

На правах рукописи

ЛИ ДМИТРИЙ ВАЛЕНТИНОВИЧ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРИОДА СЛОЖНЫХ СИГНАЛОВ И ДИАГНОСТИЧЕСКИХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПРИ КОНТРОЛЕ НАСОСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ НЕФТЕПРОМЫСЛОВ

Специальность 05.13.01 – системный анализ, управление и обработка информации (отрасль: информация и информационные системы)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Томск – 2004

Работа выполнена в Томском политехническом университете

- Научный руководитель – Гольдштейн Ефрем Иосифович,
кандидат технических наук, доцент
- Официальные оппоненты – Гончаров Валерий Иванович,
доктор технических наук, профессор
- Казанцев Юрий Михайлович,
доктор технических наук, доцент
- Ведущая организация – Омский государственный технический
университет

Защита состоится 22 декабря 2004 г. в 15⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 212.269.06 при Томском политехническом университете по адресу: 634034, г. Томск, ул. Советская 84, ауд. 214.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Томского политехнического университета (630004, г. Томск, ул. Белинского, 53а)

Автореферат разослан 19 ноября 2004 г.

Учёный секретарь диссертационного совета,
кандидат технических наук, доцент



Сонькин М.А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Эффективное использование различных электротехнических и электромеханических систем и устройств в промышленности, как правило, сопряжено с детальным изучением и анализом рабочих циклов оборудования и со снижением потребления электроэнергии этими системами и устройствами. В совокупности с этим своевременные и оперативные ремонтные мероприятия, грамотный контроль работоспособности оборудования дают возможность сэкономить значительные финансовые средства. Именно по этой причине возникла необходимость создания средств функционального контроля и диагностики (ФКиД), с помощью которых представляется возможным своевременно вмешаться в процесс эксплуатации различных систем, выявить и устранить причины, способствующие предаварийным и аварийным режимам.

Одним из перспективных направлений ФКиД сложных электротехнических и электромеханических систем, к примеру, штанговых глубинных насосных установок (ШГНУ) на нефтепромыслах, является возможность оперирования с этими системами без их вывода из рабочего состояния, на основе использования, как наиболее информативных, мгновенных значений их токов и напряжений. Именно такое направление на протяжении ряда лет разрабатывается на кафедрах автоматики и компьютерных систем (АиКС) и Электрических станций (ЭС) Томского политехнического университета.

Идеализированный случай предполагает работу средств функционального контроля и диагностики в режиме реального времени. Однако громоздкие алгоритмы и, как следствие, сложное аппаратно-программное обеспечение заставляют лишь в некоторой степени приблизиться к обработке соответствующих сигналов тока и (или) напряжения рассматриваемых систем в реальном времени при использовании систем цифровой записи и обработки сигналов. При применении цифровых регистраторов обработка интересующих сигналов и выдача результатов идёт с некоторой задержкой по времени, необходимой на вычислительный процесс.

Возможность работы средств функционального контроля и диагностики в режиме реального времени особенно актуально при организации дистанционного контроля и диагностики насосного оборудования, когда с многих объектов (в нашем случае это ШГНУ) информация о состоянии оборудования попадает на главный пункт управления и сбора информации.

Для функционального контроля и диагностики ШГНУ в терминах «норма»-«авария» и «уравновешен»-«неуравновешен» Гольдштейн Е.И., Цапко И.В., Исаченко И.Н. предложили использовать диагностические коэффициенты, представляющие собой отношение амплитуд первых трёх гармоник, к примеру, ваттметрограммы (ВМГ)

$$\frac{A_0}{A_1}, \frac{A_2}{A_1}, \frac{A_0}{A_2}, \quad (1)$$

При диагностировании по ВМГ станок-качалка (СК) в общем случае является уравновешенным при $A_2/A_1 > 1$. При наличии данных образцовой ВМГ диагноз «исправен»-«неисправен» ставится путём сравнения конкретного диагностического коэффициента с образцовым

$$A_2/A_1 \geq (A_2/A_1)_{обр}.$$

ВМГ представляет собой изменение активной мощности, потребляемой ШГНУ, во времени, каждый отсчёт которой определяется как среднее значение мгновенной мощности на периоде T_c питающего напряжения или тока (см. рис. 1)

$$P_{cp_m} = \frac{1}{N_{Tc}} \cdot \sum_{i=N_{Tc} \cdot m}^{N_{Tc} \cdot (m+1) - 1} p(t_i), \quad (2)$$

где $m = 0.. \left(\frac{N_{Tp}}{N_{Tc}} \right) - 2$; N_{Tp} – число отсчётов на интервале реализации рассматриваемого сигнала; N_{Tc} – число отсчётов на периоде рассматриваемого сигнала, причём дальнейший анализ работы ШГНУ невозможен при неизвестном периоде качания T_k станка-качалки.

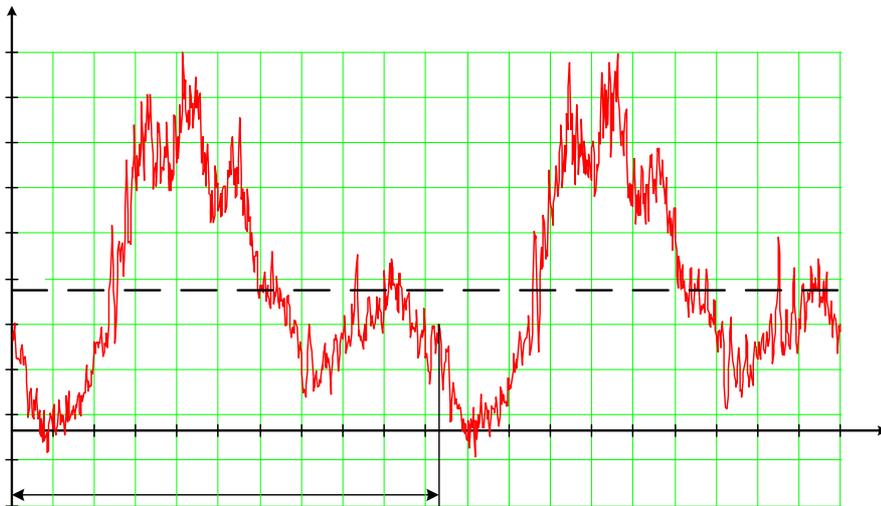


Рисунок 1 – Ваттметрограмма ШГНУ

Потребление активной мощности штанговой установки характеризуется постоянной составляющей ВМГ

$$P_0 = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N P_{cp_i}, \quad (3)$$

где P_{cp_i} – дискретные значения активной (средней за период питающей сети) мощности; N – число отсчётов на периоде качания T_k (см. рис. 1).

