического уклада, которые могут изменить уровень экономической и информационной безопасности систем.

Содержание

1. Введение
 2. «Троянский конь» двоичной системы счисления
 3. Особенности применения классических избыточных кодов в «компьютерных каналах»
 4. История научного направления
 5. Математические и информационные основы микропроцессоров Фибоначчи
 6. Основные преимущества кода Фибоначчи и «золотого» кода
 7. Патентование
 8. Трудная судьба «компьютеров Фибоначчи»
 9. Заключение
- Литература

1. Введение

Настоящая статья основывается на огромном научном заделе, который отражен в статьях, книгах, авторских свидетельствах и патентах автора [1-243]. Автор разработал компьютерную арифметику Фибоначчи и выдвинул концепцию «компьютеров Фибоначчи» в середине 70-х годов прошлого века [16,17,19,21].

Уникальное по своим масштабам патентование советских изобретений в этой области за рубежом (США, Япония, Англия, Франция, Германия, Канада и др. страны) показало, что западная наука ничего не смогла противопоставить концепции «компьютеров Фибоначчи», то есть, концепция «компьютеров Фибоначчи» является достижением советской науки. Весьма успешные результаты патентования (свыше 60 патентов в компьютерной области) заставили задуматься как академические, так и промышленные круги над тем фактом, что в советской компьютерной науке возникло новое научное направление, которое может стать основой революционных преобразований в области компьютеров.

На данном этапе интерес к этому направлению существенно возрос в западной науке в связи с публикацией книги автора **“The Mathematics of Harmony. From Euclid to Contemporary Mathematics and Computer Science”** в одном из наиболее престижных научных издательств мира “World Scientific” [11]. 11 ноября 2011 г. автор выступил с докладом «Математика гармонии и компьютеры Фибоначчи» на научном семинаре кафедры компьютерной техники университета Ryerson, который считается одним из ведущих инженерных университетов Канады.

Настоящая статья написана в развитие этого доклада. Ее главной целью является обсуждение возможностей использования арифметики Фибоначчи и «золотой» арифметики для повышения информационной надежности микропроцессоров.

В современном мире трудно найти область техники, где не применялись бы микропроцессоры. Они применяются при вычислениях, для выполнения функций управления, а также при обработке звука и изображения. В зависимости от **области применения** микропроцессора меняются требования к нему. Это накладывает отпечаток на внутреннюю структуру микропроцессора. В настоящее время определилось три направления развития микропроцессоров:

- универсальные микропроцессоры
- микроконтроллеры
- сигнальные микропроцессоры

Универсальные микропроцессоры используются для построения вычислительных машин. В них используются самые передовые решения по повышению быстродействия, не обращая особого внимания на габариты, стоимость и потребляемую энергию.

Микроконтроллеры используются для управления малогабаритными и дешёвыми устройствами связи; они раньше назывались однокристалльными микроЭВМ. В микроконтроллерах, в отличие от универсальных микропроцессоров, максимальное внимание уделяется именно габаритам, стоимости и потребляемой энергии.

Сигнальные процессоры используются для решения задач, которые традиционно решала аналоговая схемотехника. К сигнальным процессорам предъявляются специфические требования. От них требуются максимальное быстродействие, малые габариты, легкая стыковка с аналого-цифровыми и цифро-аналоговыми преобразователями, большая разрядность обрабатываемых данных и небольшой набор математических операций, обязательно включающий операцию умножения-накопления и аппаратную организацию циклов. В этих процессорах тоже важны такие параметры как стоимость габариты и потребляемая мощность, но здесь приходится мириться с большими значениями этих характеристик по сравнению с микроконтроллерами.

Традиционно основное внимание при создании микропроцессоров и микроконтроллеров уделялось повышению быстродействия, уменьшению стоимости и потребляемой мощности. К сожалению, меньшее внимание уделялось проблеме повышения информационной надежности, помехоустойчивости, контролеспособности, достоверности данных на выходе микропроцессоров и микроконтроллеров. Это обстоятельство вызывает тревогу многих известных специалистов в области микропроцессорной техники. В статье академика Я.А. Хетагурова «Обеспечение национальной безопасности систем реального времени» (ВС/NW 2009; №2 (15):11.1) высказаны интересные соображения, касающиеся использования микропроцессоров и микроконтроллеров иностранного производства:

«Применение микропроцессоров, контроллеров и программного обеспечения вычислительных средств (ВС) иностранного производства для решения задач в системах реального времени (СРВ) военного, административного и финансового назначения таит в себе большие проблемы. Это своего рода «тройанский конь», роль которого только стала проявляться. Потери и вред от их использования могут существенно повлиять на национальную безопасность России... Отсутствие в иностранных вычислительных средствах широкого профиля контроля, необходимого для обеспечения требуемой достоверности выдаваемых данных в СРВ, приводит либо к использованию программных методов контроля, которые увеличивают быстродействие в 1,5-2,5 раза и потребление электроэнергии либо применению мажоритарного метода контроля, использующего 3 вычислительных устройства ШП, что повышает требования к быстродействию на 10-15%, однако увеличивает объём аппаратуры ВС в среднем в 3,3 раза и потребление электроэнергии в 3,4 раза».

Хетагуров Ярослав Афанасьевич



- Доктор технических наук, профессор
- Главный научный сотрудник, Моринформсистема – АГАТ, МИФИ, НПФ "СКИБР".
- 1960 г. - Ленинская премия в области науки и техники
- 1982 г. – премия Совета Министров СССР
- 1986 г. – премия Минвуза СССР за проектирование аппаратно-программных средств видеотерминальных комплексов

Таким образом, микропроцессоры иностранного производства, широко используемые в современных российских и украинских разработках, по мнению академика Хетагурова, являются «тройным конем», который угрожает национальной безопасности систем реального времени военного, административного и финансового назначения.

Цель настоящей статьи – изложить теоретические основы микропроцессоров Фибоначчи как нового пути повышения информационной надежности средств микропроцессорной техники [1-243].

2. «Тройной конь» двоичной системы счисления

Как известно, двоичная система была введена в компьютерную технику Джоном фон Нейманом в 1946 г.



Джон фон Нейман (1903-1957) — венгро-американский математик, сделавший важный вклад в квантовую физику, квантовую логику, функциональный анализ, теорию множеств, информатику, экономику и другие отрасли науки. В июле 1954 г., совместно с Моучли и Эккерта Джон фон Нейман подготовил отчет на 101 странице, в котором обобщил планы работы над машиной EDVAC. Этот отчет, озаглавленный *"Предварительный доклад о машине EDVAC"*. Этот доклад стал первой работой по цифровым электронным компьютерам, с которым познакомились широкие круги научной общественности. И по сей день ученые иногда называют компьютер, описанный в докладе, *"машиной фон Неймана"*.

Одним из «неймановских принципов» было обоснование использования в электронных компьютерах **двоичной системы счисления**. На тот период это было абсолютно правильное и взвешенное решение, так как двоичная система в наибольшей степени отвечала двоичному характеру электронных элементов и требованиям булевой логики. Кроме того, следует учитывать то обстоятельство, что в тот период других, альтернативных систем счисления в науке просто не существовало. Выбор был очень небольшой: *десятичная система* или *двоичная система*. Предпочтение было отдано двоичной системе. Однако вместе с двоичной системой в компьютерную технику был введен «троянский конь» в виде **«нулевой избыточности»** двоичной системы. Отсутствие избыточности означает, что все двоичные кодовые комбинации в рамках двоичной системы являются «разрешенными», что делает невозможным обнаружение каких-либо ошибок, которые неизбежно (с большей или меньшей вероятностью) могут возникнуть в элементах электронных систем под влиянием различных внешних и внутренних факторов (радиация, электромагнитные воздействия, помехи в шинах питания и т.д.). В нанoeлектронике эта проблема становится еще более острой [244, 245].

Отсюда следует, что двоичная система в «чистом виде» не может служить информационной и арифметической основой микропроцессоров, предназначенных для использования в специализированных управляющих и измерительных системах (космические системы, управление транспортом и сложными технологическими объектами, робототехника, медицинские системы и др.), где особые требования предъявляются к надежности, отказоустойчивости, достоверности данных, живучести и стабильности измерительных и управляющих систем, функционирующих в реальном масштабе времени. К сожалению, микроэлектроника вынуждена была взять на вооружение все технические решения классической компьютерной техники вместе с двоичной системой. Вместе с ней «троянский конь» переселился в микропроцессоры и микроконтроллеры. В настоящее время двоичная система начинает постепенно завоевывать свои позиции

и в наноэлектронике [244, 245]. Это означает, что «тroyанский конь» двоичной системы («нулевая избыточность») беспрепятственно может переселиться в наноэлектроннику, что может привести к непредсказуемым последствиям для дальнейшего развития информационных технологий (статья академика Хетагурова являются первым серьезным предупреждением для современного информационного общества).

Таким образом, человечество становится заложником классической двоичной системы счисления, которая лежит в основе современных микропроцессоров и информационных технологий. Поэтому дальнейшее развитие микропроцессорной техники и основанной на ней информационной технологии на основе классической двоичной системы счисления следует признать тупиковым направлением. Двоичная система не может служить информационной и арифметической основой специализированных компьютерных и измерительных систем (космос, управление транспортом и сложными технологическими объектами, нанотехнологии), а также наноэлектронных систем, где проблемы надежности, помехоустойчивости, контролеспособности, стабильности, живучести систем выходят на передний план.

Необходимо отказаться от классической двоичной системы счисления как информационной и арифметической основы специализированных компьютерных систем и наноэлектронных систем и перейти при их проектировании на новые избыточные системы счисления, сохраняющие все известные преимущества классической двоичной системы счисления (позиционность представления чисел, простота арифметических правил, использование двух $\{0,1\}$ цифр для представления чисел, простые правила сравнения и округления чисел и др.) и позволяющие улучшить надежность, контролеспособность, помехоустойчивость компьютерных систем и тем самым повысить информационную надежность компьютеров

3. Особенности применения классических избыточных кодов в «компьютерных каналах»

Среди некоторых «специалистов», выпускников вузов в области автоматики и телемеханики, бытует мнение, что проблемы повышения информационной надежности микропроцессоров можно решить с помощью современных корректирующих кодов (коды Хэмминга, циклические, турбо-коды и пр.). Необходимо разочаровать этих «специалистов». Если бы это было возможным, то это давно было бы сделано. Предложение использовать классические корректирующие коды для повышения надежности компьютеров и процессоров, в частности, нанокомпьютеров и нанопроцессоров, вызывает большие сомнения в силу следующих особенностей «вычислительных каналов» [22]. Основной особенностью «компьютерных каналов» по сравнению с «каналами связи», где широко используются корректирующие коды, является **ПАРАЛЛЕЛЬНЫЙ**

характер хранения, передачи и обработки информации. Это приводит к следующим ограничениям на применение классических избыточных кодов в компьютерных структурах:

- Для компьютерных структур (счетчиков, регистров, сумматоров, памяти) модель ошибок, основанная на модели «симметричного канала», принятая в теории связи, не соответствует реальным экспериментальным данным.
- Экспериментальные данные показывают, что типичный вероятностный закон распределения ошибок в «компьютерных каналах» отличается от модели «симметричного канала» и приближается к **равномерному распределению**; при этом ошибки, как правило, являются **асимметричными**.
- Это означает, что понятие «минимального кодового расстояния» применительно к компьютерным каналам теряет практический смысл в качестве критерия эффективности кода. **В «компьютерных каналах» на передний план выдвигается только один критерий – ошибкообнаруживающая способность кода, зависящая от количества избыточных разрядов.**
- При использовании классических избыточных кодов мы используем два кода – исходный неизбыточный код (представление информации в двоичной системе) и избыточный код. Это создает так называемую **проблему кодирования-декодирования**. Ее суть состоит в том, что кодеры и декодеры для параллельных компьютерных структур являются довольно сложными с аппаратурной точки зрения. В большинстве случаев их сложность превышает сложность компьютерных структур, которые они контролируют. В качестве примера вспомним кодер и декодер для простейшего избыточного кода – кода с проверкой на четность.

