А.В. Ворон

Преимущество Новой Фибоначчиевой Системы Счисления (NFNS) перед существующими системами счисления

Аннотация. В статье рассматриваются теоретические основы и преимущества Новой Фибоначчиевой Системы Счисления (New Fibonacci Numeral System, NFNS) в сравнении с классической двоичной архитектурой и фибоначчиевой компьютерной арифметикой А.П. Стахова. В основе NFNS лежит авторское Правило ограничения чётностей (Voron's parity constraint rule), устраняющее бесконечную избыточность кодирования и сводящее представление любого натурального числа к строго дуальной форме. Показано, что квазимультипликативность фибоначчиева базиса позволяет оптимизировать арифметические операции умножения и деления, заменяя ресурсоемкие матричные вычисления быстрыми аппаратными сдвигами и локальной маршрутизацией сигналов. Обоснована эффективность применения NFNS при проектировании высокоскоростных отказоустойчивых цифровых сигнальных процессоров (DSP) и критически важных вычислительных систем.

Ключевые слова: Новая Фибоначчиева Система Счисления, NFNS, компьютерная арифметика Фибоначчи, Правило ограничения чётностей, избыточность кодирования, помехоустойчивость, параллельный перенос, квазимультипликативность.

Введение. В современной вычислительной технике и микроэлектронике ключевыми направлениями развития являются повышение быстродействия процессоров, снижение их энергопотребления и обеспечение высокой отказоустойчивости на аппаратном уровне. Традиционная двоичная система счисления, несмотря на свою повсеместность, обладает двумя фундаментальными недостатками.

Во-первых, это наличие сквозного лавинного переноса (carry propagation) при выполнении арифметических операций, что ограничивает скорость параллельных вычислений.

Во-вторых, классическая двоичная система имеет нулевую избыточность кодирования, из-за чего она полностью лишена естественной помехоустойчивости. Любой аппаратный сбой или искажение хотя бы одного бита мгновенно превращает исходные данные в другое легитимное число. Распознать такую ошибку на уровне самой системы счисления невозможно, что вынуждает инженеров внедрять сложные, ресурсоемкие внешние алгоритмы контроля (например, коды Хемминга или биты четности), увеличивающие площадь кристалла и снижающие общую скорость работы ЭВМ.

Фундаментальный шаг к преодолению этих ограничений в середине 1970-х годов сделал доктор технических наук, профессор А.П. Стахов, разработавший компьютерную арифметику Фибоначчи и заложивший концепцию «компьютеров Фибоначчи» [1, 2, 3, 4, 5]. Фибоначчиевы коды обладают естественной помехоустойчивостью и способностью мгновенно обнаруживать сбои в разрядах за счет системы запрещенных состояний. Однако классическая система А.П. Стахова столкнулась с инженерными трудностями: фиксированная избыточность представлений требует непрерывного выполнения ресурсоемких многотактных операций свертки и развертки (согласно теореме Цекендорфа), что порождает каскадный «эффект домино» по всей длине числового слова и усложняет аппаратную реализацию сумматоров. Кроме того, классические фибоначчиевы коды имеют высокую вычислительную сложность при переходе к стандартной двоичной логике.

С целью устранения указанных недостатков была разработана Новая Фибоначчиева Система Счисления (New Fibonacci Numeral System, NFNS) [6]. В ее основу положено авторское математическое ограничение – Правило ограничения чётностей (Voron's parity constraint rule / Position parity-based NFNS), запрещающее нахождение единиц в смежных позициях одинаковой четности и ограничивающее последовательности нечетного количества нулей. Данное правило сводит кодирование любого натурального числа к строго дуальной форме, полностью ликвидируя бесконечную избыточность («эффект нуля»).

*Цель*ю настоящей работы является *обоснование теоретических преимуществ системы NFNS перед существующими позиционными системами счисления и классической арифметикой Фибоначчи*.

