

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО-ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ПУЛЬСОВОГО СИГНАЛА: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

В.В. Бороноев, Б.З. Гармаев, В.Д. Омпоков

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физического материаловедения Сибирского отделения РАН
Россия, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6, e-mail: vboronojev2001@mail.ru

Представлен сравнительный анализ диагностических возможностей дифференциально-интегральных преобразований пульсовых сигналов. Утверждение [1] о том, что «отношения интегралов высшей кратности существенно эффективнее отношений интегралов (и дифференциалов) малой кратности и могут быть применены для диагностических целей» не нашло подтверждения вследствие того, что дифференциальные преобразования пульса характеризуют динамику формы, а интегральные преобразования временные параметры пульсового сигнала.

Ключевые слова: пульс, кратные интегралы, диагностика

ON COMPARATIVE ESTIMATION OF DIFFERENTIAL AND INTEGRAL PULSE TRANSFORMATIONS

V.V. Boronoyev, B.Z. Garmaev, V.D. Ompokov

Institute of Physical Materials Science of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
6, Sakhyanovoy st., Ulan-Ude, Russia, e-mail: vboronojev2001@mail.ru

The paper gives analysis and evaluation of the diagnostic possibilities of the differential and integral pulse transformations on the samples of model and real pulse signals of different people. These pulse transformations amount to the ratio of the dispersions of the successively calculated divisible «integrals» and «differentials». Differential pulse transformations characterize the dynamics of a pulse signal shape and the integral transformations are associated with time parameters. That is why it is incorrect to compare the results of the differential and the integral pulse transformations.

Keywords: pulse, multiple integrals, diagnostics

Введение

В статье [1] рассмотрен метод оценки функционального состояния организма человека по пульсу на основе дифференциально-интегральных преобразований (ДИП) пульсового сигнала.

Не вдаваясь в специфические особенности ДИП [2], отметим, что методика исследований «по выбору и обоснованию наиболее приемлемого показателя» пульсовой волны в [1] заключалась в следующем. Проводилась регистрация пульсового сигнала на лучевой артерии руки вначале у одного, а затем у двух обследуемых в течение 100 сек с помощью системы диагностики и коррекции организма человека с частотой дискретизации 100 Гц [2]. Затем [1] «для каждого удара пульса в полученной записи вычислялись мощности (дисперсии) последовательно продифференцированными или проинтегрированными кривыми пульса и отношения между ними. В результате получился ряд данных, включающий отношение мощности (дисперсии) первой производной к мощности (дисперсии) второй производной (DK_1); отношение дисперсии пульса к дисперсии первой производной пульса (так

называемый «дифференциальный» коэффициент ($ДК=ИК_0$); отношение дисперсии первого интеграла пульсовой кривой к дисперсии исходного пульса ($ИК_1$) ... и так далее, до отношения дисперсии пятерного интеграла к дисперсии четвертого интеграла от пульсовой кривой ($ИК_5$). Для полученного ряда показателей было проведено сравнение между ударами пульса в одной записи исследуемого человека и сравнение между тем же рядом показателей для двух разных людей».

Наибольшей критике в [1] подвергся параметр $ДК$, используемый в [3] в качестве *одного* из диагностических параметров пульсового сигнала. Утверждение «из-за чрезвычайно большого разброса значений никаким образом не может быть использован для диагностики состояния человека» требует детального исследования. Выводы статьи [1]: «Результаты сравнений отношений интегралов (и дифференциалов) разной кратности для сигнала пульса показали, что отношения интегралов высшей кратности существенно эффективнее отношений интегралов (и дифференциалов) малой кратности и могут быть применены для диагностических целей» также требуют ряда дополнительных уточнений и комментариев.

Методика и результаты

Отметим, что не представленный в работе [1] алгоритм расчета параметров пульсовой волны (ПВ), а именно $ДК_1$, $ДК=ИК_0$, и $ИК_1 - ИК_5$, подробно рассмотрен в [2]. Здесь только подчеркнем, что называть подобные операции *интегрированием* и *дифференцированием* [1] можно условно, так как в данных операциях не учитываются шаги дискретизации сигнала. В статье использована терминология и операции преобразования пульсовых волн предположительно используемые в [1].