Без особых доказательств понятно, что вычислению диагностических коэффициентов на основе ДПК должна предшествовать процедура определения периода ВМГ.

Кроме ВМГ, при контроле ШГНУ также используются токограммы – изменение действующего значения тока во времени (см. рис. 2а); варметро-

граммы – изменение потребляемой ШГНУ реактивной мощности во времени (см. рис. 2б); вольтамперметрограммы – изменение полной мощности на входе ШГНУ во времени (см. рис. 2в); омметрограммы – изменение модуля входного сопротивления во времени (см. рис. 2г).

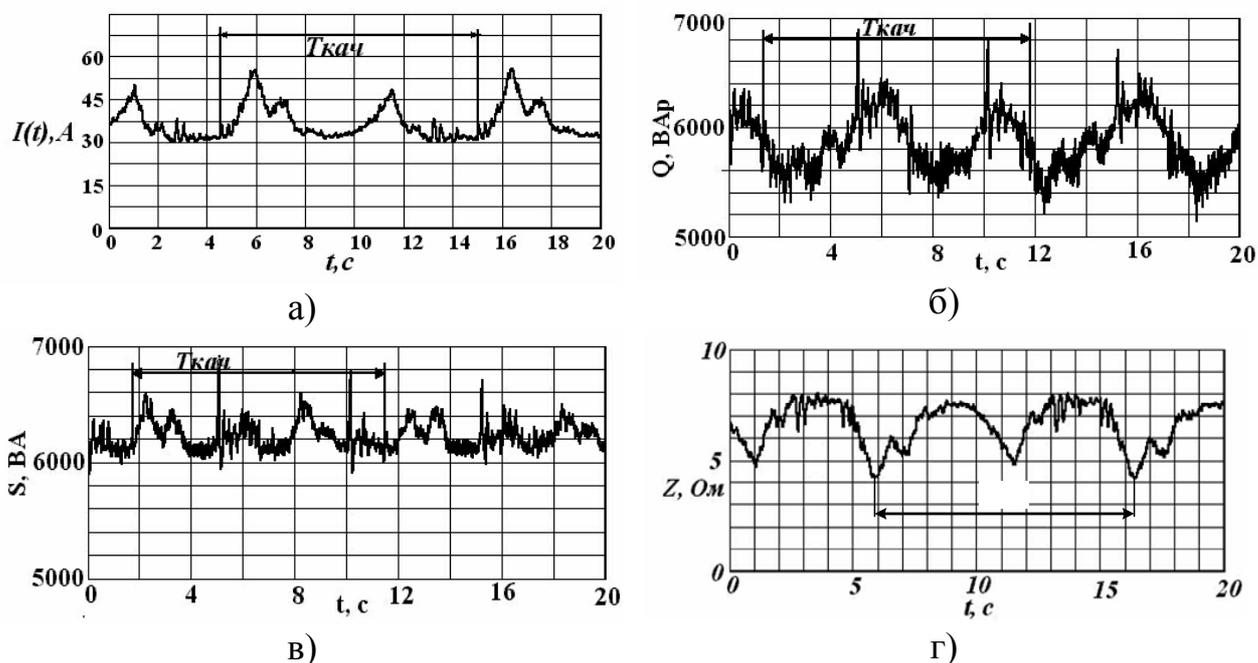


Рисунок 2 – Графические зависимости параметров уравновешенных ШГНУ

И здесь знание периода качания СК является принципиально необходимым. Напомним и то, что при неизвестном периоде сложного многочастотного сигнала затруднительно вычислить среднее и действующее значения сигнала, активную и неактивную мощности.

В ряде случаев величина периода может использоваться как основная информативная компонента при передаче и распознавании телеметрической информации, использующейся при дистанционном функциональном контроле и диагностике насосного оборудования на нефтепромыслах.

В известных работах совершенно недостаточно рассмотрены вопросы определения периода сложного сигнала при влиянии таких нежелательных факторов как присутствие в рассматриваемом сигнале постоянной составляющей, кратных и промежуточных гармоник (иногда называемых интергармониками, не кратных основной по частоте, которые могут наблюдаться при работе статических преобразователей частоты, асинхронных двигателей, асинхронных преобразовательных каскадов, дуговых печей, сварочных установок и других нагрузок), фазовых сдвигов. В реальных системах всегда присутствуют помехи и, в частном случае, шумы. По этой причине учёт возможных шумов и помех является неотъемлемым этапом разработки алгоритмического и программного обеспечения для какого-либо конкретного аппаратно-программного комплекса.

Таким образом, актуальность темы определяется необходимостью разработки алгоритмического и программного обеспечения процедур определения периода сложных сигналов в условиях воздействия рассмотренных выше

нежелательных факторов для функционального контроля и диагностики насосного оборудования на нефтепромыслах по диагностическим коэффициентам на основе использования аппарата преобразования Фурье на коротких выборках, а также при организации дистанционного контроля и диагностики.

Целью диссертационной работы является: разработка методик и алгоритмов определения периода сложных сигналов и их применение в задачах функционального контроля и диагностики насосного оборудования на нефтепромыслах по диагностическим коэффициентам, получаемых на основе преобразования Фурье; исследование работоспособности этих методик и возможности использования величины периода в качестве основной информативной компоненты при дистанционном контроле и диагностике насосного оборудования.

Для достижения указанной цели требуется решить следующие задачи:

1. создания тестовых сигналов;
2. разработки алгоритмического и программного обеспечения процедуры определения периода сложных сигналов при условиях воздействия описанных выше нежелательных факторов;
3. тестирования разработанных процедур поиска периода с помощью тестовых сигналов;
4. апробации разработанных процедур поиска периода с помощью реальных сигналов;
5. разработки алгоритмического и программного обеспечения вычисления диагностических коэффициентов на основе ДПФ с предварительным определением периода анализируемых сигналов и его тестирование с помощью тестовых и реальных сигналов;
6. тестирования ДПФ с предварительным определением периода с помощью тестовых и реальных сигналов.