4. История научного направления

Впервые исследования по избыточным способам позиционного представления чисел были предприняты в начале 70-х годов 20 в. в Таганрогском радиотехническом институте (ТРТИ) в работах автора настоящей статьи, который возглавлял кафедру информационно-измерительной техники ТРТИ в период с 1971 по 1977 гг. В докторской диссертации автора [2] были синтезированы так называемые *фибоначчиевые алгоритмы измерения*, которые привели к двум нетрадиционным способам позиционного представления чисел: *p-кодам Фибоначчи* и *кодам золотой p-пропорции*.

Под *p-кодами Фибоначчи* понимаются следующие способы двоичного позиционного представления натуральных чисел [3]:

$$N = a_n F_p(n) + a_{n-1} F_p(n-1) + \dots + a_i F_p(i) + \dots + a_1 F_p(1), \quad (1)$$

где $a_i \in \{0,1\}$ - двоичная цифра, $F_p(i)$ - вес i -го разряда, который при заданном целом $p = 0,1,2,3,\dots$ связан с весами предыдущих разрядов следующим рекуррентным соотношением:

$$F_p(i) = F_p(i-1) + F_p(i-p-1); \quad F_p(1) = F_p(2) = F_p(p+1) = 1 \quad (2)$$

Заметим, что при $p=0$ p -код Фибоначчи (1) сводится к классическому двоичному коду. При $p=1$ рекуррентное соотношение (2) превращается в рекуррентное соотношение для чисел Фибоначчи:

$$F_i = F_{i-1} + F_{i-2}; \quad F_1 = F_2 = 1, \quad (3)$$

а сам p -код Фибоначчи (1) сводится к классическому коду Фибоначчи, называемому также представлением Цекендорфа:

$$N = a_n F_n + a_{n-1} F_{n-1} + \dots + a_i F_i + \dots + a_1 F_1, \quad (4)$$

в котором весами разрядов являются числа Фибоначчи: 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, ...

Под кодами золотой p -пропорции понимаются следующие способы двоичного позиционного представления действительных чисел [5]:

$$A = \sum_i a_i \Phi_p^i, \quad (5)$$

где $a_i \in \{0,1\}$ - двоичная цифра i -го разряда, Φ_p^i - вес i -го разряда, связанный с весами предыдущих разрядов соотношением:

$$\Phi_p^i = \Phi_p^{i-1} + \Phi_p^{i-p-1} = \Phi_p \times \Phi_p^{i-1}; \quad i = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots \quad (6)$$

Φ_p - основание системы счисления (5), которое при заданном целом $p = 0, 1, 2, 3, \dots$ является положительным корнем следующего алгебраического уравнения:

$$x^{p+1} - x^p - 1 = 0 \quad (7)$$

Корень Φ_p является иррациональным числом для всех $p > 0$ и был назван *золотой p -пропорцией* на том основании, что при $p=1$ он совпадает с классической золотой пропорцией $\Phi = \frac{1+\sqrt{5}}{2}$.

Выражение (5) задает бесконечное количество двоичных (по числу используемых цифр 0 и 1) позиционных систем счисления с основаниями Φ_p . Каждому значению $p=0, 1, 2, 3, \dots$ соответствует свое позиционное представление (5). При $p=0$ код золотой p -пропорции сводится к двоичной системе – основе современных компьютеров.

При $p=1$ получаем неожиданный результат. Для этого случая позиционное представление (5) сводится к системе счисления, предложенной в 1957 г. американским математиком Джорджем Бергманом [246]:

$$A = \sum_i a_i \Phi^i. \quad (8)$$

Бергман назвал свою систему *системой счисления с иррациональным основанием*, поскольку ее основанием является знаменитое иррациональное число – «золотая пропорция» $\Phi = \frac{1+\sqrt{5}}{2}$.

Отсюда следует, что код золотой p -пропорции (5) является обобщением двух известных систем счисления – *двоичной системы* ($p=0$), которая получила широчайшее распространение в современной информатике, и *системы Бергмана* ($p=1$) – первой в истории науки позиционной системы счисления с иррациональным основанием.

Заметим, что КЗП (8) и ее обобщение (5) являются необычными математическими результатами, которые еще до конца не осознаны в современной математике и информатике. Они переворачивают наши представления о позиционных системах счисления, более того, наши взгляды на соотношение между иррациональными и рациональными числами. До системы Бергмана (8) считалось, что основанием системы счисления могут быть некоторые натуральные числа (2, 10, 12, 60 и т.д.). В КЗП (8) и кодах золотой p -пропорции (5) основаниями системы счисления являются некоторые иррациональные числа – «золотая пропорция» Φ и «золотые p -пропорции» Φ_p , с помощью которых могут быть представлены любые действительные числа в виде (5) или (8). Единственным исключением является классическая двоичная система, основанием которой является натуральное число 2.

Как известно, теория чисел, описанная в «Началах» Евклида, начинается с очень простого определения натурального числа: $N=1+1+1+\dots+1$. При этом все математические проблемы теории чисел (простые числа, теория делимости и т.д.), в конечном итоге, в своих истоках восходят к «евклидовому» определению натурального числа.

Выражения (5) и (8) можно рассматривать, как новые определения действительного числа A . Поэтому позиционные представления (5) и (8) можно рассматривать как начало новой теории чисел. Эту идею с большим интересом воспринял академик Ю.А. Митропольский. По его рекомендации «Украинский математический журнал» опубликовал в 2004 году статью автора [33], в которой изложены основы новой теории чисел, названной «золотой» теорией чисел.

Первые статьи автора по арифметике Фибоначчи были написаны в Таганрогском радиотехническом институте [16,17,19,21]. Теория p -кодов Фибоначчи (1) изложена в книге [3]. Понятие кодов золотой p -пропорции введено в статье [24], а основы «золотой» арифметики изложены в книге [5].

Однако, наибольший интерес при практической реализации микропроцессоров Фибоначчи представляют два позиционных представления – код Фибоначчи (4) и код золотой пропорции (8), соответствующие значению $p=1$, p -коды Фибоначчи (1) и коды золотой p -пропорции (5), соответствующие большим значениям $p>1$, представляют, прежде всего, теоретический интерес как широкое обобщение двоичной системы.

Основным итогом исследований Джорджа Бергмана [246] и автора настоящей статьи [3, 5] является введение в современную науку новых позиционных представлений, названных системами счисления с иррациональным основанием. Основной заслугой автора состоит в том, что он впервые выдвинул концепцию «компьютеров Фибоначчи» и приступил к их практической реализации [1-243].

По этому поводу хорошо написал проф. Сергей Абачиев (Москва), один из лучших российских специалистов по логике и методологии науки [247]:

«Открытие 12-летним вундеркиндом Дж. Бергманом «золотой» иррациональной системы счисления никак не предопределялось такими законами.

Оно могло быть сделано и на много десятилетий раньше, а могло и не быть сделано по сей день. Но уже в 1957 г., когда оно реально было сделано, раскручивался маховик индустрии цифровых информационных технологий на основе статистической теории информации К. Шеннона и двоичного кода Дж. фон Неймана. И уж в полной мере этот маховик был раскручен к началу 70-х гг., когда А. П. Стахов впервые по достоинству оценил «золотую» систему счисления в роли арифметической первоосновы цифровых информационных технологий.

Выбор фон Нейманом двоичного кода со всеми его недостатками по сравнению с избыточными кодами золотой пропорции не должен расцениваться как исторически неудачный и ошибочный. В конце 40-х гг. ему просто не было никаких альтернатив. В принципе, любительское открытие Бергмана, датированное 1957-м годом, могло быть сделано кем-то другим на полвека раньше. Попади тогда первая «золотая» система счисления в поле зрения Хартли, Шеннона и фон Неймана, история цифровых информационных технологий могла бы начаться сразу же с кодов золотой пропорции. Но реальная история Мировой науки и техники распорядилась по-иному. Первым восприимчивым и профессиональным разработчиком этого любительского открытия стал А. П. Стахов в условиях раскрученного маховика информационных технологий на основе двоичного кода ...

Проученное горьким опытом былых гонений на генетику и кибернетику, Советское государство на этот раз быстро осознало, что отечественная наука обретает стратегически прорывные позиции на всеопределяющем направлении научно-технического прогресса. Свидетельством тому стало беспрецедентное патентование первых информационных технологий А. П. Стахова на качественно новой арифметической первооснове в СССР, на Западе и в Японии ... Тем не менее, такие технологии объективно не могли тогда быстро вытеснить безраздельно господствовавшие технологии на основе двоичного кода. В любом случае их экспансия была бы процессом сугубо поэтапным, длительностью во много десятилетий.

И в 80-х гг. этот естественный процесс в нашей тогда ещё единой стране начал осуществляться со сравнительно узкой области бортовой электроники военных самолётов и космических аппаратов, в которой экономические критерии эффективности техники отходят на задние планы по сравнению с функциональными При нормальном развитии к настоящему времени он позволил бы России и Украине быть Мировыми «законодателями» и производителями, по крайней мере, уникально надёжной авионики. Но катастрофический финал «перестройки» 1985–1991 гг. пресёк в начальной фазе этот процесс поэтапного отвоёвывания нашей страной ведущих Мировых позиций в области технической кибернетики и информационных технологий».

Абачиев Сергей Константинович	Кандидат философских наук, профессор кафедры философии и мировоззренческой безопасности в Институте государственного управления, права и инновационных технологий (Москва). Области
--	---



исследовательских интересов – традиционная формальная логика и эволюционная теория познания, гносеологические аспекты труда и техники, современное научно-методологическое и духовное самопознание философии, православно ориентированные религиоведение и историософия.