На рис. 1а приведены единичные пульсовые волны, последовательно зарегистрированных на лучевой артерии руки человека с явно выраженной аритмией. Видно, что исходные пульсовые сигналы по форме незначительно, а по длине сердечного цикла существенным образом отличаются друг от друга. Графики изменений интегральных коэффициентов $ИК$ единичных волн для соответствующих кратностей интегрирования $ДК=ИК_0$, и $ИК_1-ИК_5$ различаются между собой (рис. 1б). Видно, что для высоких кратностей интегрирования значения параметров $ИК_4$ и $ИК_5$ стабилизируются, но имеют разные значения по абсолютной величине.

Далее искусственно приведем длины пульсовых волн (RR-интервалы) до значений 0,8 сек. (рис. 2а) и 1,0 сек (рис. 3а), что качественно изменяет форму пульсовых сигналов. Из графиков, представленных на рис. 2б и рис. 3б, видно, что значения параметра $ИК$, также как и на рис. 1б, стабилизируются.

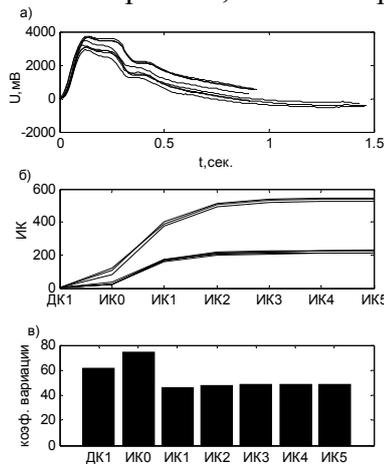


Рис. 1 Параметры ДИП для пульсового сигнала с выраженной аритмией.

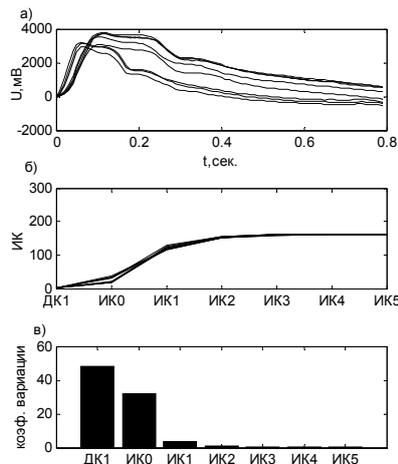


Рис. 2 Параметры ДИП для пульсового сигнала с выраженной аритмией при нормировке пульсовых волн на длину 0.8 сек.

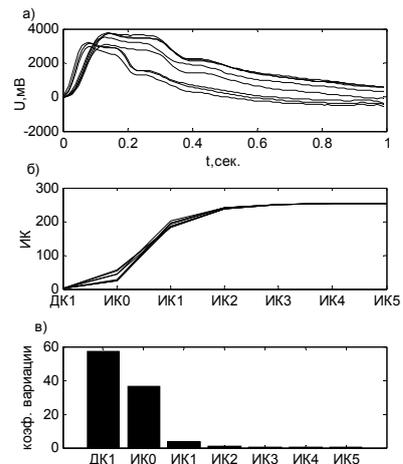


Рис. 3 Параметры ДИП для пульсового сигнала с выраженной аритмией при нормировке пульсовых волн на длину 1 сек.

а) Пульсовые волны из одной реализации сигнала. б) Параметры ДИП для этих волн. в) Коэффициенты вариации параметров ДИП для всей реализации.

Отметим, что абсолютные значения интегральных коэффициентов $ИК_4$ и $ИК_5$ единичных пульсовых волн в этом случае совпадают между собой вне зависимости от значительной разницы формы пульсовых волн. Так, в первом случае для $RR=0,8$ сек, все значения $ИК$ приблизительно равны 165, а во втором для $RR=1,0$ сек, эти же значения приблизительно равны 255.