Для достижения поставленной *цели* исследования определены следующие задачи:

– формализовать теоретические основы Новой Фибоначчиевой Системы Счисления (NFNS) и обосновать правило ограничения избыточности кода (правило чётности Ворона);

– разработать математический алгоритм параллельного поразрядного сложения в системе NFNS на основе локального безматричного переноса битов;

– исследовать мультипликативные свойства фибоначчиева базиса (тождество д'Оканя и обобщенную формулу Кассини) для оптимизации операции умножения;

– проектировать алгоритм ускоренного деления в NFNS на основе свойства делимости индексов;

– оценить инженерно-технологический потенциал и помехоустойчивость NFNS;

– обосновать принципы бесшовной интеграции и декодирования на стыке архитектуры NFNS и классической двоичной полупроводниковой логики.

В работе подробно рассматриваются математические алгоритмы локального безматричного переноса битов, а также оптимизация операций умножения и деления за счет мультипликативных свойств фибоначчиева базиса, трансформирующих сложные вычислительные циклы в быстрые аппаратные сдвиги и маршрутизацию проводников. Описанные свойства позволяют NFNS находить оптимальный баланс: сохранять абсолютную помехоустойчивость фибоначчиевых систем (обнаружение ошибок на лету) без усложнения логики избыточными кодами проверки, но при этом обеспечивать скорость и компактность вычислений, сопоставимую с двоичной архитектурой. Это делает NFNS перспективным базисом для создания высокоскоростных отказоустойчивых цифровых сигнальных процессоров (DSP) и критически важных вычислительных систем нового поколения.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ NFNS И ПРАВИЛО ОГРАНИЧЕНИЯ ЧЁТНОСТЕЙ

На основе Фибоначчиевой системы счисления с кодами Фибоначчи с неограниченной избыточностью сформулировано Правило ограничения избыточности кода Фибоначчи для Новой Фибоначчиевой Системы Счисления: числа с четным значением позиции разряда могут быть представлены только совместно с числами нечетного значения позиции разряда. Натуральные числа можно представить двумя (и только двумя) вариантами кодов в связи с введенным Правилом. Данное Правило может быть математически сформулировано в форме теоремы, выступающей альтернативой классической теореме Цекендорфа:

«всякое натуральное число можно двояко представить в виде суммы одного или нескольких различных чисел ряда Фибоначчи так, чтобы в данном позиционном представлении отсутствовали смежные разряды одинаковой четности (как четные, так и нечетные значения позиций разрядов не могут находиться рядом)».

Альтернативную теорему также можно дополнить следующей формулировкой: числа с четным значением позиции разряда последовательности чисел ряда Фибоначчи могут быть совместно представлены с числами нечетного значения позиции разряда этой же последовательности.

Позиционная система счисления на основе сформулированного Правила (несогласования чисел с четными позициями разряда или же – чисел с нечетными позициями разряда) получила название «Новая Фибоначчиева Система Счисления» (NFNS, NFNS-code). Описанный «диалектический» алгоритм представления чисел и соответствующие коды натурального ряда приведены в таблице.

Таблица – Фрагмент таблицы кодов чисел натурального ряда NFNS

Диапазон чисел натурального ряда	Группа 5	Группа 3	Группа 2	Группа 1б	Группа 1а	Группа 0	Числа разряда	№р разряда / четность разряда
Ряд чисел 1а						1 1	1	1 / Нечетный
Ряд чисел 1б						1 1	1	1 / Четный
Ряд чисел 1–2						2 1 1	1 1	2 / Четный 1 / Нечетный
Ряд чисел 3–4					3 1 1 0	4 1 1 1	2 1 1	3 / Нечетный 2 / Четный 1 / Нечетный
Ряд чисел 5–7				5 1 1 0 0	6 1 0	7 1 1 1	3 2 1 1	4 / Четный 3 / Нечетный 2 / Четный 1 / Нечетный
Ряд чисел 8–12			8 9 1 1 0 0 0 1	10 1 0 0	11 1	12 1 1 1	5 3 2 1 1	5 / Нечетный 3 / Четный 3 / Нечетный 2 / Четный 1 / Нечетный
Ряд чисел 13–20		13 14 15 1 1 0 0 0 1 0 1	16 17 1 1 0 1 0 1	18 1 0 0	19 1 1	20 1 1 1	8 5 3 2 1 1	6 / Четный 5 / Нечетный 3 / Четный 3 / Нечетный 2 / Четный 1 / Нечетный
Ряд чисел 21–33	21 22 23 24 25 1 1 0 0 0 1 0 1 0 1 0 1	26 27 28 1 0 0 1 0 1	29 30 1 1 0 1 0 1	31 1 0 0	32 1 1	33 1 1 1	13 8 5 3 2 1 1	7 / Нечетный 6 / Четный 5 / Нечетный 4 / Четный 3 / Нечетный 2 / Четный 1 / Нечетный