5. Математические и информационные основы микропроцессоров Фибоначчи

5.1. Золотое сечение (ЗС) – знаменитое иррациональное число $\Phi = \frac{1+\sqrt{5}}{2}$, которое является положительным корнем простейшего алгебраического уравнения $x^2 - x - 1 = 0$. Задача о «золотом сечении» пришла к нам из *Начал* Евклида. ЗС обладает следующими замечательными свойствами [5]:

$$\Phi^n = \Phi^{n-1} + \Phi^{n-2} = \Phi \times \Phi^{n-1}; \quad n = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots \quad (9)$$

5.2. Числа Фибоначчи F_n : 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, ... – это числовая последовательность, порождаемая рекуррентным соотношением (3). Эта последовательность может быть продолжена в сторону отрицательных значений n . При этом возникает следующая числовая последовательность, задаваемая в бесконечных пределах (от $-\infty$ до $+\infty$):

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8
F_n	0	1	1	2	3	5	8	13	21
F_{-n}	0	1	-1	2	-3	5	-8	13	-21

5.3. Код Фибоначчи – это позиционное представление натуральных чисел, задаваемое (4). Сокращенная запись кода Фибоначчи (4) имеет вид:

$$N = a_n a_{n-1} \dots a_i \dots a_2 a_1. \quad (10)$$

Подчеркнем, что сокращенная запись кода Фибоначчи (10) по своей сути является **двоичной**, то есть, «принцип двоичности» (использование двоичных цифр 0 и 1) в коде Фибоначчи (4) сохраняется, откуда вытекает, что «микропроцессоры Фибоначчи» используют *двоичную элементную базу* и *двоичную логику*, что важно для микроэлектронной и наноэлектронной технологий.

5.4. Диапазон представления чисел

Заметим, что код Фибоначчи (4) предназначен для представления натуральных чисел. С помощью n -разрядного кода Фибоначчи (4) можно представить все целые числа в диапазоне от

$$N_{\min} = 0 = \underbrace{00\dots0}_n \text{ до } N_{\max} = \underbrace{11\dots1}_n, \quad (11)$$

где число N_{\max} имеет следующую алгебраическую интерпретацию:

$$N_{\max} = F_n + F_{n-1} + \dots + F_2 + F_1 = F_{n+2} - 1 \quad (12)$$

Таким образом, если в классическом двоичном коде с помощью n разрядов можно представить 2^n чисел в диапазоне от 0 до $2^n - 1$, то с помощью n -разрядного кода Фибоначчи (4) можно представить F_{n+2} чисел в диапазоне от 0 до $F_{n+2} - 1$. В отличие от классической двоичной системы код Фибоначчи (4) является **избыточным** кодом. При этом его избыточность кода проявляет себя в свойстве *многозначности представления натуральных чисел*. Это свойство лежит в основе контроля всех арифметических операций и обеспечивает другие важные технические преимущества данного кода.

5.5. Многозначность представления чисел

Представление чисел в коде Фибоначчи (4) является *многозначным*, то есть, каждая двоичная комбинация (10) в коде Фибоначчи (4) представляет некоторое натуральное число, в то время как одному и тому же натуральному числу соответствует некоторое множество двоичных комбинаций. Это демонстрируется с помощью таблиц 1 и 2.

Таблица 1

A_i	5	3	2	1	1	N	A_i	5	3	2	1	1	N
A_0	0	0	0	0	0	0	A_{16}	1	0	0	0	0	5
A_1	0	0	0	0	1	1	A_{17}	1	0	0	0	1	6
A_2	0	0	0	1	0	1	A_{18}	1	0	0	1	0	6
A_3	0	0	0	1	1	2	A_{19}	1	0	0	1	1	7
A_4	0	0	1	0	0	2	A_{20}	1	0	1	0	0	7
A_5	0	0	1	0	1	3	A_{21}	1	0	1	0	1	8
A_6	0	0	1	1	0	3	A_{22}	1	0	1	1	0	8
A_7	0	0	1	1	1	4	A_{23}	1	0	1	1	1	9
A_8	0	1	0	0	0	3	A_{24}	1	1	0	0	0	8
A_9	0	1	0	0	1	4	A_{25}	1	1	0	0	1	9
A_{10}	0	1	0	1	0	4	A_{26}	1	1	0	1	0	9
A_{11}	0	1	0	1	1	5	A_{27}	1	1	0	1	1	10
A_{12}	0	1	1	0	0	5	A_{28}	1	1	1	0	0	10
A_{13}	0	1	1	0	1	6	A_{29}	1	1	1	0	1	11
A_{14}	0	1	1	1	0	6	A_{30}	1	1	1	1	0	11
A_{15}	0	1	1	1	1	7	A_{31}	1	1	1	1	1	12

Таблица 2

$0 = \{A_0\}$
$1 = \{A_1, A_2\}$
$2 = \{A_3, A_4\}$
$3 = \{A_3, A_4, A_8\}$
$4 = \{A_7, A_9, A_{10}\}$
$5 = \{A_{11}, A_{12}, A_{16}\}$
$6 = \{A_{13}, A_{14}, A_{17}, A_{18}\}$
$7 = \{A_{15}, A_{19}, A_{20}\}$
$8 = \{A_{21}, A_{22}, A_{24}\}$
$9 = \{A_{23}, A_{25}, A_{26}\}$
$10 = \{A_{27}, A_{28}\}$
$11 = \{A_{29}, A_{30}\}$
$12 = \{A_{31}\}$

В Табл. 1 представлено отображение множества 5-разрядных двоичных комбинаций $A_i (i=0,1,2,3,\dots,31)$ на множество целых чисел: 0,1,2,3, ..., 12. В таблице 2 представлено отображение множества целых чисел 0,1,2,3, ..., 12 на множество 5-разрядных двоичных «фибоначчиевых» комбинаций $A_i (i=0,1,2,3,\dots,31)$.

Как вытекает Табл. 1, с помощью 5-разрядных двоичных комбинаций $A_i (i=0,1,2,3,\dots,31)$ в коде Фибоначчи (4) можно представить 13 целых чисел от минимального числа 0 до максимального числа 12. При этом, как следует из Табл.2, все числа (за исключением минимального числа $0=00000$ и максимального числа $12=11111$) имеют многозначное представление.

5.6. Свертка и развертка двоичных разрядов

Различные кодовые представления одного и того же числа могут быть получены друг из друга с помощью двух «фибоначчиевых» микроопераций, основанных на основном рекуррентном соотношении (3), связывающем веса разрядов в коде (4). Эти операции называются соответственно *сверткой* ($011 \rightarrow 100$) и *разверткой* ($100 \rightarrow 011$) двоичных разрядов. Заметим, что выполнение этих операций в фибоначчиевой кодовой комбинации (10) не изменяет числа, изображаемого этой кодовой комбинацией.

Ниже приведены примеры применения операций *свертки* и *развертки* для получения различных «фибоначчиевых» представлений чисел 7 и 5:

$$\text{Свертка: } 7 = \begin{cases} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{cases} \quad \text{Развертка: } 5 = \begin{cases} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \end{cases} \quad (13)$$

5.7. Минимальная и максимальная формы

Если в «фибоначчиевом» представлении (10) выполнить все возможные *свертки*, то мы придем к характерному «фибоначчиевому» представлению, в котором две единицы рядом не встречаются (см. нижнее «фибоначчиевое» представление числа 7). Такое «фибоначчиевое» представление будем называть *минимальной формой числа*. Заметим, что младший разряд «фибоначчиевого» представления в минимальной форме всегда равен 0.

Если в «фибоначчиевом» представлении (10) выполнить все возможные *развертки*, то мы придем еще к одному характерному «фибоначчиевому» представлению, в котором два нуля рядом справа от старшего значащего разряда не встречаются (см. нижнее «фибоначчиевое» представление числа 5). Такое «фибоначчиевое» представление будем называть *максимальной формой числа*. Заметим, что младший разряд «фибоначчиевого» представления в максимальной форме всегда равен 1.

5.8. Избыточность и ошибкообнаруживающая способность кода Фибоначчи

Доказано [3], что относительная кодовая избыточность кода Фибоначчи (4) не зависит от длины разрядной сетки и в пределе равна **0,44 (44%)**. Это означает, что длина разрядной сетки кода Фибоначчи по сравнению с классическим двоичным кодом должна быть увеличена примерно в **1,5** раза.

При этом, если представлять информацию в минимальной или максимальной форме, то ошибкообнаруживающую способность m -разрядного кода Фибоначчи можно вычислить по формуле:

$$S_d = 1 - \frac{N}{N_0} = 1 - \frac{F_m}{2^m}$$

m	F_m	$S_d\%$
10	89	91.32
20	10946	98.95
30	1346269	99.87

Как следует из таблицы, ошибкообнаруживающая способность 20- и 30-разрядного кода Фибоначчи соответственно равна **99%** и **99,9%**.

5.9. Преобразование классического двоичного кода в код Фибоначчи и наоборот

Примеры такого преобразования представлены в Табл. 3. Слева представлено преобразование двоичного кода в код Фибоначчи ($ДК \rightarrow КФ$), справа – обратное преобразование ($КФ \rightarrow ДК$). Суть такого преобразования очень проста. В таблице слева веса разрядов двоичного кода (ДК) представляются в коде Фибоначчи (КФ), после чего все КФ, соответствующие единичным весам разрядов исходного ДК, суммируются и сумма приводится к минимальной форме (МФ). В таблице справа эта же идея используется для преобразования кода Фибоначчи в двоичный код: $КФ \rightarrow ДК$.

Таблица 3

<u>ДК → КФ</u>							<u>КФ → ДК</u>									
ДК	2^i						КФ	F_i								
				8	5	3	2	1	1		2^3	2^2	2^1	2^0		
1	2^3	→	8	=	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0		
0	2^2	→	0	=	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
1	2^1	→	2	=	0	0	0	1	0	0	0	1	1			
1	2^0	→	1	=	0	0	0	0	1	0	0	0	0			
			11	=	1	0	0	1	1	0						
			МФ	=	1	0	1	0	0	0						
											11	=	1	0	1	1

5.11. Код золотой пропорции (КЗП) – это позиционное представление любого действительного числа A в виде суммы степеней золотой пропорции с двоичными коэффициентами, задаваемой (8). Как упоминалось, это – первая в истории науки система счисления с иррациональным основанием, в качестве которого

используется «золотая пропорция» $\Phi = \frac{1+\sqrt{5}}{2}$. С одной стороны, КЗП (8) является обобщением кода Фибоначчи (4) на область действительных чисел и поэтому сохраняет все технические и арифметические преимущества кода Фибоначчи (в частности, контроль всех преобразований информации, основанный на понятиях *свертки, развертки, минимальной и максимальной формы*). При этом «золотой» код имеет «генетическую избыточность» в 44%. С другой стороны, он позволяет представить в виде (8) любое действительное число A и сохраняет при этом все математические и технические преимущества классической двоичной системы счисления, лежащей в основе современных информационных технологий, а именно, позиционность представления чисел, использование двух цифр $\{0,1\}$ для представления чисел, «наглядность» кода и простота сравнения чисел по величине, представление чисел с плавающей запятой, возможность округления чисел и др.

Дальнейшее развитие кодов золотой пропорции в направлении их практического использования в компьютерной и измерительной технике дано в книге [5].

6. Основные преимущества кода Фибоначчи и «золотого» кода

Арифметические и схмотехнические основы «компьютеров Фибоначчи» изложены в работе [3, 5, 7, 104]. В этих работах показано, что в коде Фибоначчи (4) и коде золотой пропорции (8) можно выполнять все логические и арифметические операции, необходимые для реализации «компьютера Фибоначчи». Таблица 4 дает представление о преимуществах КФ и КЗП в сравнении с классическим двоичным кодом.

Таблица 4

Тип кода	Двоичный код	«Золотой» код	Код Фибоначчи
Формула	$A = \sum_i a_i 2^i$	$\leftarrow A = \sum_i a_i \Phi^i \Rightarrow$	$N = \sum_{i=1}^n a_i F_i$
Связь между разрядами: <i>мультипликат.</i> <i>аддитивная</i>	$2^i = 2 \times 2^{i-1}$ $2^i = 2^{i-1} + 2^{i-1}$	$\leftarrow \Phi^i = \Phi \times \Phi^{i-1}$ $\Phi^i = \Phi^{i-1} + \Phi^{i-2} \rightarrow$	$F_i = F_{i-1} + F_{i-2}$
Сдвиг кода	+	+	–
Представление с плавающей запятой	+	+	–
Округление чисел	+	+	–
Избыточность	0	0.44	0.44

Из Табл. 4 вытекает, что «золотой» код сохраняет все качественные характеристики классического двоичного кода: *двоичный характер представления информации, простота правил выполнения арифметических операций, сдвиг кода, представление с плавающей запятой* и др. При этом «золотой» код обладает такой же избыточностью, как и код Фибоначчи (44%), и при этом «золотой» код сохраняет все свойства кода Фибоначчи (свертка и развертка двоичных разрядов, приведение кода к минимальной и максимальной форме и др.) и обладает свойством контроля всех преобразований информации в микропроцессоре.

Важно еще раз подчеркнуть, что КФ и КЗП являются позиционными двоичными системами счисления, которые сохраняют все известные преимущества классической двоичной системы счисления. С другой стороны, они являются избыточными кодами, сохраняющими все свойства классических избыточных кодов и обладающих достаточно высокой ошибкообнаруживающей способностью (99,9%). Но в качественном отношении коды Фибоначчи и «золотой пропорции» превосходят как другие избыточные коды, так и все известные позиционные системы счисления, прежде всего потому, что они совмещают в себе свойства позиционных систем счисления и избыточных кодов одновременно

Применение этих кодов в компьютерах не приводит к необходимости преобразования исходного кода в избыточный, что **автоматически решает проблему кодирования-декодирования** и приводит к упрощению вычислительных структур.

При этом эти коды позволяют создавать компьютерные устройства и структуры, обладающие следующими свойствами:

1. Свойство самоконтроля всех компьютерных структур (счетчиков, регистров, таймеров АЛУ и др.)
2. Свойство самосинхронизации двоичных сигналов при их последовательной передаче по каналам связи
3. Уменьшение числа единиц для хранения одного и того же диапазона чисел, которое вместе со свойством минимальной формы позволяют уменьшить рассеиваемую мощность в нанoeлектронной памяти.
4. КЗП (8) обладает исключительными преимуществами при реализации АЦП и ЦАП и позволяет создавать на его основе самоконтролирующиеся АЦП и ЦАП для сигнальных микропроцессоров и самокорректирующиеся АЦП и ЦАП для метрологических систем, нечувствительные к погрешностям изготовления аналоговых элементов АЦП и ЦАП, их старению и влияниям температуры («вечные» АЦП и ЦАП)

7. Патентование

В 1976 г. автор в течение двух месяцев стажировался в Венском техническом университете (Австрия). На заключительной стадии пребывания в Австрии автор выступил с обширным докладом «Алгоритмическая теория измерения и основания компьютерной арифметики» на объединенном заседании

Компьютерного и Кибернетического обществ Австрии. Доклад вызвал огромный интерес австрийских ученых. В связи с этим посол СССР в Австрии Ефремов написал письмо в Государственный комитет СССР по науке и технике письмо, которое содержало следующее предложение:

С учетом выраженного интереса у австрийских ученых к изобретению проф. Стахова А.П. по вопросу создания новой системы исчисления на основе "фибоначчиевых" чисел (создание само контролирующихся ЦВМ) считали бы целесообразным ускорить процесс оформления его заявок на изобретение, что позволит также сохранить приоритет советской науки и, возможно, получить экономический эффект.

Предложение Посла в Австрии было вынесено на государственный уровень и начиная с 1976 г., во всех ведущих странах-производителях компьютерной техники (США, Япония, Англия, Франция, Германия, Канада и др. страны) было начато широкое патентование изобретений по направлению «компьютеры Фибоначчи». Более 60 патентов [183-243] защищают приоритет советской науки в этом важном компьютерном направлении. Большинство из технических решений, защищаемых этими патентами, были признаны изобретениями пионерного характера.

Таким образом, уникальность этого патентования состояла в том, что, возможно впервые в истории науки удалось защитить целое научное направление в области компьютеров («компьютеры Фибоначчи»), то есть, в 80-е годы 20-го столетия советская наука получила реальный шанс стать лидером в области компьютерной техники.

8. Трудная судьба «компьютеров Фибоначчи»

В 1977 г. автор был избран на должность зав. кафедрой вычислительной техники Винницкого политехнического института, а в 1986 г. был назначен директором Специального конструкторско-технологического бюро «Модуль» при Винницком политехническом институте. Именно в этом институте были выполнены инженерные разработки, основанные на кодах Фибоначчи и «золотой пропорции», которые в тот период превышали по своим техническим параметрам мировой уровень. Разработки велись в интересах Министерства общего машиностроения, которое и финансировало проект «компьютеры Фибоначчи».

В июне 1989 г. по инициативе направление было обсуждено на специальном заседании Президиума Академии наук Украины. Инициатором этого обсуждения стал Президент АНУ **Борис Евгеньевич Патон**, который оказал огромную помощь в развитии этого направления.



Борис Евгеньевич Патон (род. 27 ноября 1918, Киев) — учёный в области металлургии и технологии металлов, профессор, доктор технических наук, Дважды Герой Социалистического Труда, первый в истории Герой Украины.

Президент Национальной академии наук Украины, академик Национальной Академии Наук Украины (с 1958 года), академик АН СССР — ныне РАН (с 1962 года), президент Международной ассоциации академий наук, почётный член Римского клуба.

В своем отзыве на это научное направление он написал:

Научные достижения ученых Украины широко известны во всем мире. Одним из ярких представителей украинской науки является профессор Винницкого государственного технического университета доктор технических наук Алексей Стахов. Его научные достижения в области чисел Фибоначчи, золотого сечения и их приложений, в частности, в теории гармонии систем, компьютерной и измерительной технике, могут стать основой для революционных преобразований современной науки, создания новых математических теорий естествознания, принципиально новых средств компьютерной и измерительной техники. Исследования, проведенные в руководимой профессором Стаховым Лаборатории отказоустойчивых систем Национальной академии наук Украины, показали, что на основе так называемых кодов Фибоначчи и золотой пропорции могут быть созданы конкурентно-способные средства измерительной и компьютерной техники, значительно превышающие по своим надежностным параметрам современный уровень, которые могут найти широкое применение в тех областях, где требования к их надежности являются определяющими (системы управления технологическими, энергетическими, транспортными и другими объектами).

К сожалению, «горбачевская перестройка» и последовавший за этим развал Советского Союза нанесли непоправимый удар по развитию этого направлению. Начиная с 1989 г., финансирование этих разработок резко сократилось, а затем и полностью прекратилось. Научный коллектив, созданный в СКТБ «Модуль» распался, а само КБ было расформировано.

9. Заключение

Для каждого научного открытия наступает «момент истины», когда оно становится востребованным. Когда в середине 70-х годов прошлого столетия автор создал новую компьютерную арифметику, основанную на числах Фибоначчи [16,17,19,21], и на этой основе выдвинул концепцию «компьютеров Фибоначчи», многим специалистам эта идея показалась слишком революционной для того, чтобы быть реализованной. Однако, успешное патентование советских изобретений в этой области за рубежом (США, Япония, Англия, Франция,

Германия, Канада и др. страны) показало, что западная наука ничего не может противопоставить концепции «компьютеров Фибоначчи», то есть, эта концепция является научным достижением советской науки. Результаты патентования (свыше 60 патентов в компьютерной области) заставили задуматься как академические круги (Академия наук Украины), так и промышленные круги (Министерство общего машиностроения СССР) над тем фактом, что в советской компьютерной науке возникло новое научное направление, которое может стать основой революционных преобразований в области компьютеров. Благодаря поддержке Академии наук Украины и Министерства общего машиностроения на развитие этого направления в 1986 г. были выделены значительные госбюджетные средства (15 млн. долларов) и в Специальном конструкторско-технологическом бюро «Модуль» Винницкого политехнического института начали выполняться инженерные проекты по созданию фибоначчиевых систем измерения, обработки, сбора и преобразования информации (1986-1989). Некоторые из этих разработок превышали мировой уровень по техническим параметрам и были даже включены в Государственный План социального и экономического развития СССР на 1986-1990 гг. К сожалению, «горбачевская перестройка», которая привела к развалу Советского Союза, привела к прекращению финансирования этих разработок и приостановлению инженерных работ в этой области.

Но это не означает, что концепция «компьютеров Фибоначчи» устарела. Наоборот, на современном этапе развития компьютерной технологии эта концепция стала еще более актуальной в новейшей области компьютерной техники – микропроцессорной технике.

Основываясь на своем 40-летнем опыте работы в этой области, полученных научных и инженерных результатах [1-243], автор берет на себя смелость утверждать следующее:

1. В течение многих десятилетий в микроэлектронике, компьютерных технологиях и цифровой метрологии доминировало «двоичное отношение» и «двоичная система». Это привело к беспрецедентным по своим масштабам темпам развития информационной технологии. К сожалению, двоичная система обладает **НУЛЕВОЙ ИЗБЫТОЧНОСТЬЮ**, и в ней отсутствуют механизмы для обнаружения и исправления ошибок, которые неизбежно (с большей или меньшей вероятностью) могут возникнуть в элементах электронных систем под влиянием различных внешних и внутренних факторов (радиация, электромагнитные воздействия, помехи в шинах питания и т.д.). Поэтому дальнейшее развитие микропроцессорной техники и компьютерной технологии на основе классической двоичной системы счисления следует признать **тупиковым направлением**. Двоичная система не может служить информационной и арифметической основой специализированных компьютерных и измерительных систем (космос, управление транспортом и сложными технологическими объектами), включая наноэлектронные системы, где проблемы надежности, помехоустойчивости, контролеспособности, стабильности, живучести систем выходят на передний план.