Это же подтверждается минимальными значениями коэффициентов вариации интегральных коэффициентов $ИК_4$ - $ИК_5$, представленных на рис. 2в и рис. 3в. В то же время, на имеющиеся отличия пульсовых волн между собой по форме указывает наибольший диапазон значений коэффициента вариации параметра $ДК=ИК_0$ по сравнению с интегральными коэффициентами $ИК_4$ - $ИК_5$. Это связано с динамикой формы пульсового сигнала, которая может изменяться в больших пределах, а минимальный размах $КВ$ параметров $ИК_4$ - $ИК_5$ характеризуют вариабельность RR -интервала сердечного цикла (10-20%).

Аналогичные результаты получены для другой группы подобным образом зарегистрированных и проанализированных пульсовых сигналов, соответствующих практически здоровому человеку. При этом обращает на себя внимание тот факт, что величины интегральных коэффициентов $ИК_5$ при равных значениях RR -интервалов (0,8 и 1,0 сек) равны, соответственно, 165 и 255 для здорового и больного человека вне зависимости от формы пульсового сигнала. То есть, существует прямая зависимость параметра $ИК$ от времени интегрирования, в котором RR -интервал представляет собой частный случай.

Отсутствие зависимости средних значений $ИК_4$ - $ИК_5$ (предложенного в работе [1] в качестве диагностического параметра) от формы пульсовых сигналов противоречит достоверно известной в медицине информации о зависимости формы сигнала от физиологического состояния человека, установленная результатами многочисленных исследований [4-6].

Поэтому отмеченное авторами [1] утверждение: «При практической идентичности значений $ДК_1$ и $ДК=ИК_0$ двух разных людей значения $ИК$ высших степеней отличаются, что и является диагностическим признаком» не соответствует действительности из-за отсутствия связи предложенного ими параметра $ИК$ с формой пульсового сигнала, в которой заложена основная информация о состоянии организма человека. А это означает, что параметр $ИК$ может быть использован только для косвенной оценки RR -интервалов, в то время как параметр $ДК=ИК_0$ характеризует именно динамику формы пульсового сигнала.

Поэтому делать вывод только на основании расчетов относительных ошибок ($КВ$) определения параметров $ДК$ и $ИК_4$ - $ИК_5$, как это сделано в работе [1], относительно того, что параметр $ДК$ не может быть применен для диагностики из-за большого разброса значений по меньшей мере некорректно, поскольку параметры $ДК$ и $ИК_4$ - $ИК_5$ характеризуют совершенно разные физиологические параметры: первый характеризует динамику формы пульсового сигнала, а второй – время интегрирования при расчете интегральных коэффициентов. Последним фактом объясняется «большая стабильность» отношений дисперсий кратных интегралов пульсовых кривых по сравнению с дифференциальным коэффициентом.

Выше сказанное подтверждает, что рекомендуемый для врачей показатель состояния здоровья человека в виде отношения дисперсии пульса к дисперсии первой производной ($ДК$) может быть применен в диагностических целях из-за его чувствительности к форме пульсового сигнала в отличие от параметра $ИК_4$ - $ИК_5$. В работе [7], опубликованной этими же авторами в этом же номере журнала, сделан прямо противоположный работе [1] вывод, совпадающий с представленным в данной статье.

Рассмотрим серию дифференциально-интегральных преобразований из 6 реализаций модельных сигналов разной формы: $x = 1,5$; $x = 1,5t$; $x = \sin(10t)$; $x = \sin(20t)$; $x = \sin(40t)$ и пульсовая волна с длинами реализаций 1,0 сек, представленных на рис. 4а.