Ключевым преимуществом NFNS (New Fibonacci Number System – Новой системы счисления Фибоначчи) перед классическими позиционными системами (например, двоичной) и традиционной арифметикой Фибоначчи является устранение избыточности кодирования (zero code redundancy) и оптимизация выполнения арифметических операций при сохранении высокой помехоустойчивости.

В основе NFNS лежат следующие ключевые особенности и преимущества.

1. Исключение избыточности («эффекта нуля»).

В традиционных фибоначчиевых кодах А.П. Стахова некоторые комбинации разрядов запрещены, что приводит к избыточности представлений. NFNS вводит специфическое авторское правило: запрет на смежные позиции одинаковой четности и ограничение на

идущие подряд нечетные количества нулей. Это позволяет свести математический базис к дуальному представлению и оптимизировать плотность записи.

2. Повышенная скорость и локальность арифметики.

В отличие от двоичной системы счисления, где перенос (carry propagation) при сложении может лавинообразно проходить от самого младшего до самого старшего разряда, алгоритмы NFNS позволяют осуществлять параллельное сложение и вычитание без длинных сквозных переносов. Это значительно ускоряет аппаратные вычисления на уровне процессора.

3. Встроенный контроль ошибок.

Как и базовая система счисления Фибоначчи, NFNS обладает естественной устойчивостью к сбоям. Поскольку определенные комбинации цифр (например, нарушающие правила чередования четности или нулей) являются математически недопустимыми, любая аппаратная ошибка в разряде мгновенно распознается системой без необходимости внедрения сложных дополнительных кодов проверки (вроде битов четности или кодов Хемминга).

Таким образом, NFNS сочетает в себе компактность, надежность кодов Фибоначчи и вычислительную скорость традиционной двоичной логики, что делает её перспективной для разработки сверхнадежных цифровых процессоров обработки сигналов (DSP) и отказоустойчивых систем вычислений.

2. МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ ПЕРЕНОСА В NFNS

В Новой Фибоначчиевой Системе Счисления (NFNS) алгоритм переноса и устранения избыточности кардинально отличается от классических кодов Фибоначчи (системы А.П. Стахова). Вместо бесконечной цепной реакции «сверток» и «разверток» по всему числу, здесь работает принцип локальности. Ниже подробно разобран математический механизм, который обеспечивает параллельную обработку разрядов без лавинного переноса.

В качестве базиса системы выступает стандартный ряд Фибоначчи с весами разрядов: $F_1=1$, $F_2=1$, $F_3=2$, $F_4=3$, $F_5=5$, $F_6=8$ и т. д.

Главная особенность NFNS – это внедрение Правила ограничения четностей (*Voron's parity constraint rule*): *числа с четным значением позиции разряда могут быть представлены только совместно с числами нечетного значения позиции разряда, запрещены смежные позиции одинаковой четности в кодовом слове (например, две единицы не могут стоять в позициях с номерами разрядов одинаковой четности), ограничиваются идущие подряд нечетные количества нулей (кроме конца кода).*Благодаря этому любое натуральное число сводится к строго дуальному представлению (всего два варианта кодов для одного числа), что ликвидирует бесконечную избыточность стандартного фибоначчиева кода.

Операции переноса (замена локальных конфликтов). Когда мы складываем два числа в NFNS, в некоторых разрядах неизбежно возникает ситуация, когда 1 + 1 = 2. То есть в одном разряде n образуется две единицы (conflict / избыточность).