Методы исследования. Для решения поставленных в работе задач используются методы теории цифровой обработки информации: численное моделирование, сглаживание и фильтрация временных последовательностей данных, гармонический анализ. Обработка экспериментального материала производилась на ЭВМ с использованием алгоритмов и программ, разработанных автором.

Научная новизна полученных в работе результатов состоит в следующем:

1. При решении задачи поиска периода сложных сигналов впервые рассматривалось совокупное влияние таких нежелательных факторов как наличие в рассматриваемых сигналах постоянной составляющей, кратных и промежуточных гармоник, фазовых сдвигов между гармоническими составляющими, шума.
2. Впервые рассмотрена реализация комплексного дискретного преобразования Фурье совместно с процедурой предварительного определения периода сложных сигналов.
3. Проведены исследования по возможности использования величины периода в качестве основной информативной компоненты при передаче и рас-

познавании информации в частотных системах и получены не описанные ранее в научно-технической литературе результаты.

Практическая ценность работы состоит в том, что:

1. Разработаны оригинальные методики определения периода сложных сигналов, которые в последующем нашли применение при составлении трёх заявок на получение патентов РФ, характеризующих оригинальную конкурентоспособную продукцию, а также при разработке лабораторных работ по курсу «Информационное обеспечение управления энергосистемами» работ, использованных в учебном процессе в ТПУ.

2. Разработано алгоритмическое и программное обеспечение оригинальных методик определения периода сложных сигналов и ДПФ, совмещённого с процедурой определения периода; произведено тестирование программного продукта на реальных и тестовых сигналах и получены свидетельства на регистрацию данных программ.

3. Метод определения периода по средним квадратическим отклонениям нашёл применение при разработке программного обеспечения системы функционального контроля и диагностики штанговых глубинных насосных установок.

Реализация результатов работы. Созданы алгоритмы и программы поиска периода сложных сигналов, вычисления диагностических коэффициентов на основе преобразования Фурье, совмещённого с процедурой определения периода сложных сигналов при функциональном контроле и диагностике насосного оборудования на нефтепромыслах.

Апробация работы. Основные результаты диссертации были изложены и обсуждены на ряде научных конференциях: 7 Всероссийской научно-технической конференции «Энергетика: экология, надёжность, безопасность» (Томск, 2001); 7 Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Современные техника и технологии» (Томск, 2001); 8 Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Современные техника и технологии» (Томск, 2002); Международной конференции ЕЕССЕС-2003 (Екатеринбург, 2003); Международной конференции IWK-2003 (Ильменау, ФРГ, 2003).

Публикации. По результатам диссертационной работы опубликовано 16 работ, из которых 3 патента РФ, 1 монография, 5 свидетельств о регистрации программных продуктов. Перечень работ прилагается.

Структура и объём работы. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, и заключения, изложенных на 94 страницах машинописного текста, содержит 41 рисунок, 14 таблиц. Библиографический перечень используемой литературы включает 82 наименования. Приложение содержит сведения о полученных патентах РФ и свидетельствах о регистрации программных продуктов, акт о внедрении и справки об использовании научных исследований диссертационной работы, краткое описание программного комплекса «Контроль и диагностика штанговых глубинных насосных установок по мгновенным значениям тока и напряжения» и занимает 25 страниц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность выбранного направления исследований и сформулированы цель и задачи работы.

В первой главе даётся общая характеристика состояния проблемы определения периода сложного сигнала и диагностических коэффициентов при функциональном контроле и диагностике насосного оборудования на нефтепромыслах. Приводится сравнительная оценка методик функционального контроля и диагностики штанговых глубинных насосных установок (ШГНУ) – динамометрии и ваттметрии. Показаны преимущественные стороны использования ваттметрии, оперирующей только с мгновенными значениями тока и напряжения, получаемыми с помощью сравнительно простых датчиков тока и напряжения без вывода насосного оборудования из рабочего режима. Показана необходимость поиска периода сложного сигнала при:

- определении периода качания станка качалки по ваттметрограмме (токограмме, варметрограмме, вольтамперметрограмме, омметрограмме, фазограмме) для последующего вычисления диагностических коэффициентов на основе преобразования Фурье;
- определении средних и действующих значений;
- определении полной, активной и неактивной мощностей;
- использовании аппарата преобразования Фурье для определения спектрального состава сигнала – дискретного (ДПФ) и быстрого (БПФ);
- распознавании информации, передаваемой по цифровым каналам связи посредством частотных кодов.

Проведён анализ научно-технической литературы и предложена классификация методов определения периода сложных сигналов, использующих:

- нулевые переходы (экстремальные значения);
- среднее значение;
- различные вариации метода наименьших квадратов.

Рассмотрены факторы, затрудняющие определение периода сложных сигналов, а также основные требования к разрабатываемым методикам; выявление работоспособности предлагаемых процедур предлагается производить с помощью специально отобранных тестовых сигналов.

На основе проведённого анализа сформулированы основные задачи исследований:

- создание тестовых сигналов;
- разработка алгоритмического и программного обеспечения процедуры определения периода сложных сигналов при условиях воздействия описанных выше нежелательных факторов;
- тестирование разработанных процедур поиска периода с помощью тестовых и реальных сигналов;
- разработка алгоритмического (АО) и программного обеспечения (ПО) дискретного преобразования Фурье с предварительным определением периода анализируемых сигналов; тестирование АО и ПО с помощью тестовых и реальных сигналов;

- разработка алгоритмического и программного обеспечения вычисления диагностических коэффициентов на основе ДПФ с предварительным определением периода анализируемых сигналов; его тестирование с помощью тестовых и реальных сигналов.

В диссертационной работе предполагается, что входной сигнал уже оцифрован с частотой дискретизации 10 кГц, т.е. $\Delta t = 10^{-4}$ секунд, и пользователь оперирует массивом цифровых отсчётов интересующего его сигнала в установившемся режиме. При этом сам процесс оцифровки может быть представлен структурной схемой так называемого цифрового регистратора на рисунке 3.