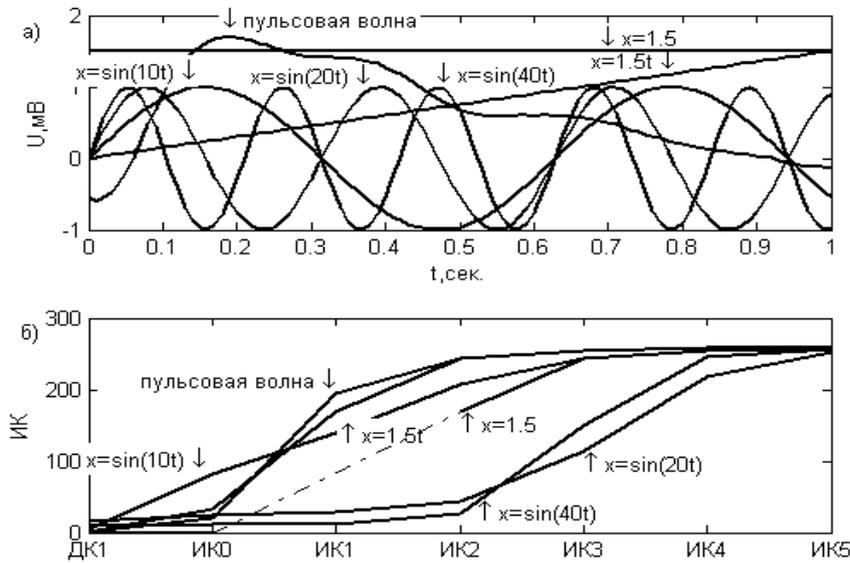


Рис. 4. Параметры ДИП для разных модельных сигналов

Как видно из рис. 4б, абсолютные значения интегральных коэффициентов ИК_5 (и частично ИК_4) всех без исключения модельных сигналов и реальной пульсовой волны совпадают между собой и равны примерно 255, что также свидетельствует о нечувствительности метода ДИП к форме исходных сигналов. Полученное значение параметра ИК, равное 255, для модельных сигналов в точности совпадает со значениями этого параметра как для здорового человека, так и больного (рис. 3б) при одинаковой длине реализации, равной 1 сек. Такое совпадение по величине параметра ИК для сигналов разной формы (реальных и модельных) служит основным доказательством зависимости этого параметра от времени интегрирования и, одновременно, что самое главное, об отсутствии зависимости интегральных коэффициентов ИК_4 - ИК_5 от исходной формы сигнала анализируемого с помощью ДИП.

Резюме

На основе проведенных исследований метода ДИП пульсового сигнала, можно сделать следующие выводы:

1. Постоянные значения интегральных коэффициентов при фиксированных значениях RR-интервалов указывают на зависимость этих параметров от времени интегрирования исследуемого сигнала. Это же подтверждается минимальными значениями коэффициентов вариации интегральных коэффициентов ИК_4 - ИК_5 при фиксированных значениях RR-интервалов вне зависимости от формы пульсовой волны.

2. Показано, что абсолютные значения интегральных коэффициентов ИК всех рассмотренных модельных сигналов равной длины, но разной формы для высоких кратностей интегрирования ИК_5 совпадают между собой и равны 255. Это свидетельствует об абсолютной нечувствительности метода дифференциально-интегральных преобразований к форме исходных сигналов.

3. Установлено, что на имеющиеся отличия пульсовых волн по форме между собой указывает наибольший размах значений коэффициента вариации дифференциального коэффициента $\text{ДК} = \text{ИК}_0$ по сравнению с интегральными коэффициентами ИК_4 - ИК_5 . Это подтверждает то, что этот рекомендуемый для врачей показатель состояния здоровья

человека (ДК) может быть применен для диагностики из-за его чувствительности к форме пульсового сигнала в отличие от параметра ИК₅. Аналогичный вывод следует из работы [7].

4. Вывод статьи [1]: «отношения интегралов высшей кратности могут быть применены для диагностических целей» не соответствует действительности. Дифференциально-интегральные преобразования пульсового сигнала в виде отношений дисперсий кратных интегралов ИК₄-ИК₅ не могут иметь диагностического значения, за исключением косвенной оценки величины RR-интервала сердечного цикла.