2. Настало время заменить «двоичное отношение» и двоичную систему на «золотое отношение», фибоначчьеву и «золотую» системы счисления. **Альтернативы для кодов Фибоначчи и «золотых» кодов среди существующих позиционных систем счисления и избыточных кодов при создании высоконадежных микропроцессоров и специализированных компьютерных и измерительных систем, включая нанoeлектронные системы, не существует!** Микропроцессоры Фибоначчи открывают новую эру в развитии микропроцессоров и, в перспективе, нанопроцессоров!
3. Фибоначчиевая и «золотая» арифметика, микропроцессоры Фибоначчи, «золотые» аналого-цифровые и цифроаналоговые преобразователи [19, 21, 23], «золотая» троичная зеркально-симметричная арифметика [40], новая теория корректирующих кодов, основанная на «матрицах Фибоначчи» [9, 43] и другие идеи и концепции, возникшие в рамках «математики гармонии» [11], могут стать началом «золотой» компьютерной технологии.
4. Использование "золотого сечения" в современных информационных технологиях означает возврат к Пифагору, Платону и Евклиду. Это означает использование «естественных законов природы» для улучшения информационных технологий.
5. Важно подчеркнуть, что это направление родилось в Советском Союзе (Таганрогский радиотехнический институт и Винницкий политехнический институт). Более 60 зарубежных патентов США, Японии, Великобритании, Франции, Германии, Канады и других стран в области "компьютеров Фибоначчи" являются свидетельством мирового приоритета советской науки (и автора настоящей статьи) в этой важной области информатики.

Литература

1. Стахов А.П. Исследование преобразователей «напряжение-код» с обратной связью, использующих в качестве сравнивающих устройств регенеративные компараторы. Канд. Диссертация. Харьковский институт радиоэлектроники, 1966.
2. Стахов А.П. Синтез оптимальных алгоритмов аналого-цифрового преобразования. Докторская диссертация. Киевский институт инженеров гражданской авиации, 1972.
3. Стахов А.П. Введение в алгоритмическую теорию измерения. Москва, Советское Радио, 1977 г.
4. Стахов А.П. Алгоритмическая теория измерения. Москва, Знание, серия «Математика и кибернетика», вып.6, 1979 г.
5. Стахов А.П. Коды золотой пропорции. Москва, Радио и связь, 1984 г.
6. Стахов А.П., Лихтциндер Б.Я., Орлович Ю.П., Сторожук Ю.А. Кодирование данных в информационно-регистрирующих системах. Киев, Техника, 1985 г.
7. Стахов А.П. (редактор). Помехоустойчивые коды: Компьютер Фибоначчи, Москва, Знание, серия «Радиоэлектроника и связь», вып.6, 1989 г.
8. Stakhov A.P. Computer Arithmetic based on Fibonacci Numbers and Golden Section: New Information and Arithmetic Computer Foundations». Toronto, SKILLSET-Training, 1997.
9. Stakhov A.P., Massingua V., Sluchenkova A.A. Introduction into Fibonacci Coding and Cryptography». Харьков, Изд-во «Основа» Харьковского университета, 1999 г.
10. Стахов А.П., Слученкова А.А., Щербаков И.Г. Код да Винчи и ряды Фибоначчи. Санкт-Петербург: Питер, 2006.

11. Stakhov A.P. The Mathematics of Harmony. From Euclid to Contemporary Mathematics and Computer Science. World Scientific, 2009.
12. Витенько И.В., Волков А.А., Стахов А.П. Оптимальные алгоритмы функционирования преобразователей «напряжение-код». В кн. Тезисы докладов V научно-технической конференции «Кибернетически пути совершенствования измерительной аппаратуры». ЛОП НТО, Приборпром, 1966.
13. Витенько И.В., Стахов А.П. Теория оптимальных алгоритмов аналого-цифрового преобразования. – В кн. Приборы и системы автоматизи, вып. 11. Харьков, Изд-во Харьковского университета, 1970.
14. Алипов Н.В., Витенько И.В., Стахов А.П. Корректирующие (n,k,S) -алгоритмы. – В кн. Приборы и системы автоматизи, вып. 11. Харьков, Изд-во Харьковского университета, 1970.
15. Стахов А.П. Что такое теория измерения? – В кн. Аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи, вып.1. Изд-во Таганрогского радиотехнического института, 1974.
16. Стахов А.П. Избыточные двоичные позиционные системы счисления. В кн. Однородные цифровые вычислительные и интегрирующие структуры, вып.2. Изд-во Таганрогского радиотехнического института, 1974 г.
17. Стахов А.П. «Фибоначчиева» двоичная арифметика и ее применение для контроля вычислительных систем. – В кн. Однородные вычислительные системы и среды. Материалы IV Всесоюзной конференции. Киев, «Наукова думка», 1975.
18. Стахов А.П. Взгляд на нумерационное кодирование с позиций алгоритмической теории измерения. Доклады IV Всесоюзной конференции по теории кодирования и передачи информации. Изд-во Томского института радиозлектроники и автоматизированных систем управления. Москва-Томск, 1975.
19. Стахов А.П. Использование естественной избыточности «фибоначчиевых» систем счисления для контроля вычислительных систем. Автоматика и вычислительная техника, №6, 1975 г.
20. Стахов А.П. Принцип асимметрии логики измерения. Проблемы передачи информации, №3, 1976 г.
21. Стахов А.П. «Фибоначчиевые» двоичные позиционные системы счисления. В сб. Кодирование и передача дискретных сообщений в системах связи. Москва, Наука, 1976 г.
22. Стахов А.П. Методологические аспекты введения кодовой избыточности в цифровые вычислительные машины. Автоматика и вычислительная техника, №15, 1976 г.
23. Стахов А.П. Цифровая метрология в кодах Фибоначчи и кодах золотой пропорции. В сб. Современные проблемы метрологии. Москва, Изд-во Всесоюзного заочного машиностроительного института, 1978 г.
24. Стахов А.П. «Золотая» пропорция в цифровой технике. Автоматика и вычислительная техника, №1, 1980 г.
25. Стахов А.П., Лужецкий В.А. Машинная арифметика ЦВМ в кодах Фибоначчи и «золотой» пропорции. Москва, Изд-во АН СССР, Научный совет по комплексной проблеме «Кибернетика», 1981 г.
26. Стахов А.П. Перспективы применения систем счисления с иррациональными основаниями в технике аналого-цифрового и цифроаналогового преобразования. Журнал «Измерения, Контроль, Автоматизация», №6, 1981 г.
27. Стахов А.П. Коды золотой пропорции или системы счисления для ЭВМ будущего? Журнал «Техника — молодежи», №7, 1985 г.
28. Стахов А.П. Алгоритмическая теория измерения и основания компьютерной арифметики. Журнал «Измерения, Контроль, Автоматизация», №2, 1988 г.
29. Стахов О.П. За принципом золотой пропорції: перспективний шлях розвитку обчислювальної техніки. Вісник Академії наук Української РСР, №1-2, 1990 г.
30. Стахов О.П. Вимірювання — фундаментальна проблема науки. Вісник Академії наук Української РСР, №6, 1991 г.
31. Стахов О.П. Золотий переріз і наука про гармонію систем. Вісник Академії наук Української РСР», №12, 1991 г.

32. Стахов А.П. Алгоритмическая теория измерения: новый взгляд на теорию позиционных систем счисления и компьютерную арифметику. Международный научный журнал «Управляющие системы и машины», №4-5, 1994.
33. Стахов А.П. Обобщенные золотые сечения и новый подход к геометрическому определению числа. Украинский математический журнал, том. 56, 2004 г.
34. Стахов А.П. Кодирование данных, основанное на фибоначиевых матрицах. Труды Международной конференции «Проблемы Гармонии, Симметрии и Золотого Сечения в Природе, Науке и Искусстве», Винница, 2003 г.
35. Стахов А.П. Математика Гармонии как новое междисциплинарное направление современной науки и ее приложения. Известия Международной Академии наук высшей школы. №2 (36), 2006. – с. 52-64.
36. Стахов А.П. Три «ключевые» проблемы математики на этапе ее зарождения и «Математика Гармонии» как альтернативное направление в развитии математической науки. Totallogy-XXI. Постнекласичні дослідження. №17/18. – Київ: ЦГО НАН України. – 2007. с. 274-323.
37. Стахов А.П. Коды и компьютеры Фибоначчи, матрицы Фибоначчи и новая теория кодирования. Труды Института прогрессивных исследований, вып. 4, Израиль, Арад, 2004 г.
38. Stakhov A.P. The Golden Section in the measurement theory. An International Journal «Computers & Mathematics with Applications», Volume 17, No 4-6, 1989.
39. Stakhov A.P. The Golden Section and Modern Harmony Mathematics. Applications of Fibonacci Numbers, Volume 7, 1998.
40. Stakhov A.P. Brousentsov's ternary principle, Bergman's number system and ternary mirror-symmetrical arithmetic. The Computer Journal 2002, Vol. 45, No. 2: 222-236.
41. Stakhov A. The Generalized Principle of the Golden Section and its applications in mathematics, science, and engineering. Chaos, Solitons & Fractals 2005, **26 (2)**: 263-289.
42. Stakhov A. Fundamentals of a new kind of Mathematics based on the Golden Section. Chaos, Solitons & Fractals 2005, **27 (5)**: 1124-1146.
43. Stakhov A. Fibonacci matrices, a generalization of the "Cassini formula", and a new coding theory. Chaos, Solitons & Fractals, 2006, Volume 30, Issue 1, 56-66.
44. Stakhov A. The "golden" matrices and a new kind of cryptography. Chaos, Solitons & Fractals 2007, Volume 32, Issue 3, 1138-1146.
45. Stakhov A. Three "key" problems of mathematics on the stage of its origin and the "Harmony Mathematics" as alternative way of mathematics development. Mathematics & Design. Fifth International Mathematics & Design Conference – V M&D. – 88-102.
46. Stakhov A. and Sluchenkova A. Design of new coding theory and cryptography based on the Fibonacci and "golden" matrices. Mathematics & Design. Fifth International Mathematics & Design Conference – V M&D. – 154-165.
47. Стахов А.П. Компьютер Фибоначчи. Москва, PC Week, 2002, № 34 (352) (www.pcweek.ru/Year2002/N34/CP1251/Strategy/chapt2.htm)
48. Стахов А.П. Компьютеры Фибоначчи и новая теория кодирования: история, теория, перспективы. Электронный журнал Таганрогского радиотехнического университета «Перспективные информационные технологии и интеллектуальные системы», № 2 (18), 2004 (<http://pitis.tsure.ru/files18/p5.pdf>)
49. Стахов А.П. Троичный принцип Брусенцова, система счисления Бергмана и «золотая» троичная зеркально-симметричная арифметика // «Академия Тринитаризма», М., Эл № 77-6567, публ.12355, 15.08.2005 (www.trinitas.ru/rus/doc/0232/003a/02320001.htm)
50. Стахов А.П. Еще раз о математической истории Золотого Сечения // «Академия Тринитаризма», М., Эл № 77-6567, публ.13714, 25.08.2006 (www.trinitas.ru/rus/doc/0232/009a/02321029.htm)
51. А.П. Стахов, Тьюринг, филлотаксис, математика гармонии и «золотая» информационная технология. Часть 1. Математика Гармонии // «Академия Тринитаризма», М., Эл № 77-6567, публ.14876, 16.09.2008 <http://www.trinitas.ru/rus/doc/0232/004a/02321089.htm>
52. А.П. Стахов, Тьюринг, филлотаксис, математика гармонии и «золотая» информационная технология. Часть 2. «Золотая» Информационная Технология // «Академия Тринитаризма», М., Эл № 77-6567, публ.14878, 19.09.2008 <http://www.trinitas.ru/rus/doc/0232/004a/02321090.htm>