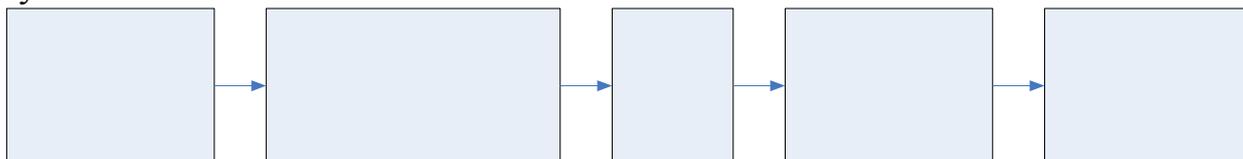


Рисунок 3 – Структурная схема цифрового регистратора

Во второй главе рассматриваются возможные пути определения периода сложного сигнала по нулевым переходам, то есть отыскание интервала времени, заключённого между двумя переходами рассматриваемого сигнала $u(t)$ из положительной области в отрицательную или наоборот (см. рис. 4).



Рисунок 4 – Иллюстрация метода нахождения периода сигнала по нулевым переходам

Рассмотрен разработанный автором метод определения периода T_c сложного сигнала $u(t)$ по нулевым переходам, усиленный проверкой на периодичность

$$u(t) = u(t + T_c) \quad (4)$$

и дополненный алгоритмом учёта постоянной составляющей A_0 , включающий следующие операции:

$$u(t),$$

$$B$$

- из исходного сигнала вычитается значение первого цифрового отсчёта для того, чтобы войти в зону действия амплитуды данного сигнала (эта процедура предусматривает возможность действия настолько большого значения A_0 , что нулевых переходов в сигнале может и не быть);
- находим первый переход сигнала через нулевой уровень и от него отмеряем ещё несколько нулевых переходов (в данном случае использовались четыре перехода сигнала через нулевой уровень);
- вычисляем математическое ожидание сигнала на найденном временном интервале по формуле

$$m_x = \frac{1}{N_{зад}} \cdot \sum_{i=t_0}^{t_N} u(t_i), \quad (5)$$

где t_0 – значение времени при первом переходе сигнала через нулевой уровень;

t_N – значение времени при N -ом переходе сигнала через нулевой уровень;

$N_{зад}$ – число цифровых отсчётов, находящихся в интервале между первым и N -м переходами сигнала через нулевые уровни;

$u(t_i)$ – анализируемый сигнал;

- вычитаем из исходного сигнала найденное значение A_0 .

Показана трансформация критерия (1) в

$$u(t) \pm \xi = u(t + Tc), \quad (6)$$

для учёта влияния шума, где величина ξ представляет собой максимальный уровень возможного шума, при котором критерий (4) ещё работоспособен.

При исследованиях автором использовался белый центрированный шум (математическое ожидание и дисперсия равны нулю), уровень которого привязывался к амплитуде основной гармоники обрабатываемого сигнала

$$R = \frac{U_{осн} - U_{ш}}{U_{осн}} \cdot 100\%. \quad (7)$$

Напомним, что такой шум достаточно просто реализуется в различных программных средах высокого и низкого уровней с помощью генератора случайных чисел согласно равномерному закону распределения

$$p_{\xi}(x) = \begin{cases} \frac{1}{d-c}, & x \in [c, d]; \\ 0, & x \notin [c, d], \end{cases} \quad (8)$$

где $p_{\xi}(x)$ – плотность распределения случайной величины ξ на отрезке $[c, d]$.

Работоспособность предложенного метода определения периода сложного сигнала была проверена на ряде тестовых сигналов (см. табл. 1). Выявлена возможность обрабатывать сигналы произвольной формы и спектрального состава с уровнем шумов не более 1% от амплитуды основной гармоники. На примере тестового сигнала №7 из таблицы 1 показана возможность снижения влияния шумов с помощью экспоненциального фильтра третьего порядка ($R \leq 20\%$ при $\delta Tc \leq 1.5\%$).

Таблица 1 – Таблица тестовых сигналов

№	A_0, B	A_1, B	A_2, B	A_3, B	$f_1, Гц$	$f_2, Гц$	$f_3, Гц$	$\varphi_1, град$	$\varphi_2, град$	$\varphi_3, град$	T_c, c
1	–	1	–	–	50	–	–	–	–	–	0.02
2	–	100	–	–	50	–	–	137	–	–	0.02
3	–	1	1	1	50	100	150	–	–	–	0.02
4	–	100	50	10	50	100	150	–	–	–	0.02
5	37	100	50	10	50	100	150	–	23	57	0.02
6	100	100	50	10	50	100	150	30	60	90	0.02
7	53	100	50	10	50	100	150	47	28	143	0.02
8	-95	100	50	10	50	100	150	47	28	143	0.02
9	100	100	50	10	50	100	150	93	157	208	0.02
10	150	100	50	10	50	100	150	75	23	57	0.02
11	–	1	1	1	50	150	250	–	–	–	0.02
12	17	1	1	1	50	150	250	93	157	208	0.02
13	–	1	1	1	48	144	240	–	–	–	0.02083(3)
14	13	1	1	1	48	144	240	195	21	177	0.02083(3)
15	10	10	10	10	50	105	130	–	–	–	0.2
16	10	100	50	20	50	150	212	90	120	135	0.5
17	10	100	50	20	50	105	240	90	120	135	0.2
18	150	100	50	10	50	100	155	38	95	139	0.2
19	150	100	100	50	37	50	100	237	43	137	1
20	10	100	50	20	49	153	212	180	135	60	1
21	27	10	5	2	50	150	212	300	120	315	0.5
22	7	3	5	1	51	130	135	90	180	135	1
23	3.7	7	5	1.5	53	159	190	315	135	180	1
24	27.3	4.5	5	3.5	49.5	159	190	45	135	180	2
25	59.4	3.7	5.5	10	53.1	159	199	123	135	180	10
26	75	15	10	5	50.2	100	133	35	27	352	5
27	75	10	15	5	49.8	100	133	81	257	352	5
28	75	5	10	15	55	153	157	57	135	51	1
29	75	1	5	15	53	175	273	33	135	37	1
30	100	1	1	1	5	8.66	11.18	–	–	–	50

Оценивание погрешности вычислений производилось по формулам

$$\delta X = \frac{\sum_1^{Mon} \left| \frac{X_{изв} - X_{расч}}{X_{изв}} \right| \cdot 100\%}{Mon}; \quad (10)$$

$$CKO = \frac{\sum_1^{Mon} \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^{N-1} (U_{изв_i} - U_{расч_i})^2}{N}}}{Mon}, \quad (11)$$

где δX , $X_{изв}$ и $X_{расч}$ – относительная усреднённая погрешность, известное и расчётное значения искомой величины соответственно; CKO – среднее квадратическое отклонение, усреднённое для заданного числа экспериментов Mon ; $U_{изв_i}$ и $U_{расч_i}$ – тестовый и расчётный сигналы соответственно.

В третьей главе рассматриваются вопросы определения периода сложного сигнала на основе анализа его среднего значения. Показана целесообразность использования разработанной автором итерационной формулы

$$Y_0 = U_0; Y_i = \frac{Y_{i-1} \cdot i + U_i}{i+1} \quad (9)$$

поиска интервала времени между двумя локальными минимумами (см. рис. 5) среднего значения рассматриваемого сигнала при определении его периода, где U_0 – первый отсчёт рассматриваемого сигнала.

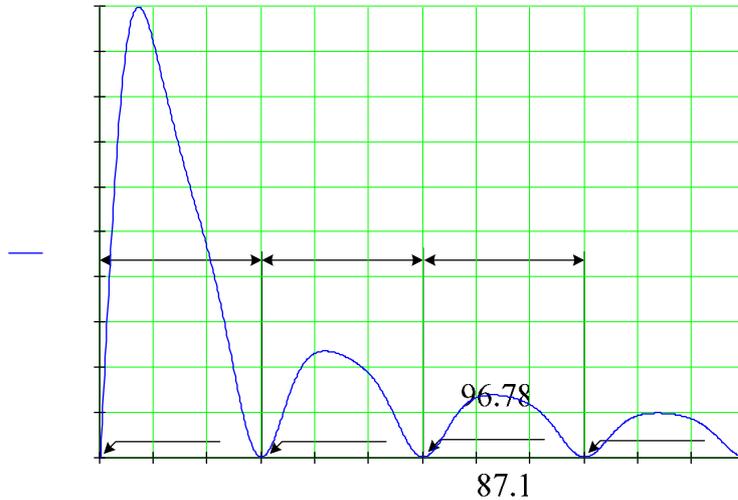


Рисунок 5 – Анализ кривой среднего значения анализируемого сигнала

На ряде примеров показана возможность обработки одночастотных и многочастотных сигналов с кратными гармониками, амплитуды которых (кроме первой) не должны превышать половины амплитуды основной гармоники при присутствии в этих сигналах любого фазового сдвига и постоянной составляющей любой величины и знака.

Одновременно показывается, что предлагаемая методика обеспечивает высокую помехоустойчивость поиска Tc ($R \leq 60\%$ при погрешности определения для сложных сигналов $\delta Tc \leq 5\%$ от истинной величины), не содержащих промежуточных гармоник; в другом случае – неработоспособность методики и выдача ложных результатов. Обосновывается вывод о невозможности использования среднего значения для поиска периода сложного сигнала, в состав которого входят промежуточные (не кратные основной по частоте) гармоники. На примере тестового сигнала №7 из таблицы 1 показана возможность снижения влияния шумов с помощью экспоненциального фильтра третьего порядка ($R \leq 40\%$ при $\delta Tc \leq 1.5\%$).

Работоспособность данной методики была исследована с использованием ряда тестовых сигналов из таблицы 1.

В четвёртой главе показывается возможность использования метода наименьших квадратов (МНК) при поиске периода сложного сигнала с произвольным спектральным составом. Разработанный автором метод определения периода сложного сигнала, основанный на МНК, заключается в отыскании минимума из массива средних квадратичных отклонений (дисперсий) D_j (см. рис. 6), сформированного путём сравнения начального подмассива, представляющего собой первые несколько отсчётов рассматриваемого сигнала, и сравниваемого подмассива такого же размера, сдвинутого относительно начального на фиксированный интервал времени:

0	0.0067	0.0133	0.02	0.0267	0.0333	0.04
			$t=0.02 c$			
				$t=0.02 c$		
						t_i

$$D_j = \sqrt{\frac{1}{b+1} \cdot \sum_{m=0}^b [U(t_m) - U(t_{m+j})]^2}, \quad (12)$$

где $U(t_m)$ – m -ый отсчёт начального подмассива рассматриваемого сигнала; $U(t_{m+j})$ – m -ый отсчёт сравниваемого подмассива рассматриваемого сигнала; $j \in [n_{\min}; n_{\max}]$ – параметр сдвига сравниваемого подмассива; n_{\min} и n_{\max} – минимальная и максимальная граница ожидаемой области нахождения величины периода; b – количество точек сравнения.

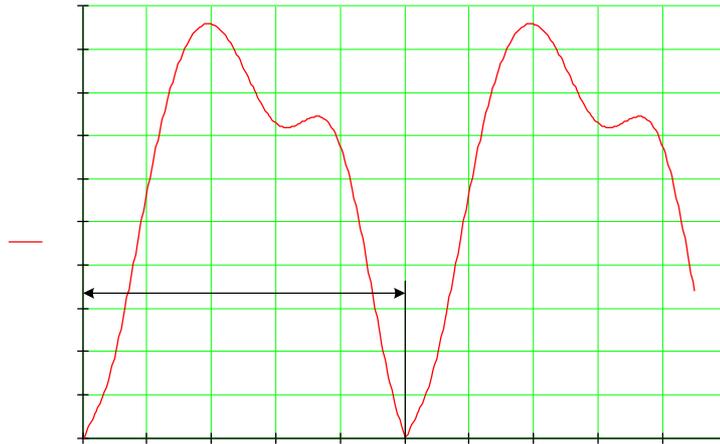


Рисунок 6 – Массив дисперсий

250

Показана универсальность предлагаемой методики: представляется возможным обрабатывать сигналы без промежуточных гармоник с высоким уровнем помех ($R = 50\%$ с погрешностью определения $\delta Tc \leq 6\%$ от истинной величины), а с промежуточными гармониками – с малым уровнем помех $R \leq 1\%$. Знание ожидаемой области нахождения величины Tc позволяет рассматривать сигналы с промежуточными гармониками на фоне более высокого уровня помех, повысить точность определения Tc , а также снизить вычислительные, аппаратные и временные затраты, необходимые для реализации данной методики. На примере тестового сигнала №7 из таблицы 1 показана возможность снижения влияния шумов с помощью экспоненциального фильтра третьего порядка ($R \leq 50\%$ при $\delta Tc \leq 3.5\%$).

Проведён сравнительный анализ традиционного ДПФ (при известной величине Tc) с ДПФ, совмещённым с процедурой предварительного определения Tc . Исследовано влияние шума на точность ДПФ по (10), (11) при различной реализации $L\{u(t)\}$ рассматриваемого сигнала $u(t)$ (см. рис. 7). Рассмотрено определение диагностических коэффициентов на основе ДПФ, совмещённого с процедурой определения периода рассматриваемого сигнала на коротких выборках; показана целесообразность такого совмещения.

На примере реальных массивов данных иллюстрируется работоспособность ДПФ с предварительным определением периода анализируемого сигнала и дальнейшим вычислением диагностических коэффициентов для функционального контроля и диагностики насосного оборудования на нефтепромыслах.

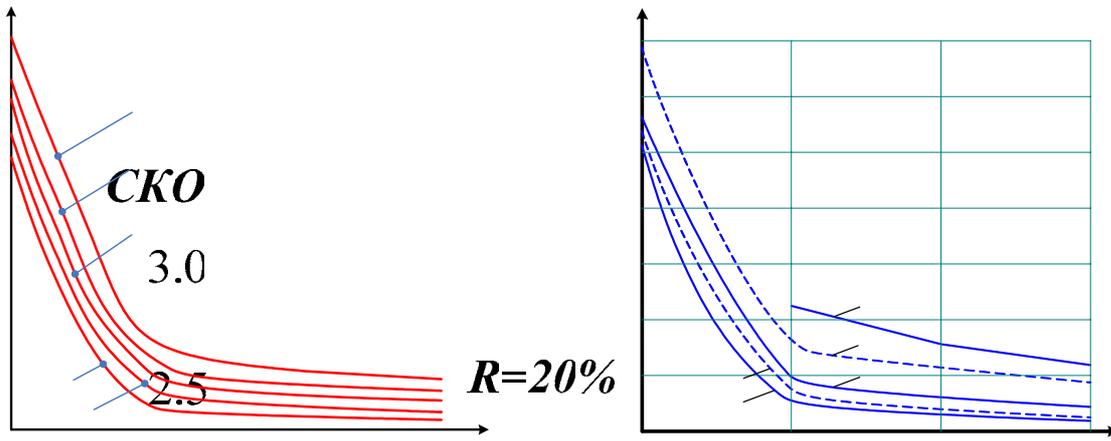


Рисунок 7 – Влияние шумов на: а) СКО при $L\{u(t)\} = m \cdot Tc \pm \Delta t$; б) $\square U_0, \square U_1$ при $L\{u(t)\} = m \cdot Tc \pm \Delta t$: 1 – $\square U_1$ при $R = 15\%$; 2 – $\square U_0$ при $R = 15\%$; 3 – $\square U_1$ при $R = 5\%$; 4 – $\square U_0$ при $R = 5\%$; 5 – $\square U_0$ при $R = 0$

Рассмотрены случаи исследования ВМГ, полученных со скважин №850 (см. рисунок 8а) и №1722 (см. рис. 9а) при диагностировании насосных нефтяных установок на одном из нефтепромыслов Западной Сибири.

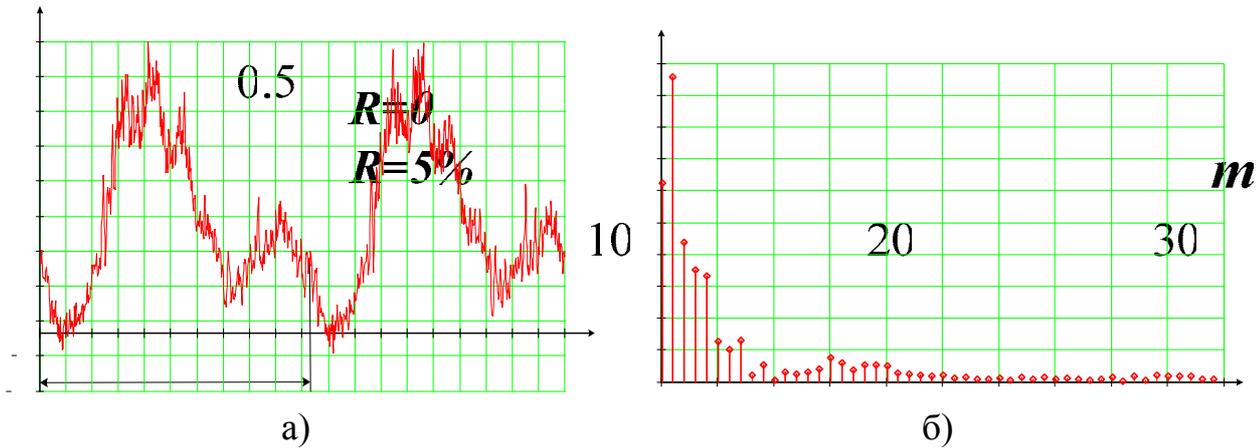


Рисунок 8 – Исследование скважины №850 с уравновешенным СК:
а) ВМГ; б) АЧХ

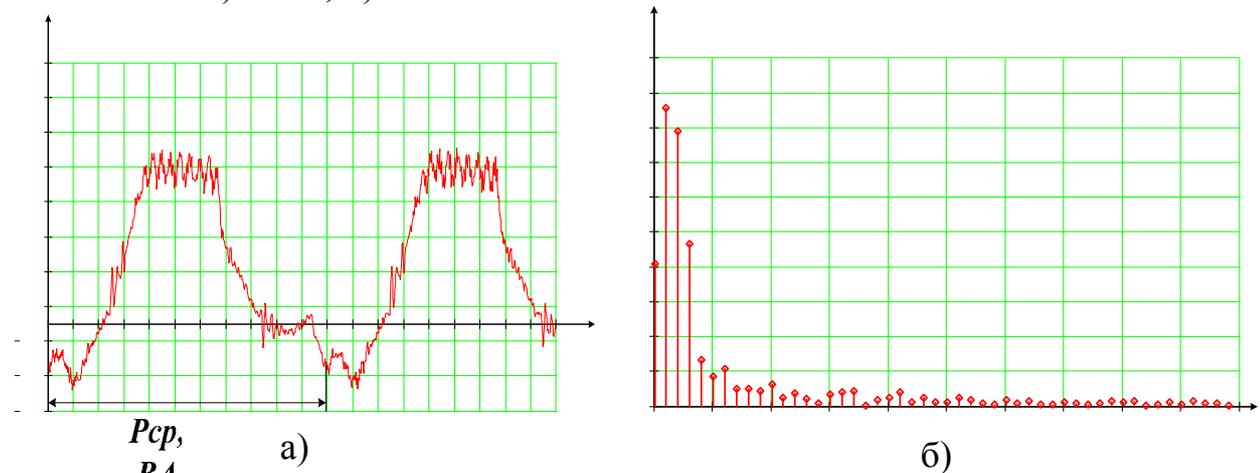


Рисунок 9 – Исследование скважины №1722 с неуравновешенным СК:
а) ВМГ; б) АЧХ

$P_{cp},$
 BA
5000
4400
3800
3200

$P,$
 $Вт$
3000
2700
2400
2100

Применяя рассмотренный в главе метод определения величины периода для ВМГ, был найден период качания СК и по найденной с помощью ДПФ амплитудно-частотной характеристике (АЧХ) определены диагностические коэффициенты (см. табл. 2).

Таблица 2 – Результаты сравнения гармонических составляющих для ВМГ

Скважина	P_0/P_1	P_0/P_2	P_2/P_1
№850	0.652	1.427	0.457
№1722	0.477	0.517	0.922

Рассматривается возможность использования периода сигнала в качестве основной информативной компоненты в системах телефонии, телеметрии и телесигнализации, и, в частности, при дистанционном контроле и диагностике насосного оборудования на нефтепромыслах (см. рис. 10).

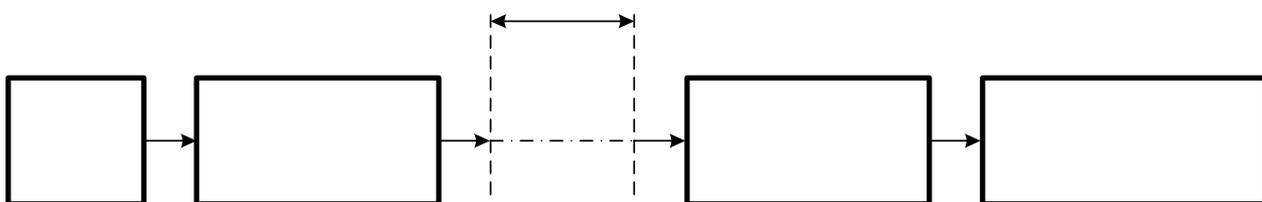


Рисунок 10 – Дистанционный контроль и диагностика ШГНУ или ЭЦНУ

Рассмотрена возможность использования величины T_c в качестве основной информативной компоненты при использовании частотных кодов на коротких выборках. Приведена выявленная однозначная зависимость периода двухчастотного сигнала с частотами его гармонических составляющих при использовании параллельных двухчастотных кодов (см. табл. 3).

Таблица 3 – Возможные комбинаций частот f_1 и f_2 , однозначно связанных с периодом сложного сигнала T_c

№№	Набор частот f_1 и f_2	T_c, C
1	850+1700	0.0011765
2	1650+1100	0.0018182
3	500+1500	0.002
4	450+900	0.0022222
5	1700+1275	0.0023529
6	385+770	0.0025974
7	1500+1125	0.0026667
8	1360+1700	0.0029412
9	1300+1625	0.0030769
10	900+1500	0.0033333
11	840+1400	0.0035714
12	1300+780	0.0038462
13	1250+1500	0.004
14	900+1575	0.0044444
15	1477+844	0.0047393

Кан
св

ШГНУ, Частотное
ЭЦНУ, кодирование

При этом если из имеющегося набора частот, предназначенных для передачи информации в частотных системах выбрать такие частоты, общий период сигнала которого будет строго индивидуален этому набору частот, то процедуру дешифрации можно осуществлять не по частотам, а по периоду принимаемого сигнала, что даёт существенный выигрыш в быстродействии работы и аппаратной реализации устройства дешифрации принимаемой информации.

Заключение и выводы:

1. Подобраны разнообразные тестовые сигналы, с помощью которых, по мнению автора, можно дать исчерпывающую оценку работоспособности любых методик определения периода полигармонических сигналов.

2. Предложена классификация методик определения периода сложных сигналов. Применительно к задаче определения периода сложных сигналов впервые было рассмотрено совокупное влияние и воздействие постоянной составляющей, кратных и промежуточных гармоник, фазовых сдвигов между гармоническими составляющими и шума на возможность и точность определения величины T_c .

3. Рассмотренные в диссертации методы определения периода сложных сигналов характерны различной способностью обрабатывать сигналы с произвольным спектральным составом (универсальностью) и требуют различные затраты на вычисления. По степени возрастания универсальности и вычислительных затрат автор предлагает следующее расположение методик, использующих анализ: 1) нулевых переходов; 2) среднего значения; 3) средних квадратичных отклонений. «Золотой серединой» при этом является метод, основанный на использовании среднего значения рассматриваемого сигнала, проявивший себя как достаточно быстродействующий и способный обрабатывать сигналы без промежуточных гармоник с большим уровнем шумов. Если же имеется предположение о возможном присутствии промежуточных гармоник в исходном сигнале при низком уровне шумов, то следует отдать предпочтение методу определения величины T_c по нулевым переходам при существенных ограничениях на аппаратные ресурсы, а в ином случае – методу, основанному на анализе средних квадратических отклонений.