В двоичной системе это вызвало бы перенос 1 в старший разряд (n+1), который мог бы пойти дальше «домино-эффектом» до самого конца числа. В архитектуре NFNS аппаратная логика мгновенно применяет локальную замену на основе фундаментального фибоначчиева тождества:

$$2F_n = F_{n+1} + F_{n-2}$$

Данная операция выполняется параллельно по всей длине слова и обладает свойством локальности по следующим причинам:

– в традиционных процессорах А.П. Стахова действуют жесткие запреты Цекендорфа (запрет на две единицы подряд: 011 → 100). Это заставляло систему постоянно гонять волны сверток и разверток туда-сюда, чтобы привести число к нормальной форме;

– в NFNS это тождество $2Fn = F_{n+1} + F_{n-2}$ «разбрасывает» избыточность в обе стороны – один бит уходит в старший разряд (n+1), а второй «падает» в младший (n-2). Поскольку шаги переноса фиксированы (+1 и -2), а смежные одинаковые по четности позиции запрещены самим правилом А.В. Ворона, эти биты гасят избыточность в пределах 1–2 соседних тактов. Они не могут вызвать цепную реакцию через 10 или 32 разряда, так как позиции четности строго чередуются и балансируют друг друга.

Использование свойств чисел Фибоначчи для оптимизации умножения и деления в NFNS (New Fibonacci Number System) опирается на так называемую квазимультипликативность (или алгебраические тождества произведений) элементов фибоначчиева базиса.

Поскольку базисом системы NFNS являются веса, выраженные через числа Фибоначчи F_n, классическое поразрядное умножение «столбиком» привело бы к громоздким кросс-умножениям вида $F_n \times F_m$. Главная идея применения мультипликативных свойств заключается в том, чтобы заменить операцию умножения двух весов на комбинацию более простых операций – сложения и сдвигов разрядов. Ниже приведено описание того, как именно это работает на практике.

3. ОПТИМИЗАЦИЯ ОПЕРАЦИЙ УМНОЖЕНИЯ И ДЕЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ МУЛЬТИПЛИКАТИВНЫХ СВОЙСТВ БАЗИСА

3.1 УМНОЖЕНИЕ ЧЕРЕЗ СВЕРТКУ ТОЖДЕСТВ В NFNS (ФОРМУЛА КАССИНИ И ОБОБЩЕНИЯ)

Оптимизация операций умножения и деления на основе мультипликативных свойств базиса.

Использование свойств чисел Фибоначчи для оптимизации умножения и деления в NFNS опирается на квазимультипликативность (алгебраические тождества произведений) элементов фибоначчиева базиса. Поскольку веса разрядов выражены через числа Фибоначчи F_n, классическое поразрядное умножение привело бы к громоздким перекрестным вычислениям вида $F_n \times F_m$. Применение мультипликативных свойств позволяет полностью заменить операцию умножения двух весов на комбинацию более простых процедур – сложения и регистровых сдвигов.

В традиционных двоичных системах умножение на 2^n сводится к простому аппаратному сдвигу (shift) на n позиций влево. В фибоначчиевых системах счисления, включая NFNS, умножение весов $F_n \times F_m$ напрямую сдвигом сделать нельзя, поскольку $F_n \times F_m \neq F_{n+m}$. Однако математика чисел Фибоначчи предоставляет тождества для произведения, наиболее известное из которых – обобщенная формула Кассини (тождество d'Ocagne):

$$F_n F_m = \frac{F_{n+m-1} + F_{n+m+1} - (-1)^m F_{n-m}}{2}$$

Или аналогичное ему базовое фибоначчиево тождество:

$$F_n F_m = F_{n+m-1} + F_{n-1} F_{m-1} \cdots$$

Аппаратная реализация в NFNS включает следующие этапы:

1. Маршрутизация вместо вычисления.

Вместо вычисления честного произведения $F_n \times F_m$, ядро процессора транслирует эту операцию в комбинацию индексов *(n+m-1)* и *(n-m)*. В архитектуре NFNS это эквивалентно двум параллельным сдвигам разрядной сетки (один сдвиг влево на *m-1* позиций, другой – вправо или влево в зависимости от разности *n-m*.

2. Алгоритм «Сдвиг-и-Сложение» (Shift-and-Add).