53. А.П. Стахов, Десять прорывных технологий 21-го века и «золотая» информационная технология // «Академия Тринитаризма», М., Эл № 77-6567, публ.15251, 24.04.2009 <http://www.trinitas.ru/rus/doc/0232/012a/02322041.htm>
54. А.П. Стахов, Роль систем счисления с иррациональными основаниями (кодов золотой пропорции) в развитии теории систем счисления, теории компьютеров и «современной теории чисел Фибоначчи» (к обоснованию «Математики Гармонии») // «Академия Тринитаризма», М., Эл № 77-6567, публ.15341, 14.06.2009 <http://www.trinitas.ru/rus/doc/0232/009a/02321117.htm>
55. А.П. Стахов, «Золотая» арифметика как основа информационных технологий 21-го века и важный прикладной результат «современной теории чисел Фибоначчи» (к обоснованию «Математики Гармонии») // «Академия Тринитаризма», М., Эл № 77-6567, публ.15352, 19.06.2009 <http://www.trinitas.ru/rus/doc/0232/009a/02321122.htm>
56. Параллельный сумматор. Авторское свидетельство № 559237, Бюллетень изобретений №19, 1977 г. (соавторы Лужецкий В.А., Оводенко А.В.)
57. Комбинационный сумматор. Авторское свидетельство № 570896, Бюллетень изобретений №32, 1977 г. (соавторы Лужецкий В.А., Оводенко А.В.)
58. Двоичный счетчик с последовательным переносом. Авторское свидетельство № 577682, Бюллетень изобретений №39, 1977 г. (соавторы Вишняков Ю.М., Фомичев А.В., Соляниченко Н.А.)
59. Накапливающий сумматор. Авторское свидетельство № 577528, Бюллетень изобретений №39, 1977 г. (соавторы Лужецкий В.А., Оводенко А.В.)
60. Генератор последовательности обобщенных чисел Фибоначчи с произвольными начальными условиями. Авторское свидетельство № 662926, Бюллетень изобретений №18, 1979 г. (соавтор Лужецкий В.А.)
61. Устройство для приведения p -кодов Фибоначчи к минимальной форме. Авторское свидетельство № 662930, Бюллетень изобретений №18, 1979 г. (соавтор Фомичев А.В.)
62. Преобразователь прямого кода в обратный. Авторское свидетельство № 662931, Бюллетень изобретений № 18, 1979 г. (соавтор Соляниченко Н.А.)
63. Преобразователь p -кода Фибоначчи в двоичный код. Авторское свидетельство № 662932, Бюллетень изобретений № 18, 1979 г. (соавтор Соляниченко Н.А.)
64. Преобразователь кодов. Авторское свидетельство № 662933, Бюллетень изобретений №18, 1979 г. (соавтор Соляниченко Н.А.)
65. Устройство для сравнения p -кодов Фибоначчи. Авторское свидетельство № 662934, Бюллетень изобретений № 18, 1979 г. (соавтор Соляниченко Н.А.)
66. Устройство для умножения целых чисел. Авторское свидетельство № 662941, Бюллетень изобретений № 18, 1979 г. (соавтор Лужецкий В.А.)
67. Последовательный сумматор. Авторское свидетельство № 696452, Бюллетень изобретений № 41, 1979 г. (соавторы Оводенко А.В., Лужецкий В.А.)
68. Сумматор кодов Фибоначчи. Авторское свидетельство № 732864, Бюллетень изобретений № 17, 1980 г.
69. Устройство для отображения информации на экране электронно-лучевой трубки. Авторское свидетельство № 734757, Бюллетень изобретений № 18, 1980 г.
70. Устройство для деления. Авторское свидетельство № 744564, Бюллетень изобретений № 24, 1980 г. (соавтор Лужецкий В.А.)
71. Аналого-цифровой преобразователь. Авторское свидетельство № 750721, Бюллетень изобретений № 27, 1980 г. (соавторы Азаров А.Д., Бородянский М.Е., Лужецкий В.А.)
72. Генератор случайных кодов. Авторское свидетельство № 752307, Бюллетень изобретений № 28, 1980 г. (соавторы Лихтциндер Б.Я., Орлович Ю.П., Сторожук Ю.А.)
73. Аналого-цифровой преобразователь. Авторское свидетельство № 758510, Бюллетень изобретений № 31, 1980 г. (соавторы Азаров А.Д., Лужецкий В.А.)
74. Устройство для приведения p -кодов Фибоначчи к минимальной форме. Авторское свидетельство № 779997, Бюллетень изобретений № 42, 1980 г. (соавторы Лужецкий В.А., Азаров А.Д., Ужвак Ю.И.)
75. Аналого-цифровой преобразователь. Авторское свидетельство № 783979, Бюллетень изобретений № 44, 1980 г. (соавторы Азаров А.Д., Моисеев В.И.)

76. Аналого-цифровой преобразователь. Авторское свидетельство № 790285, Бюллетень изобретений № 47, 1980 г. (соавторы Азаров А.Д., Моисеев В.И.)
77. Генератор случайных кодов. Авторское свидетельство № 809131, Бюллетень изобретений № 8, 1981 г. (соавторы Лихтциндер Б.Я., Орович Ю.П., Сторожук Б.Я.)
78. Цифро-аналоговый преобразователь. Авторское свидетельство № 809540, Бюллетень изобретений № 8, 1981 г.
79. Цифро-аналоговый преобразователь. Авторское свидетельство № 809541, Бюллетень изобретений № 8, 1981 г.
80. Аналого-цифровой преобразователь. Авторское свидетельство № 809542, Бюллетень изобретений № 8, 1981 г.
81. Преобразователь аналоговых величин в код Фибоначчи. Авторское свидетельство № 809552, Бюллетень изобретений № 8, 1981 г. (соавторы Боромянский М.Е., Онопо В.Л.)
82. Устройство для контроля p -кодов Фибоначчи. Авторское свидетельство № 817718, Бюллетень изобретений № 12, 1981 г. (соавторы Соляниченко Н.А., Черняк А.И., Замчевский В.В., Сачанюк В.И.)
83. Устройство для приведения p -кодов Фибоначчи к минимальной форме. Авторское свидетельство № 840880, Бюллетень изобретений № 23, 1981 г. (соавторы Козак А.А., Соляниченко Н.А.)
84. Параллельный сумматор кодов Фибоначчи. Авторское свидетельство № 840891, Бюллетень изобретений № 23, 1981 г. (соавторы Соляниченко Н.А., Лужецкий В.А., Оводенко А.В., Козак А.А.)
85. Устройство для приведения p -кодов Фибоначчи к минимальной форме. Авторское свидетельство № 842782, Бюллетень изобретений № 24, 1981 г. (соавторы Соляниченко Н.А., Черняк А.И., Замчевский В.В.)
86. Устройство для приведения p -кодов Фибоначчи к минимальной форме. Авторское свидетельство № 842786, Бюллетень изобретений № 24, 1981 г.
87. Цифро-аналоговый преобразователь. Авторское свидетельство № 864548, Бюллетень изобретений № 34, 1981 г. (соавторы Азаров А.Д., Моисеев В.И., Петросюк Ю.А.)
88. Аналого-цифровой преобразователь. Авторское свидетельство № 911720, Бюллетень изобретений № 9, 1982 г. (соавторы Азаров А.Д., Петросюк Ю.А., Волков В.П.)
89. Аналого-цифровой преобразователь. Авторское свидетельство № 928632, (соавторы Азаров А.Д., Петросюк Ю.А., Волков В.П.), БИ, 1982 г.
90. Цифро-аналоговый преобразователь. Авторское свидетельство № 947955, (соавторы Азаров А.Д., Моисеев В.И., Ужвак Ю.Н., Верховой В.П.), БИ, 1982 г.
91. Устройство магнитной записи для коррекции цифровой информации. Авторское свидетельство № 949717 (соавторы Лихтциндер Б.Я., Сторожук Ю.А., Гайдаш А.В., Орлович Ю.П.), БИ, 1982 г.
92. Цифро-аналоговый преобразователь. Авторское свидетельство № 953721 (соавторы Сушко А.Ф., Акимов А.А., Петросюк Ю.А., Ефименко В.Н.), БИ, 1982 г.
93. Сервопривод с цифровым управлением. Авторское свидетельство № 962952 (соавтор Северилов В.А.), БИ, 1982 г.
94. Цифроаналоговый преобразователь. Авторское свидетельство № 1005298 (соавторы Петросюк Ю.А., Черняк А.И., Конючевский О.В., Сухарев А.А.), БИ, 1982 г.
95. Аналого-цифровой преобразователь. Авторское свидетельство № 1005300 (соавторы Рвачев М.А., Волков В.П., Черняк А.И., Петросюк Ю.А.), БИ, 1982 г.
96. Устройство контроля цифроаналоговых преобразователей. Авторское свидетельство № 1008902 (соавторы Петросюк Ю.А., Конючевский О.В., Хуторянец А.Е.), БИ, 1982 г.
97. Устройство для приведения p -кодов Фибоначчи к минимальной форме. Авторское свидетельство № 1019434 (соавторы Гаврилюк Г.И., Соляниченко Н.А., Замчевский В.В.), БИ, 1983 г.
98. Аналого-цифровой преобразователь. Авторское свидетельство № 1027815 (соавторы Моисеев В.И., Азаров А.Д., Стейскал В.Я.), БИ, 1983 г.
99. Аналого-цифровой преобразователь. Авторское свидетельство № 1046926 (соавторы Азаров А.Д., Моисеев В.И., Волков В.П., Ужвак Ю.Н.), БИ, 1983 г.
100. Цифроаналоговый преобразователь. Авторское свидетельство № 1051701 (соавторы Петросюк Ю.А., Конючевский О.В., Сухарев А.А., Хуторянец А.Е.), БИ, 1983 г.