4. При исследованиях величина периода дискретизации Δt рассматривалась автором, равной 10^{-4} с. Однако Δt может выбираться максимально возможным при соблюдении условий теоремы Котельникова. Помимо этого в случае использования метода поиска T_c по нулевым переходам для получения достоверных результатов необходимо учесть условие кратности величин Δt и T_c , в случае невыполнения которого целесообразней выбрать иной метод определения периода вместо привлечения дополнительных алгоритмов пере-дискретизации исходного сигнала.

5. Проведено комплексное исследование определения спектрального состава анализируемых сигналов по ДПФ, совмещённого с процедурой определения T_c на коротких выборках.

6. Функциональный контроль и диагностику ШГНУ целесообразно проводить на коротких выборках (до двух периодов качания СК). По этой при-

чине вычисление диагностических коэффициентов на основе ДПФ необходимо дополнить процедурой определения периода качания СК. Ввиду этого разработанное и протестированное на тестовых и реальных сигналах алгоритмическое и программное обеспечение рассмотренных в диссертации процедур определения периода сложных сигналов при условии воздействия нежелательных факторов (постоянная составляющая, кратные и промежуточные гармоники, фазовые сдвиги между гармоническими составляющими, шум) позволяет судить о возможности внедрения данных методик в реальные системы функционального контроля и диагностики насосного оборудования, основанное на анализе диагностических коэффициентов. Диагностические коэффициенты в свою очередь предполагается вычислять по ваттметрограммам, вольтамперметрограммам, варметрограммам, токограммам, омметрограммам и фазограммам.

7. Рассмотрена и показана возможность использования величины периода сигнала в качестве информативной компоненты при дистанционном контроле и диагностике насосного оборудования.

Основные материалы диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Гольдштейн Е.И., Ли Д.В. Дискретное преобразование Фурье по коротким выборкам при наличии шумов // Измерительная техника. – 2004. – №4. – с. 11-14.

2. Гольдштейн Е.И., Ли Д.В., Сулайманов А.О. Определение периода и реактивной мощности в электромеханических устройствах при несинусоидальных токах и напряжениях // 38 Вестник УГТУ-УПИ. Электромеханические и электромагнитные преобразователи энергии и управляемые электромеханические системы: Сборник статей. Ч. 1: Общие вопросы электрических машин и трансформаторов. Машинно-вентильные системы. Вопросы диагностики. – Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2003. – №5 (25). – с. 330-333.

3. Ли Д.В. Определение периода как информационной компоненты при передаче и распознавании информации // Материалы седьмой Всероссийской научно-технической конференции «Энергетика: экология, надёжность, безопасность». – Томск: Изд. ТПУ, 2001. – Т.1. – с. 258–260.

4. Ли Д.В. Определение периода сложных периодических колебаний, представленных цифровыми отсчётами // Современная техника и технологии: труды седьмой международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных. – Томск: Изд. ТПУ, 2001. – Т.2. – с. 30–32.

5. Ли Д.В. Определение постоянной составляющей сигнала, представленного массивом цифровых отсчётов при наличии шумов // Материалы седьмой Всероссийской научно-технической конференции «Энергетика: экология, надёжность, безопасность». – Томск: Изд. ТПУ, 2001. – Т.2. – с. 104–105.

6. Функциональный контроль и диагностика электротехнических и электромеханических систем и устройств по цифровым отсчетам мгновенных значений токов и напряжений / В.С. Аврамчук, Н.Л. Бацева, Е.И. Гольд-

штейн, И.Н. Исаченко, Д.В. Ли, А.О. Сулайманов, И.В. Цапко // Под ред. Е.И. Гольдштейна. Томск: Печатная мануфактура, 2003. – 240с.

7. Пат. 2189703 РФ, 7 Н 04 Q 1/457, Н 04 В 3/46, Н 04 L 27/10. Способ передачи и приёма кодовых комбинаций / Е.И. Гольдштейн, Д.В. Ли // Бюл. изобрет. – 2002. – №26.

8. Пат. 2208293 РФ, 7 Н 03 М 1/00, Н 04 L 27/10. Способ передачи и распознавания двоичной информации / Е.И. Гольдштейн, Д.В. Ли // Бюл. изобрет. – 2003. – №19.

9. Пат. 2226696 РФ, 7 G 01 R 23/02. Способ определения периода много-частотного сигнала, представленного в цифровой форме / Е.И. Гольдштейн, Д.В. Ли // Бюл. изобрет. – 2004. – №10.

10. Свидетельство №2001611047 РФ о регистрации программ для ПЭВМ. Программа вычисления периода сложного периодического сигнала / Ли Д.В. // Оpubл. 20.08.01.

11. Свидетельство №2002610401 РФ о регистрации программ для ПЭВМ. Программы вычисления периода гармонического сигнала по минимуму его среднего значения / Ли Д.В. // Оpubл. 25.03.02.

12. Свидетельство №2003611784 РФ о регистрации программ для ПЭВМ. Программа вычисления спектрального состава с помощью дискретного преобразования Фурье / Ли Д.В. // Оpubл. 25.07.03.

13. Свидетельство №2003611785 РФ о регистрации программ для ПЭВМ. Программа вычисления периода полигармонического сигнала по минимумам его среднего значения / Ли Д.В. // Оpubл. 25.07.03.

14. Свидетельство №2003611786 РФ о регистрации программ для ПЭВМ. Программа вычисления периода полигармонического сигнала по среднеквадратической оценке / Ли Д.В. // Оpubл. 25.07.03.

15. E. Goldstein, D. Lee, B. Valov. Diskrete Fourier-transformation mit vorbestimmung der periode von grundschwingung bei untersuchungen der spannungsqualitat // 48 Internationales Wissenschaftliches Kolloquium. Technische Universitat Ilmenau. 22.-25.09.2003 pp. 571-572.

Е.И. Гольдштейн, Д.В. Ли, Б.М. Валов. Дискретное преобразование Фурье с предварительным определением периода анализируемого сигнала // 48 Международный научный коллоквиум. – Ильменау: –2003. – с. 571-572.

16. Lee D.V. Determination of the compound signals period // Proceed. Of the 8th Inter. Scient. Conf. «Modern Technique and Technologies» (MTT` 2002), Tomsk, TPU, pp. 20-21, 2002.

Ли Д.В. Определение периода сложных сигналов // Современные техника и технологии: труды восьмой международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных. – Томск: Изд. ТПУ, 2002. – с. 20-21.