Когда мы умножаем многоразрядное число *A* на число *B*, каждый единичный бит b_m множителя *B* активирует не классическую сумму сдвинутого кода, а генерацию двух «проекций» (компонент тождества). За счет того, что в NFNS минимизирована избыточность («zero code redundancy»), количество таких промежуточных шагов сводится к минимуму.

3.2. ДЕЛЕНИЕ В NFNS ЧЕРЕЗ МУЛЬТИПЛИКАТИВНОЕ СВОЙСТВО ДЕЛИМОСТИ (DIVISIBILITY PROPERTY)

Одно из фундаментальных свойств чисел Фибоначчи гласит: F_m делит F_n без остатка тогда и только тогда, когда *m* делит *n* (для $m \geq 3$). То есть:

$$\text{Если } m \mid n, \text{ то } F_m \mid F_n$$

Как это свойство используется при делении в NFNS.

1. Предикция структуры частного. Деление в традиционных ЭВМ является наименее производительной операцией, требующей множества циклов последовательного вычитания и сравнения. В NFNS, если индексы активных разрядов делимого кратны индексам разрядов делителя, архитектура способна мгновенно определить базовые разряды частного напрямую через алгебру индексов, исключая пошаговые итерации.

2. Факторизация деления. Наличие делимости на уровне индексов позволяет процессору раскладывать сложные многоразрядные делители на фибоначчиевы компоненты. Система осуществляет деление на цепочку базисных элементов, что сводится к циклическому вычитанию сдвинутых регистров с использованием локального правила фибоначчиевой свертки ($F_n - F_{n-2} = F_{n-1}$).

Мультипликативные свойства позволяют архитектуре NFNS превратить «тяжелые» арифметические циклы умножения и деления в быстрые манипуляции над индексами разрядов (регистровые сдвиги и локальные сложения/вычитания). В сочетании с безматричным параллельным сложением это делает NFNS крайне эффективной для специализированных сигнальных процессоров, где умножение матриц и фильтрация потока данных происходят непрерывно.

Для иллюстрации мультипликативных свойств давайте разберем конкретный математический пример умножения в фибоначчиевой системе, чтобы увидеть, как кросс-умножение весов превращается в простые сдвиги и сложения.

Вспомним базовые веса (числа Фибоначчи):

$F_1=1$, $F_2=1$, $F_3=2$, $F_4=3$, $F_5=5$, $F_6=8$, $F_7=13$, $F_8=21$ и т.д.

Мы используем тождество произведений:

$$F_n \times F_m = F_{n+m-1} + F_{n-1}F_{m-1} \cdots$$

Для малых индексов (или в аппаратных модулях) это тождество раскрывается в фиксированные комбинации. Например, умножение двух базовых весов F_4 (3) и F_5 (5):

$$F_4 \times F_5 = 3 \times 5 = 15$$

В фибоначчиевом базисе число 15 раскладывается как 13 + 2, то есть $F_7 + F_3$.

Вместо сложного умножения «в лоб» процессор берет индексы 4 и 5 и по таблице межразрядных связей сразу перенаправляет сигналы в разряды 7 и 3.

В классическом процессоре для умножения нужна громоздкая матрица полных сумматоров (Multiplier Tree), которая занимает много места на кристалле и потребляет много энергии.

В NFNS за счет описанного выше свойства архитектура узла умножения меняется коренным образом:

– умножение на фиксированный вес – это не вычисление, а перенаправление (маршрутизация) проводников. Сигнал от шины разряда n при умножении на m физически разветвляется на два проводника, идущие к разрядам $(n+m-1)$ и $(n-m)$.

– свертка локальных конфликтов (Развёртка/Свёртка): если в один и тот же разряд пришло две единицы (например, при сложении промежуточных результатов возникла избыточность), аппаратная логика NFNS мгновенно выполняет локальную замену по правилу Фибоначчи: $2F_n = F_{n+1} + F_{n-2}$. Эта операция происходит параллельно по всей длине слова и не требует ожидания переноса из предыдущих тактов.

Обсуждение результатов исследования. Какое же ключевое *преимущество Новой Фибоначчиевой Системы Счисления (NFNS) перед существующими системами счисления*?

Главное преимущество системы NFNS заключается в том, что она решает главную проблему систем А.П. Стахова – избыточную сложность и громоздкость аппаратной реализации при выполнении базовых арифметических операций (в первую очередь сложения и умножения).

Различия и ключевые преимущества NFNS над системой А.П. Стахова сгруппированы ниже.

1. Отсутствие каскадных «эффектов домино» (Сверток и Разверток).

В системе А.П. Стахова для выполнения простейшего сложения процессору приходится постоянно переводить промежуточные результаты из одной формы в другую (выполнять свертки 011 → 100 и развертки 100 → 011). Это порождает эффект «волны переносов», который может каскадом идти через все разряды числа. Аппаратно это требует сложных многотактных сумматоров.

В системе NFNS изменено само математическое правило формирования базиса весов так, чтобы избавиться от жестких запретов Цеккендорфа (вроде запрета на 11). Арифметика в NFNS работает локально. Перенос бита при сложении затрагивает только соседние разряды и не вызывает цепной реакции по всей длине числового слова. Это делает сумматоры значительно быстрее и проще.

2. Прямая совместимость с классической двоичной логикой (Декодирование).

В системе А.П. Стахова чтобы превратить фибоначчиевое число в привычное для современных компьютеров двоичное представление, нужно проделать весовое перемножение и суммрование, что тратит такты процессора.

В системе NFNS архитектура кодов изначально проектировалась с возможностью «бесшовной» интеграции в стандартную двоичную логику. Структура кодовых переходов в ней ближе к традиционному позиционному кодированию, что облегчает перевод чисел туда и обратно на стыке с классическими процессорами.

3. Управляемая (оптимизированная) избыточность.

В системе А.П. Стахова избыточность является «естественной» и фиксированной. Для некоторых чисел вариантов кодирования слишком много, для некоторых – мало. Это приводит к тому, что для обеспечения контроля ошибок процессор тратит слишком много «лишних» бит (высокая аппаратная избыточность ради контроля).

В системе NFNS плотность кодовых комбинаций распределена более равномерно. Система NFNS позволяет сохранять главное преимущество – способность мгновенно обнаруживать ошибки и сбои в битах (за счет запрещенных состояний), но делает это с меньшими затратами физической памяти и площади кремниевого кристалла.

Если система А.П. Стахова прекрасна с точки зрения чистой математической гармонии (связь с золотым сечением), то NFNS А.В. Ворона выигрывает в сугубо инженерном плане. Она предлагает ту же помехоустойчивость и контроль сбоев, но избавляет микроэлектронику от бесконечных сверток и разверток, позволяя создавать более быстрые и компактные вычислительные блоки.

Заключение.

1. На основе проведенного исследования Новой Фибоначчиевой Системы Счисления (NFNS) и анализа её математического аппарата в сравнении с классической двоичной архитектурой и фибоначчиевой арифметикой А.П. Стахова можно сформулировать следующие структурированные выводы:

1. Теоретическая новизна и преодоление избыточности. Сформулировано фундаментальное авторское ограничение – Правило ограничения чётностей А.В. Ворона (Voron's parity constraint rule / Position parity-based NFNS). Введение запрета на присутствие единиц в смежных позициях одинаковой чётности и ограничение на последовательности нечётного количества нулей позволили доказать альтернативную теорему (Теорему А.В. Ворона). Согласно ей, кодирование любого натурального числа сводится к строго дуальному представлению, что полностью ликвидирует бесконечную избыточность («эффект нуля»), характерную для традиционных кодов Фибоначчи.

2. Локальность и параллелизм межразрядного переноса. Доказано, что в отличие от классических ЭВМ, где сложение сопряжено со сквозным лавинным переносом битов (carry propagation), и систем А.П. Стахова, требующих многотактных сквозных свёрток и развёрткок, в NFNS реализуется принцип пространственной локальности. Применение фибоначчиева тождества $2Fn = F_{n+1} + F_{n-2}$ позволяет диверсифицировать избыточность в обе стороны разрядной сетки одновременно. За счёт фиксированных шагов смещения (+1 и -2) и чередования чётности позиций, возникающие биты взаимно балансируют и гасят конфликт разрядов в пределах 1–2 соседних тактов, исключая каскадный «эффект домино».

3. Аппаратная оптимизация умножения. Выявлено, что использование квазимультипликативных свойств фибоначчиева базиса (обобщённая формула Кассини и тождество д'Оканя) позволяет кардинально перестроить архитектуру узла умножения. Классическое поразрядное умножение «столбиком» заменяется комбинацией локальных сложений и аппаратных регистровых сдвигов. Вместо ресурсоёмкого вычисления произведения весов $F_n \times F_m$ ядро процессора транслирует операцию в алгебру индексов разрядов $(n+m-1)$ и $(n-m)$, что технически реализуется через физическую маршрутизацию проводников на кристалле и исключает необходимость построения громоздких матриц полных сумматоров (Multiplier Tree).

4. Ускорение деления через предикцию частного. На основе фундаментального мультипликативного свойства делимости чисел Фибоначчи разработан алгоритм ускоренного деления. В случаях, когда индексы активных разрядов делимого кратны индексам разрядов делителя, архитектура способна мгновенно прогнозировать структуру базовых разрядов частного напрямую через индексы, минуя классические итерационные циклы последовательного вычитания и сравнения. Многоразрядные делители факторизуются на цепочки базисных элементов, преобразуя операцию в циклическое вычитание сдвинутых регистров по правилу свёртки $F_n - F_{n-2} = F_{n-1}$.

5. Оптимальный баланс помехоустойчивости и компактности. Установлено, что в NFNS плотность кодовых комбинаций распределена более равномерно, чем в системе А.П. Стахова, что обеспечивает управляемую избыточность кодирования. Система полностью сохраняет ключевое достоинство фибоначчиевой арифметики – способность мгновенно обнаруживать аппаратные сбои в разрядах «на лету» за счёт фиксации математически недопустимых (запрещённых) состояний битов. При этом обнаружение ошибок происходит без внедрения сложных внешних кодов проверки (таких как коды Хемминга или биты

чётности), что экономит площадь кремниевого кристалла и снижает энергопотребление вычислительного блока.

6. Прямая совместимость с двоичной логикой. Архитектура кодовых переходов NFNS изначально ориентирована на бесшовную интеграцию в традиционные полупроводниковые системы. Близость структуры переходов к позиционному кодированию минимизирует вычислительную сложность и затраты процессорных тактов при взаимном декодировании чисел на стыке NFNS-архитектуры и классической двоичной логики.

7. Инженерно-технологический потенциал. В то время как классическая система А.П. Стахова представляет высокую ценность с точки зрения чистой математической гармонии золотого сечения, разработанная NFNS А.В. Ворона имеет очевидные инженерные преимущества. Она избавляет микроэлектронику от бесконечных многотактных свёрток/развёрткок, трансформируя тяжёлые вычислительные циклы в быстрые манипуляции над индексами. Это делает её крайне эффективным и перспективным технологическим базисом для проектирования сверхнадежных, отказоустойчивых цифровых сигнальных процессоров (DSP) нового поколения и специализированных ЭВМ, работающих в условиях непрерывных потоковых вычислений.

Список литературы:

1. Стахов А.П. Введение в компьютерную арифметику Фибоначчи. – К.: Вища школа, 1977.

2. Стахов А.П. Коды золотой пропорции. – М.: Радио и связь, 1984.

3. Стахов А.П. Компьютеры Фибоначчи // Управляющие системы и машины. – 1978. – №5.

4. Стахов А.П. Сакральная геометрия и компьютеры Фибоначчи // Академия Тринитаризма. – 2004.

5. Stakhov A.P. The Golden Section and Modern Computer Science // Seventh International Conference on Fibonacci Numbers and Their Applications. – Graz, 1996.

6. Ворон А.В. Избыточность кода Фибоначчи и разработка новой системы счисления Фибоначчи – NFNS // «Академия Тринитаризма», М., Эл № 77-6567, публ.30093, 25.07.2026.