101. Разрядный элемент для преобразования кода в напряжение каскадной структуры. Авторское свидетельство № 1056448 (соавторы Петросюк Ю.А., Сухарев А.А.), БИ, 1983 г.
102. Сумматор кодов с иррациональными основаниями. Авторское свидетельство № 1083182 (соавторы Лужецкий В.А., Стахов Д.А.), БИ, 1983 г.
103. Устройство для приведения p -колов Фибоначчи к минимальной форме. Авторское свидетельство № 1092489 (соавторы Соляниченко Н.А., Замчевский В.В., Оникиенко А.И.), БИ, 1984 г.
104. Дифференциальный аналого-цифровой преобразователь. Авторское свидетельство № 1138949 (соавторы Марценюк В.П., Азаров А.Д.), БИ, 1984 г.
105. Устройство для развертки p -кодов Фибоначчи. Авторское свидетельство № 1141396 (соавторы Лужецкий В.А., Черняк А.И., Соболева И.С.), БИ, 1984 г.
106. Преобразователь прямого кода Фибоначчи в обратный. Авторское свидетельство № 1164891 (соавторы Соляниченко Н.А., Сержанов В.В., Данишин А.В.), БИ, 1985 г.
107. Счетчик импульсов в p -кодах Фибоначчи. Авторское свидетельство № 1172006 (соавторы Лужецкий В.А., Черняк А.И., Андреев А.Е.), БИ, 1985 г.
108. Аналого-цифровой преобразователь. Авторское свидетельство № 1179533 (соавторы Азаров А.Д., Моисеев В.И., Стейскал В.Я.), БИ, 1985 г.
109. Аналого-цифровой преобразователь. Авторское свидетельство № 1177078 (соавторы Азаров А.Д., Стейскал В.Я., Васильева Т.Н.), БИ, 1985 г.
110. Аналого-цифровой преобразователь. Авторское свидетельство № 1197079 (соавторы Азаров А.Д., Волков В.П., Стейскал В.Я.), БИ, 1985 г.
111. Цифроаналоговый преобразователь. Авторское свидетельство № 1200422 (соавторы Азаров А.Д., Стейскал В.Я., Лысюк В.В.), БИ, 1985 г.
112. Аналого-цифровой преобразователь. Авторское свидетельство № 1221750 (соавторы Азаров А.Д., Моисеев В.И., Стейскал В.Я., Васильева Т.Н.), БИ, 1985 г.
113. Цифроаналоговый преобразователь. Авторское свидетельство № 1216829 (соавторы Азаров А.Д., Моисеев В.И., Стейскал В.Я., Масленникова Н.А., Оганесян Р.С.), БИ, 1985 г.
114. Устройство цифроаналогового преобразования. Авторское свидетельство № 1221754 (соавторы Азаров А.Д., Моисеев В.И., Стейскал В.Я., Степанова И.П.), БИ, 1985 г.
115. Устройство цифроаналогового преобразования. Авторское свидетельство № 1221755 (соавторы Азаров А.Д., Моисеев В.И., Стейскал В.Я., Васильева Т.Н.), БИ, 1985 г.
116. Аналого-цифровой преобразователь. Авторское свидетельство № 1223368 (соавторы Азаров А.Д., Стейскал В.Я., Лысюк В.В., Алексанян Р.Г.), БИ, 1985 г.
117. Аналого-цифровой преобразователь. Авторское свидетельство № 1226664 (соавторы Азаров А.Д., Стейскал В.Я., Нечипоренко Л.М.), БИ, 1985 г.
118. Аналого-цифровой преобразователь. Авторское свидетельство № 1231609 (соавторы Азаров А.Д., Стейскал В.Я., Конючевский О.В.), БИ, 1986 г.
119. Преобразователь код-ток. Авторское свидетельство № 1246378 (соавторы Азаров А.Д., Стейскал В.Я.), БИ, 1986 г.
120. Устройство для цифроаналогового преобразования. Авторское свидетельство № 1248072 (соавторы Азаров А.Д., Моисеев В.И., Стейскал В.Я.), БИ, 1986 г.
121. Аналого-цифровой преобразователь. Авторское свидетельство № 1251326 (соавторы Соляниченко Н.А., Сержанов В.В., Замчевский В.В., Золотарев С.И.), БИ, 1986 г.
122. Устройство для умножения. Авторское свидетельство № 1254469 (соавторы Лужецкий В.А., Черняк А.И., Андреев А.Е.), БИ, 1986 г.
123. Устройство цифроаналогового преобразования. Авторское свидетельство № 1257847 (соавторы Азаров А.Д., Марценюк В.П., Стейскал В.Я., Масленникова Н.А.), БИ, 1986 г.
124. Устройство цифроаналогового преобразования. Авторское свидетельство № 1257848 (соавторы Азаров А.Д., Моисеев В.И., Стейскал В.Я., Степанова И.П.), БИ, 1986 г.
125. Последовательное устройство для умножения. Авторское свидетельство № 1262482 (соавторы Лужецкий В.А., Черняк А.И., Малиночка В.П.), БИ, 1986 г.
126. Аналого-цифровой преобразователь. Авторское свидетельство № 1279064 (соавторы Азаров А.Д., Стейскал В.Я., Конючевский О.В.), БИ, 1986 г.
127. Аналого-цифровой преобразователь. Авторское свидетельство № 1288913 (соавторы Азаров А.Д., Марценюк В.П., Стейскал В.Я., Майстришин В.Я.), БИ, 1986 г.

128. Устройство аналого-цифрового преобразования. Авторское свидетельство № 1288914 (соавторы Азаров А.Д., Моисеев В.И., Стейскал В.Я., Козырь Л.В.), БИ, 1986 г.
129. Аналого-цифровой преобразователь. Авторское свидетельство № 1297224 (соавторы Соляниченко Н.А., Замчевский В.В., Фролов Г.Ф., Золотарев С.И.), БИ, 1986 г.
130. Устройство для приведения n -разрядных кодов Фибоначчи к минимальной форме. Авторское свидетельство № 1300649 (соавторы Соляниченко Н.А., Замчевский В.В., Щекотихин О.В., Тишаев А.С.), БИ, 1986 г.
131. Регистр сдвига. Авторское свидетельство № 1302320 (соавторы Лужецкий В.А., Черняк А.И., Андреев А.Е.), БИ, 1986 г.
132. Способ аналого-цифрового преобразования. Авторское свидетельство № 1304172 (соавторы Азаров А.Д., Стейскал В.Я., Моисеев В.И., Марценюк В.П.), БИ, 1986 г.
133. Цифроаналоговый преобразователь. Авторское свидетельство № 1319280 (соавторы Азаров А.Д., Стейскал В.Я., Моисеев В.И., Степанова И.П., Васильева Т.Н.), БИ, 1987 г.
134. Устройство аналого-цифрового преобразования. Авторское свидетельство № 1330758 (соавторы Марценюк В.П., Моисеев В.И., Коваль О.В.), БИ, 1987 г.
135. Устройство для деления кодов "золотой пропорции". Авторское свидетельство № 1361544 (соавторы Лужецкий В.А., Черняк А.И., Малиночка В.П.), БИ, 1987 г.
136. Счетчик импульсов в p -кодах Фибоначчи. Авторское свидетельство № 1379940 (соавторы Лужецкий В.А., Черняк А.И., Андреев А.Е.), БИ, 1987 г.
137. Конвейерный аналого-цифровой преобразователь. Авторское свидетельство № 1381706 (соавторы Арапов С.М., Азаров А.Д., Волков В.П., Арапова Е.М.), БИ, 1987 г.
138. Устройство для приведения кодов Фибоначчи к минимальной форме. Авторское свидетельство № 1392554 (соавторы Соляниченко Н.А., Сержанов В.В., Сачанок В.И.), БИ, 1988 г.
139. Последовательный сумматор. Авторское свидетельство № 1411734 (соавторы Квитка Н.А., Лужецкий В.А., Гаврилюк Г.И.), БИ, 1988 г.
140. Сумматор кодов Фибоначчи. Авторское свидетельство № 1411735 (соавторы Лужецкий В.А., Черняк А.И., Соболева И.С.), БИ, 1988 г.
141. Анализатор спектра в ортогональном базисе. Авторское свидетельство № 1416982 (соавторы Лужецкий В.А., Козлюк П.В., Ваховский В.Г.), БИ, 1988 г.
142. Устройство для развертки кодов Фибоначчи. Авторское свидетельство № 1417194 (соавторы Соляниченко Н.А., Замчевский В.В., Гуменюк Я.А.), БИ, 1988 г.
143. Устройство для преобразования формы кода Фибоначчи. Авторское свидетельство № 1418910 (соавторы Лужецкий В.А., Стахов Д.А., Ваховский В.Г.), БИ, 1988 г.
144. Преобразователь двоичного кода. Авторское свидетельство № 1427573 (соавторы Лужецкий В.А., Ваховский В.Г., Стахов Д.А.), БИ, 1988 г.
145. Преобразователь кода Фибоначчи в двоичный код. Авторское свидетельство № 1432789 (соавторы Соляниченко Н.А., Замчевский В.В., Тарасова О.Н., Звенигородская Т.И.), БИ, 1988 г.
146. Преобразователь кодов. Авторское свидетельство № 1438008 (соавторы Соляниченко Н.А., Замчевский В.В., Сержанов В.В., Золотарев С.И.), БИ, 1988 г.
147. Устройство для контроля 3-кода Фибоначчи. Авторское свидетельство № 1439596 (соавторы Лужецкий В.А., Козлюк П.В.), БИ, 1988 г.
148. Последовательный сумматор кодов с иррациональными основаниями. Авторское свидетельство № 1439577 (соавторы Козак А.А., Лужецкий В.А., Черняк А.И., Малиночка В.П., Андреев А.Е.), БИ, 1988 г.
149. Преобразователь двоичного кода в код Фибоначчи. Авторское свидетельство № 1439751 (соавторы Лужецкий В.А., Ваховский В.Г., Козлюк П.В., Попович И.М.), БИ, 1988 г.
150. Устройство для умножения. Авторское свидетельство № 1444751 (соавторы Козак А.А., Лужецкий В.А., Черняк А.И., Малиночка В.П., Андреев А.Е.), БИ, 1988 г.
151. Последовательное устройство для умножения. Авторское свидетельство № 1444754 (соавторы Лужецкий В.А., Черняк А.И., Малиночка В.П., Андреев А.Е.), БИ, 1988 г.
152. Преобразователь кодов. Авторское свидетельство № 1450112 (соавторы Соляниченко Н.А., Замчевский В.В., Тарасова О.Н., Марцев Н.П.), БИ, 1988 г.
153. Устройство для кодирования по векторному методу. Авторское свидетельство № 1444754 (соавторы Черняк А.И., Марценюк В.П., Пилипчак В.И., Пленсак О.А.), БИ, 1988 г.

154. Преобразователь кодов. Авторское свидетельство № 14624486 (соавторы Соляниченко Н.А., Сержанов В.В., Вартапетян Э.А.), БИ, 1988 г.
155. Устройство для контроля 3-кода Фибоначчи. Авторское свидетельство № 1478217 (соавторы Лужецкий В.А., Козлюк П.В., Ваховский В.Г.), БИ, 1989 г.
156. Устройство для контроля p -кодов Фибоначчи. Авторское свидетельство № 1478340 (соавторы Лужецкий В.А., Козлюк П.В., Ваховский В.Г.), БИ, 1989 г.
157. Счетчик импульсов в p -кодах Фибоначчи. Авторское свидетельство № 1480121 (соавторы Лужецкий В.А., Черняк А.И., Андреев А.Е., Малиночка В.П.), БИ, 1989 г.
158. Устройство для деления в 2-коде золотой пропорции. Авторское свидетельство № 1485231 (соавторы Лужецкий В.А., Черняк А.И., Малиночка В.П., Андреев А.Е.), БИ, 1989 г.
159. Устройство для деления. Авторское свидетельство № 1485232 (соавторы Лужецкий В.А., Козлюк П.В., Кузовова И.С.), БИ, 1989 г.
160. Сумматор последовательного действия. Авторское свидетельство № 1488789 (соавторы Квитка Н.А., Лужецкий В.А., Заболотная Н.И.), БИ, 1989 г.
161. Арифметико-логическое устройство. Авторское свидетельство № 1495789 (соавторы Квитка Н.А., Лужецкий В.А., Глебова М.В.), БИ, 1989 г.
162. Устройство для контроля 3-кода Фибоначчи. Авторское свидетельство № 1478217 (соавторы Лужецкий В.А., Козлюк П.В., Ваховский В.Г.), БИ, 1989 г.
163. Аналого-цифровой преобразователь. Авторское свидетельство № 1495993 (соавторы Азаров А.Д., Моисеев В.И., Марценюк В.П., Стейскал В.Я., Лысюк В.В., Васильева Т.Н., Рафалюк А.Е., Крупельницкий Л.В., Майстришин В.В.), БИ, 1989 г.
164. Преобразователь напряжение-код. Авторское свидетельство № 1508343 (соавторы Квитка Н.А., Лужецкий В.А., Короновский А.И., Петросюк Ю.А.), БИ, 1989 г.
165. Устройство для контроля p -кода Фибоначчи. Авторское свидетельство № 1510100 (соавторы Лужецкий В.А., Козлюк П.В.), БИ, 1989 г.
166. Аналого-цифровой преобразователь. Авторское свидетельство № 1513619 (соавторы Азаров А.Д., Моисеев В.И., Марценюк В.П., Стейскал В.Я., Орлович Ю.П., Лысюк В.В., Васильева Т.Н., Рафалюк А.Е.), БИ, 1989 г.
167. Преобразователь кодов. Авторское свидетельство № 1529458 (соавторы Лужецкий В.А., Квитка Н.А., Тютюнников И.Е.), БИ, 1989 г.
168. Микропрограммное устройство управления. Авторское свидетельство № 1536379 (соавторы Лужецкий В.А., Сухарев А.А., Хуторянец А.Е.), БИ, 1989 г.
169. Цифроаналоговый преобразователь. Авторское свидетельство № 1538254 (соавторы Азаров А.Д., Стейскал В.Я., Волков В.П., Плакидюк Н.В.), БИ, 1989 г.
170. Устройство для контроля p -кодов Фибоначчи. Авторское свидетельство № 1545330 (соавторы Лужецкий В.А., Козлюк П.В., Сегнет Т.И.), БИ, 1989 г.
171. Параллельный сумматор кодов Фибоначчи. Авторское свидетельство № 1546966 (соавторы Лужецкий В.А., Шебуков В.А., Ваховский В.Г., Коротин В.В., Попович И.М.), БИ, 1989 г.
172. Устройство для суммирования Фибоначчи-десятичных кодов. Авторское свидетельство № 1546968 (соавторы Лужецкий В.А., Козлюк П.В., Горлачева Е.А.), БИ, 1989 г.
173. Последовательный сумматор. Авторское свидетельство № 1546970 (соавторы Лужецкий В.А., Черняк А.И., Малиночка В.П., Андреев А.Е., Кондратенко В.В.), БИ, 1989 г.
174. Аналого-цифровой преобразователь. Авторское свидетельство № 1547062 (соавторы Квитка Н.А., Лужецкий В.А., Квитка С.Н., Петросюк Ю.А.), БИ, 1989 г.
175. Аналого-цифровой преобразователь. Авторское свидетельство № 1550620 (соавторы Моисеев В.И., Стейскал В.Я., Власюк И.П.), БИ, 1989 г.
176. Устройство для деления. Авторское свидетельство № 1552174 (соавторы Лужецкий В.А., Коротин В.В., Попович И.М.), БИ, 1989 г.
177. Устройство для деления. Авторское свидетельство № 1552175 (соавторы Лужецкий В.А., Черняк А.И., Малиночка В.П., Андреев А.Е.), БИ, 1989 г.
178. Устройство для регулирования тока. Авторское свидетельство № 1552311 (соавтор Погорелов В.Я.), БИ, 1989 г.
179. Преобразователь кода. Авторское свидетельство № 1557685 (соавторы Соляниченко Н.А., Замчевский В.В., Тарасова О.Н., Золотарев С.И.), БИ, 1989 г.
180. Устройство для цифровой магнитной записи. Авторское свидетельство № 1569878 (соавторы Марценюк В.П., Пилипчак В.И., Пленсак О.А., Степаненко А.В.), БИ, 1990 г.

181. Аналого-цифровой преобразователь. Авторское свидетельство № 1571761 (соавторы Моисеев В.И., Стейскал В.Я., Крупельницкий Л.В.), БИ, 1990 г.
182. Преобразователь кодов. Авторское свидетельство № 1578813 (соавторы Соляниченко Н.А., Замчевский В.В., Гуменюк Я.А.), БИ, 1990 г.
183. Converter of analogous values to p -Fibonacci code. Patent certificate of the USA No 4161725.
184. Reduction method of p -Fibonacci code to the minimal form and device for its realization. Patent certificate of USA No 4187500.
185. Adder of Fibonacci codes. Patent certificate of USA No 4159529.
186. Device for display information representation. Patent certificate of USA No 4148074.
187. Digit-to-analog converter. Patent certificate of USA No 4290050.
188. Device for reduction of p -Fibonacci codes to the minimal form. Patent certificate of USA No 4290051.
189. Parallel adder of the p -Fibonacci codes. Patent certificate of USA No 4276608.
190. Converter of analogous values to p -Fibonacci code. Patent certificate of England No 1566978.
191. Reduction method of p -Fibonacci code to the minimal form and device for its realization. Patent certificate of England No 1543302.
192. Adder of Fibonacci codes. Patent certificate of England No 1565460.
193. Device for display information representation. Patent certificate of England No 1577184.
194. Device for obtaining of the "Golden" binary code. Patent certificate of England No 2048593.
195. Digit-to-analog converter. Patent certificate of England No 2033631.
196. Analog-to-digital converter realizing the comparison-subtraction method. Patent certificate of England No 2038122.
197. Device for reduction of p -Fibonacci codes to the minimal form. Patent certificate of England No 2050011.
198. Parallel adder of the p -Fibonacci codes. Patent certificate of England No 2025095.
199. Digit-to-analog converter for the p -Fibonacci codes. Patent certificate of England No 2090490.
200. Analog-to-digital converter. Patent certificate of England No 2091507.
201. Converter of analogous values to p -Fibonacci code. Patent certificate of Germany No 2413823.
202. Reduction method of p -Fibonacci code to the minimal form and device for its realization. Patent certificate of Germany No 2732008.
203. Device for display information representation. Patent certificate of Germany No 2756806.
204. Digit-to-analog converter. Patent certificate of Germany No 2848911.
205. Digit-to-analog converter. Patent certificate of Germany No 2842672.
206. Device for reduction of p -Fibonacci codes to the minimal form. Patent certificate of Germany No 2921053.
207. Analog-to-digital converter. Patent certificate of Germany No 3050456.
208. Reduction method of p -Fibonacci code to the minimal form and device for its realization. Patent certificate of Japan No 1118407.
209. Adder of Fibonacci codes. Patent certificate of Japan No 1112711.
210. Device for display information representation. Patent certificate of Japan No 1098040.
211. Parallel adder of the p -Fibonacci codes. Patent certificate of Japan No 1147296.
212. Converter of analogous values to p -Fibonacci code. Patent certificate of France No 7739466.
213. Reduction method of p -Fibonacci code to the minimal form and device for its realization. Patent certificates of France No 7722036, No 2359460.
214. Adder of Fibonacci codes. Patent certificate of France No 2375655.
215. Device for display information representation. Patent certificates of France No 7737360, No 2375669.
216. Device for obtaining of the "Golden" binary code. Patent certificates of France No 2457601, No 7913131.
217. Digit-to-analog converter. Patent certificates of France No 7833461, No 2441295.
218. Digit-to-analog converter. Patent certificates of France No 7831692, No 2441295.
219. Analog-to-digital converter realizing the comparison-subtraction method. Patent certificates of France No 7900329, No 2446035.
220. Device for reduction of p -Fibonacci codes to the minimal form. Patent certificates of France No 7917216, No 2460367.
221. Parallel adder of the p -Fibonacci codes. Patent certificate of France No 425753.

222. Digit-to-analog converter for the p -Fibonacci codes. Patent certificates of France No 8100570, No 2498031.
223. Analog-to-digital converter. Patent certificate of France No 8104127.
224. Converter of analogous values to p -Fibonacci code. Patent certificate of Canada No 1116754.
225. Reduction method of p -Fibonacci code to the minimal form and device for its realization. Patent certificate of Canada No 1134510.
226. Adder of Fibonacci codes. Patent certificate of Canada No 1103807.
227. Device for display information representation. Patent certificate of Canada No 1096075.
228. Digit-to-analog converter. Patent certificate of Canada No 1137228.
229. Analog-to-digital converter realizing the comparison-subtraction method. Patent certificate of Canada No 1137227.
230. Device for reduction of p -Fibonacci codes to the minimal form. Patent certificate of Canada N1132263.
231. Parallel adder of the p -Fibonacci codes. Patent certificate of Canada No 1127313 .
232. Digit-to-analog converter for the p -Fibonacci codes. Patent certificate of Canada No 1165889.
233. Converter of analogous values to p -Fibonacci code. Patent certificate of Poland No 124795.
234. Reduction method of p -Fibonacci code to the minimal form and device for its realization. Patent certificate of Poland No 108086.
235. Adder of Fibonacci codes. Patent certificates of Poland No 109971.
236. Converter of analogous values to p -Fibonacci code. Patent certificate of DDR No 133373.
237. Reduction method of p -Fibonacci code to the minimal form and device for its realization. Patent certificate of DDR No 150514.
238. Adder of Fibonacci codes. Patent certificate of DDR No 136317.
239. Device for display information representation. Patent certificate of DDR No 134005.
240. Device for obtaining of the "Golden" binary code. Patent certificates of DDR No 142780.
241. Digit-to-analog converter. Patent certificates of DDR No 140187.
242. Digit-to-analog converter. Patent certificates of DDR No 138400.
243. Analog-to-digital converter realizing the comparison-subtraction method. Patent certificate of DDR No 141033.
244. Svetlana N. Yanushkevich, Sergey E. Lyshevski, Vlad P. Shmerko. Computer Arithmetics for Nanoelectronics. CRC Press, 2009
245. Chao Huang (editor). Robust Computing with Nano-scale Devices. Progresses and Challenges. Springer, 2010
246. Bergman G. A number system with an irrational base // Mathematics Magazine, 1957, No 31: 98-119.
247. Абачиев С.К. Математика гармонии глазами историка и методолога науки // «Академия Тринитаризма», М., Эл № 77-6567, публ.15991, 11.07.2010
<http://www.trinitas.ru/rus/doc/0232/009a/02321185.htm>