Библиографические ссылки

1. Дудин С.А., Занданова Г.И. Сравнительная оценка дифференциально-интегральных преобразований пульса // Естественные и технические науки. – 2010. № 2. – С. 80-84.
2. Бороноев В.В., Гармаев Б.З., Омпоков В.Д. Сравнительный анализ дифференциально-интегральных преобразований пульсовых сигналов // Вестник БНЦ, 2012, № 4. С. 197-211.
3. Азаргаев Л.Н., Бороноев В.В., Тарнуев В.А. Методика работы на автоматизированном пульсодиагностическом комплексе тибетской медицины. - Улан-Удэ.: изд-во Бурятского университета, 2000. - 88 с.
4. Палеев Н.Р., Каевицер И.М. Атлас гемодинамических исследований в клинике внутренних болезней: бескровные методы. - М., Медицина, 1975. - 240 с.
5. Прессман Л.П. Клиническая сфигмография. - М.: Медицина, 1974. - 128 с.
6. Валтнерис А.Д., Яуя Я.А. Сфигмография как метод оценки изменений гемодинамики под влиянием физической нагрузки. - Рига: Зинатне, 1988. - 132 с.
7. Дудин С.А., Занданова Г.И. Зависимость спектральных характеристик пульса от некоторых физиологических параметров // Естественные и технические науки. – 2010. № 2. – С. 76-84.

References

1. Dudin S.A., Zandanova G.I. Sravnitel'naya otsenka differentsialno-integralnyh preobrazovaniy pulsa. Estestvennye i tehnicheckie nauki. 2010. № 2. s. 80-84.
2. Boronoev V.V., Garmaev B.Z., Ompokov V.D. Sravnitel'nyy analiz differentsialno-integralnyh preobrazovaniy pulsovih signalov. Vestnik BNC SO RAN. 2012. № 4 (8). s. 197-211.
3. Azargaev L.N., Boronoev V.V., Tarnuev V.A. Metodika raboty na avtomatizirovannom pulsodiagnosticheskom komplekse tibetskoi mediciny. Ulan-Ude. Izd-vo Buryatskogo universiteta, 2000. 88 s.
4. Paleev N.R., Kaevitser I.M., Atlas gemodinamicheskikh issledovaniy v klinike bnutrennih boleznay. M., Meditsina, 1975. 240 s.
5. Pressman L.P. Klinicheskaya sfigmografiya. M., Meditsina, 1974. 128 s.
6. Valtneris A.D., Yauya Ya.A. Sfigmografiya kak metod otsenki izmeneniy gemodinamiki pod vliyaniem fizicheskoi nagruzki. Riga, Zanatne, 1988. 132 s.
7. Dudin S.A. Zandanova G.I. Zavisimost spektralnih harakteristik pulsa ot nekotoryh phiziologicheskikh parametrov. Estestvennye i tehnicheckie nauki. 2010. № 2. s. 76-84.

Бороноев Виталий Васильевич – д.т.н., профессор, зав.лаб., Лаборатория волновой диагностики живых систем, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физического материаловедения Сибирского отделения РАН, 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6, р.т. (3012) 434694, факс (3012) 433238, e-mail: vboronojev2001@mail.ru.

Гармаев Баир Заятуевич, н.с., Лаборатория волновой диагностики живых систем, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физического

материаловедения Сибирского отделения РАН, 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6, р.т. (3012) 434694, факс (3012) 433238, e-mail: bair.garmaev@gmail.com.

Омпоков Вячеслав Дамдинович, н.с., Лаборатория волновой диагностики живых систем, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физического материаловедения Сибирского отделения РАН, 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6, р.т. (3012) 434694, факс (3012) 433238, e-mail: slvd@mail.ru.

Boronoyev Vitaliy Vasilievich, doctor of engineering, professor, Laboratory of Wave Diagnostics of Living Systems, Institute of Physical Materials Science of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences.

Garmaev Bair Zayatuevich, researcher, Laboratory of Wave Diagnostics of Living Systems, Institute of Physical Materials Science of the Siberian Branch of the RAS.

Ompokov Vyacheslav Damdinovich, researcher, Laboratory of Wave Diagnostics of Living Systems, Institute of Physical Materials Science of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences.