

На правах рукописи

Греков Сергей Вячеславович

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ЗАБОЙНЫХ
ПАРАМЕТРОВ ПРИ БУРЕНИИ МОРСКИХ СКВАЖИН**

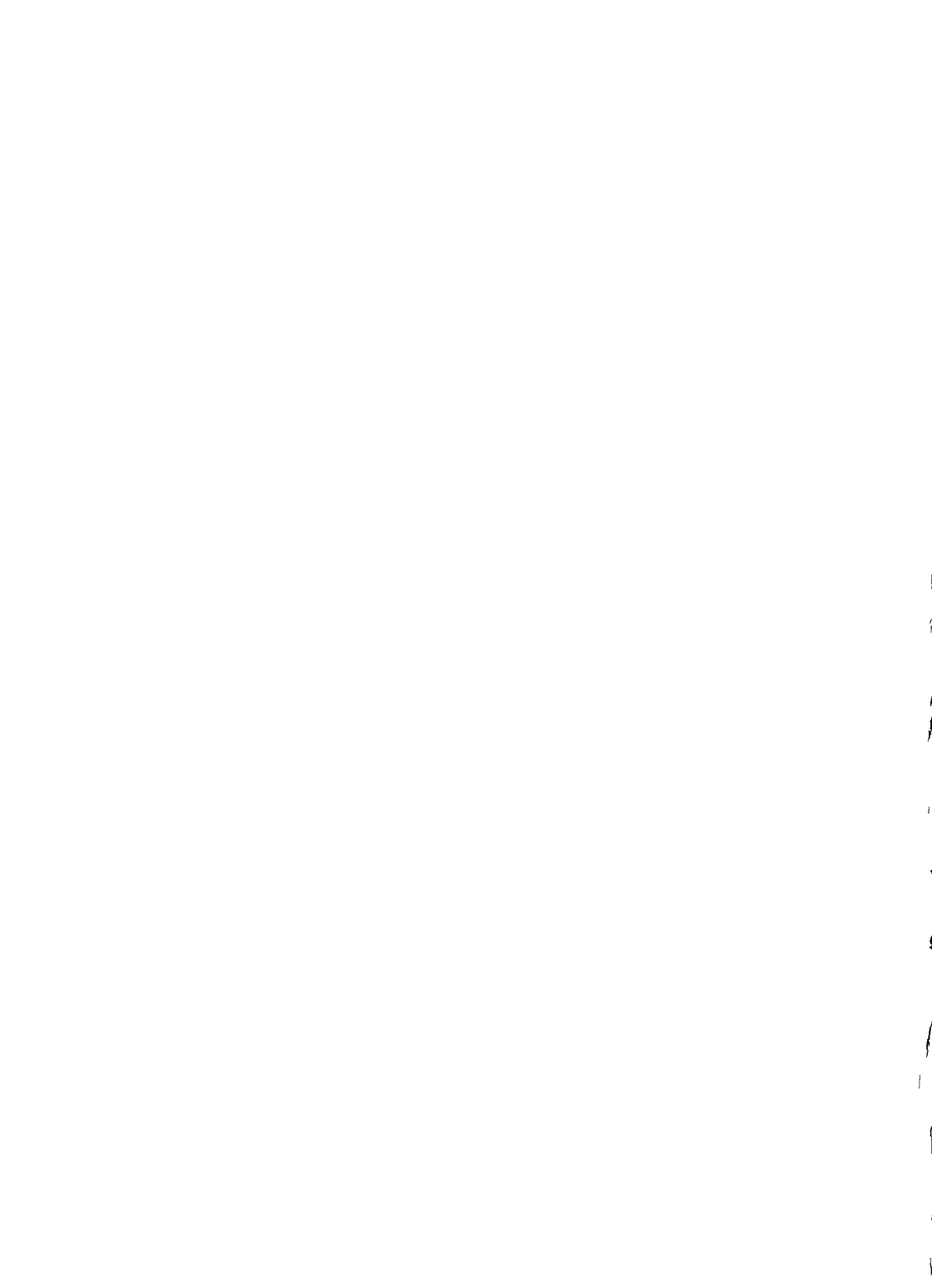
**Специальность: 25.00.18 - "Технология освоения морских месторождений полезных
ископаемых "**

Автореферат

**диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук**



Москва – 2005



2006-4

17424

На правах рукописи

Греков Сергей Вячеславович

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ЗАБОЙНЫХ
ПАРАМЕТРОВ ПРИ БУРЕНИИ МОРСКИХ СКВАЖИН**

**Специальность: 25.00.18 - "Технология освоения морских месторождений полезных
ископаемых "**

Автореферат

диссертации на соискание учёной степени

кандидата технических наук



Москва – 2005

2188130

Работа выполнена в Обществе с ограниченной ответственностью «Научно-исследовательский институт природных газов и газовых технологий – ВНИИГАЗ».

Научный руководитель:

к. т. н. Вольгемут Э.А.

Официальные оппоненты:

д.т.н., профессор Оганов С.А.
к.ф.-м.н. Устинов К.Б.

Ведущая организация:

ООО «Газфлот»

Защита состоится «21» декабря 2005г. в 13 час. 30 мин.
на заседании диссертационного совета Д 511.001.01 при ООО «ВНИИГАЗ»
по адресу: 142717, Московская область, Ленинский район,
пос. Развилка, ВНИИГАЗ.

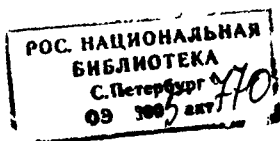
С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ООО «ВНИИГАЗ».

Автореферат разослан «16» ноября 2005г.

Учёный секретарь
диссертационного совета,
д.г.-м.н.



Н.Н. Соловьев



ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы Эффективность освоения морских нефтегазовых месторождений в значительной мере зависит от совершенства техники и технологии бурения скважин с большими отклонениями стволов от вертикали и с горизонтальными участками сравнительно большой протяженности. Бурение таких скважин осуществляется, как правило, с применением телеметрических систем контроля забойных параметров непосредственно в процессе бурения с использованием преимущественно гидравлического канала связи. В настоящее время в России телеметрические системы с гидравлическим каналом связи серийно не выпускаются, поэтому их вынужденно заказывают за рубежом. Создание и организация производства отечественных телеметрических систем является важной и актуальной задачей, решение которой позволит значительно сократить капитальные и эксплуатационные затраты на освоение нефтегазовых месторождений континентального шельфа РФ.

Целью диссертационной работы является разработка моделей и методов анализа телеметрической системы контроля забойных параметров процесса бурения морских скважин с гидравлическим каналом связи.

Основные задачи исследований

1. Разработка метода анализа динамических характеристик телеметрической системы контроля забойных параметров бурения морских скважин с гидравлическим каналом связи;
2. Разработка математической модели и основных параметров передатчика гидравлических импульсов;
3. Разработка и обоснование метода выделения гидравлического сигнала на поверхности на фоне помех в гидравлическом канале связи при бурении морских скважин;
4. Обоснование основных параметров рабочего режима передающего модуля телесистемы с учетом его влияния на устойчивость работы гидравлических забойных двигателей различного типа и их воздействия на параметры гидравлического сигнала;
5. Разработка пакета прикладных программ, включая пользовательские интерфейсы палубного модуля управления телеметрической системы контроля забойных параметров бурения морских скважин.

Научная новизна

Разработан метод анализа динамических характеристик телеметрической системы контроля забойных параметров бурения морских скважин с

гидравлическим каналом связи, позволяющий обосновать влияние параметров гидравлической линии на прием забойной информации. Разработана математическая модель и определены основные параметры передатчика гидравлических импульсов, позволяющие повысить частоту передачи забойной информации. Разработан метод распознавания гидравлического сигнала на поверхности на фоне помех в гидравлическом канале связи при бурении морских скважин. Обоснованы основные параметры рабочего режима передающего модуля телеметрической системы с учетом его влияния на устойчивость работы гидравлических забойных двигателей различного типа и их воздействия на параметры гидравлического сигнала. Разработан пакет программ палубного модуля управления, включая пользовательские интерфейсы телеметрической системы контроля забойных параметров бурения морских скважин.

На защиту выносятся

- метод анализа динамических характеристик телеметрической системы контроля забойных параметров бурения морских скважин с гидравлическим каналом связи и математическая модель передатчика гидравлических импульсов;
- метод выделения гидравлического сигнала на поверхности на фоне помех в гидравлическом канале связи при бурении морских скважин;
- метод определения основных параметров рабочего режима передающего модуля телеметрической системы с учетом его влияния на устойчивость работы гидравлических забойных двигателей различного типа и их воздействия на параметры гидравлического сигнала;
- пакет прикладных программ, включая пользовательские интерфейсы палубного модуля управления телеметрической системы контроля забойных параметров бурения морских скважин .

Практическая ценность результатов работы

Результаты работы использованы при разработке «Технико-экономического обоснования организации работ в ООО «ВНИИГАЗ» по созданию информационно-измерительных систем контроля забойных параметров бурения морских наклонно-направленных и горизонтальных скважин» и в проекте «Центральной производственной и сервисной базы ООО «ВНИИГАЗ» для сборки, испытаний, метрологической аттестации и сертификации информационно-измерительных систем контроля забойных параметров бурения морских скважин». Результаты работы будут использованы для оптимизации количества скважин куста в проектах освоения

морских месторождений (Штокмановское ГКМ, Северо-Каменномысское и др.) в соответствии с утвержденной программой работ ОАО «ГАЗПРОМ» на шельфе РФ до 2030 года.

Апробация работы

Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на заседаниях секции Ученого Совета ООО «ВНИИГАЗ», научно-технических семинарах центра «Морские нефтегазовые месторождения». Отдельные положения диссертации докладывались на конференции, посвященной пятидесятилетию ООО «ВНИИГАЗ», и на встрече специалистов ООО «ВНИИГАЗ» и компании HYDRO (Осло, 2005), работающих в рамках программы совместных работ ООО «ВНИИГАЗ» и компании HYDRO.

Публикации

По теме диссертации опубликовано 5 работ.

Объем и структура работы

Диссертационная работа содержит введение, четыре главы, основные результаты с выводами, список использованной литературы из 65 наименований, изложена на 130 страницах машинописного текста и включает 49 рисунков и 9 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении приводится общая характеристика диссертационной работы, обоснована актуальность темы, сформулированы цель и главные задачи исследований, научная новизна и основные защищаемые положения.

В первой главе показано, что особенности морского бурения и вытекающие из них приоритетные задачи обуславливают необходимость применения систем контроля забойных параметров в процессе бурения. Выполнен обзор современных отечественных и зарубежных разработок в области телеметрических систем контроля забойных параметров, проанализированы их основные технические характеристики и область применения. На основании проведенного патентного поиска сделан прогноз о тенденциях дальнейшего развития телеметрических систем с различными каналами связи и отмечено, что в ближайшие годы маловероятно смещение приоритетов развития телеметрических систем от гидравлического канала связи в пользу канала какого-либо другого типа.

Проведен анализ публикаций, посвященных теоретическим вопросам работы телеметрических систем с гидравлическим каналом связи, и

рассмотрены представленные в них математические модели гидравлического канала. По итогам анализа сделан вывод о необходимости построения детальной модели, отражающей волновые процессы, происходящие в гидравлической линии связи при передаче сигнала.

Вторая глава посвящена исследованию гидравлического канала связи и определению основных параметров передатчика гидравлических импульсов. Разработан метод анализа динамических характеристик элементов гидравлической линии. Построена математическая модель передатчика гидравлических импульсов. Проведен анализ помех в гидравлическом канале связи при бурении морских скважин.

При исследовании гидравлической линии были использованы линеаризованные дифференциальные уравнения движения капельной сжимаемой жидкости в трубе, которые впервые были составлены и решены Н.Е. Жуковским, а затем развиты И.А. Чарным:

$$\begin{cases} -\frac{\partial P}{\partial x} = \rho \frac{\partial w}{\partial t} + 2\alpha w \rho \\ -\frac{\partial P}{\partial t} = \rho c^2 \frac{\partial w}{\partial x} \end{cases} \quad (1)$$

где:

P – давление в гидравлической линии [Па];

ρ – плотность бурового раствора [кг/м³];

w – средняя скорость жидкости в сечении [м/с];

c – скорость звука в капельной упругой жидкости, текущей в трубе с упругими стенками [м/с];

α – коэффициент затухания.

Уравнения (1) иногда называются телеграфными, так как они встречаются в задачах распространения электрического тока по кабелю. Применение данных уравнений справедливо при условии движения жидкости со скоростью много меньше скорости звука, когда можно не учитывать изменение скоростных напоров. Скорость потока бурового раствора в канале при расходе порядка 100 л/с для бурильных труб 5" составляет примерно 11 м/с, а скорость звука в жидкости примерно равна 1500 м/с, т.е. скорость потока составляет 0,7% скорости звука. Применяя преобразование Лапласа к системе (1) и решая данные уравнения с учетом граничных условий, получаем окончательные выражения для отношений изображений давления ($\overline{\Delta P}_{10}$) и расхода ($\overline{\Delta Q}_1$) в точках замера к изображению сигнала передатчика

гидравлических импульсов ($\overline{\Delta P_n}$):

$$\frac{\overline{\Delta P_{10}}}{\overline{\Delta P_n}} = \frac{1}{(1 + 2R_r W_k) ch(\nu L) + \left[W_k \rho \rho_r + \frac{2R_{rL}}{\rho \rho_r} (1 + 2R_r W_k) \right] sh(\nu L)} \quad (2)$$

$$\frac{\overline{\Delta Q_1}}{\overline{\Delta P_n}} = \frac{W_k}{(1 + 2R_r W_k) ch(\nu L) + \left[W_k \rho \rho_r + \frac{2R_{rL}}{\rho \rho_r} (1 + 2R_r W_k) \right] sh(\nu L)} \quad (3)$$

где

L – длина гидравлического канала связи;

R_r – полное гидравлическое сопротивление линии, равное сумме сопротивлений гидравлического двигателя, долота и затрубного пространства (R_{rL}) и гидравлического сопротивления в начале линии (R_{r1});

ρ_r – волновое сопротивление длиной линии;

ν – коэффициент распространения, равный $\nu = \frac{1}{c} \sqrt{p(p + 2a)}$,

p – переменная в преобразовании Лапласа.

W_k – передаточная функция компенсатора, определяемая, как:

$$W_k = \frac{pK_k}{1 + pT_k}, \quad (4)$$

здесь T_k – постоянная времени, а K_k – конструктивный параметр компенсатора.

В работе выполнен анализ выражений (2) и (3) с применением частотных методов, для чего был осуществлен переход от преобразования Лапласа к преобразованию Фурье с заменой в (2) и (3) p на $j\omega$. При этом выражения для ν и ρ_r принимают следующий вид:

$$\nu = \frac{1}{c} \sqrt{j\omega(j\omega + 2a)} = \frac{1}{c} \sqrt{\frac{\omega}{2} \left[\sqrt{\omega^2 + 4a^2} - \omega + j\sqrt{\omega^2 + 4a^2} + \omega \right]} \quad (5)$$

$$\rho_r = \frac{c}{S} \sqrt{1 + \frac{4a^2}{\omega^2}} e^{-\frac{1}{2} \arctan \frac{2a}{\omega}}, \quad (6)$$

где

S – внутреннее сечение гидравлического канала;

c – скорость звука в жидкости.

Как следует из выражений (2)–(6), частотные характеристики гидравлической линии связи зависят от многих параметров (длины линии, коэффициента затухания, плотности бурового раствора, давления в компенсаторе и т.д.). Путем варьирования параметров, входящих в

определенные выше выражения, анализируется их влияния на возможность приема переданной с забоя информации с использованием на устье скважины датчиков давления и расхода.

Проведенный анализ частотных характеристик показал, что в идеальном случае (при отсутствии ограничений, накладываемых передатчиком и забойными двигателями, и отсутствии помех) гидравлический канал связи позволяет принимать забойную информацию в сравнительно широкой полосе частот даже независимо от режимов работы компенсаторов буровых насосов с помощью наземных датчиков давления и расхода. Причем следует обратить внимание на то, что спад амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) давления с ростом частоты в диапазоне частот $\omega \leq \frac{2000}{L}$, где L – длина линии, обусловлен, в основном, не наличием затухания, а физическими свойствами гидравлического канала как линии с распределенными параметрами. Поэтому моделирование гидравлического канала полубесконечной линией некорректно, а в ряде случаев может вообще привести к неверным результатам.

В работе рассматривается структурная схема и математическая модель передатчика гидравлических импульсов (ПГИ), а также определены основные параметры ПГИ.

Передатчик гидравлических импульсов является основным элементом телеметрической системы контроля забойных параметров бурения морских скважин с гидравлическим каналом связи, от качества и надежной работы которого зависит работоспособность телеметрической системы в целом. При анализе частотных характеристик телеметрической системы с гидравлическим каналом связи обычно принимается допущение о широкополосной частотной характеристике ПГИ. На самом же деле передатчик представляет собой довольно сложную динамическую систему, а поэтому имеет не только ограниченную полосу частот пропускания, но и при определенных условиях может потерять устойчивость.

Для того чтобы определить характер фактических гидравлических импульсов, формируемых на выходе ПГИ, а также с целью выбора оптимальных параметров передатчика проведен его динамический анализ, для чего в соответствии с методами, принятыми в теории автоматического регулирования, составлена эквивалентная структурная схема ПГИ. Указанная схема учитывает влияние гидравлической линии связи, поскольку от расхода бурового раствора в линии существенно зависят характеристики привода ПГИ и перепад давления на клапане-модуляторе. Главным итогом выполненного

анализа структурной схемы стал выбор оптимальной конструкции передатчика и параметров элементов обратной связи, которые должны обеспечивать достаточный запас устойчивости и качество регулирования. Для анализа динамики ПГИ были определены передаточные функции и коэффициенты передачи всех структурных элементов, входящих в конструкцию передатчика.

В результате анализа частотных характеристик в работе сделано заключение о требуемой конструкции входящего в состав ПГИ электроуправляемого золотника для обеспечения работы передатчика в принятом диапазоне частот.

В работе построена модель сигнала, регистрируемого датчиками давления и расхода палубного модуля управления, с учетом выражений (2) и (3), а также общей передаточной функции ПГИ. Сравнивая рассчитанные и экспериментальные данные, полученные при испытаниях на стенде-буровой в ОЭИ ВНИИБТ в Поваровке, было отмечено достаточно точное соответствие построенной модели сигнала экспериментальным данным.

Применительно к низкочастотному диапазону помехи в гидравлическом канале при бурении морских скважин можно разделить на две основные группы:

- помехи, обусловленные работой буровых насосов;
- помехи, возникающие вследствие работы бурового инструмента (гидравлических забойных двигателей, бурильной колонны, долота и т.п.).

Хотя уровень помех первой группы может значительно превышать уровень полезного сигнала, — эти помехи, как правило, имеют регулярный характер, поэтому их выделение на поверхности не представляет особых трудностей. Однако если стационарность нарушается (например, из-за износа клапанов или случайных изменений частоты вращения дизельного привода одного из двух насосов), то задача выделения сигнала существенно усложняется.

Несмотря на то, что помехи второй группы имеют небольшую амплитуду, они содержат значительную случайную составляющую, что усложняет задачу выделения полезного сигнала.

При разработке телеметрических систем с гидравлическим каналом связи снижение влияния помех, вызванных работой буровых насосов, осуществляется, как правило, в два этапа:

1. выбор типа и месторасположения приемных датчиков;

2. разработка соответствующего программного обеспечения декодирующего устройства, входящего в состав палубного модуля управления.

Первый этап можно реализовать двумя методами:

а) Использование двух датчиков давления, один из которых располагается на вертлюге, а другой – в нагнетательном манифольде. Этот метод, применяемый рядом Западных компаний, хотя и позволяет попутно минимизировать помехи от колебаний бурового шланга, требует вмешательства в конструкцию стандартного бурового оборудования, что всегда сопряжено не столько с техническими, сколько с организационными сложностями.

б) Установка в нагнетательной линии буровых насосов двух датчиков – давления и расхода бурового раствора, что не требует непосредственного вмешательства в конструкцию бурового оборудования. Кроме того, применение датчиков давления и расхода в дальнейшем существенно упрощает алгоритм выделения полезного сигнала на фоне помех, создаваемых буровыми насосами.

В работе был определен характер помех для различных типов буровых насосов и построена математическая модель, описывающая влияние помехи на выделение полезного сигнала на устье скважины. При построении модели были учтены волновые процессы в длинной линии, для чего с учетом (1), была определена зависимость перепадов давления и расхода на устье скважины, от неравномерности работы буровых насосов. Для полученной модели было выполнено сравнение с опытными данными, записанными на экспериментальной буровой ВНИИБТ в Поваровке, которое показало достаточно точное совпадение расчетных и экспериментальных данных.

В работе выполнен анализ помех, вызванных работой бурового инструмента. В качестве источников помех этой группы был рассмотрен перепад давления на серийном турбобуре, турбобуре с так называемой «падающей к тормозу линией давления» и винтовом забойном двигателе при воздействии случайных возмущений по моменту сопротивления на валу. С учетом выводов, полученных в процессе анализа совместной работы телесистемы и забойных двигателей различного типа, отмечается, что изменения момента на долоте является причиной возникновения помех в гидравлическом канале в случае использования турбобура «с падающей к тормозу линией давления» и винтового забойного двигателя.

Если считать, что нагрузка на долото постоянна, то можно допустить, что низкочастотные возмущения момента, действующие на двигатель со стороны долота, обусловлены только изменением удельного момента. Эти возмущения носят случайный характер, и их анализ должен быть проведен с

использованием методов математической статистики.

Для количественной оценки возмущений момента была использована корреляционная функция, полученная в результате обработки реализаций при бурении электробуром в Туркмении. Данная функция может быть приближенно аппроксимирована зависимостью вида:

$$R_m(\tau) = \sigma_m^2 e^{-\alpha|\tau|}, \quad (7)$$

где σ_m^2 - дисперсия, а α - показатель спада, лежащий в пределах $0.07 \div 0.1 \text{ с}^{-1}$.

Путем применения преобразования Фурье к автокорреляционной функции возмущений (8) было получено выражение для определения энергетического спектра функции изменения момента:

$$S_m(\omega) = \frac{1}{\pi} \int_0^{+\infty} R_m(\tau) \cos(\omega\tau) d\tau = \frac{\sigma_m^2 \alpha}{\pi(\alpha^2 + \omega^2)} \quad (8)$$

Спектр данной помехи передаётся в гидроканал через воздействие на забойный двигатель и вызываемые на нем перепады давления.

Окончательный энергетический спектр помехи в линии будет иметь следующий вид:

$$S_{\Delta P}(\omega) = S_m(\omega) |W_{\text{зп}}(j\omega)|^2 \quad (9)$$

где $W_{\text{зп}}(j\omega)$ передаточная функция забойного двигателя, определяющая зависимость перепада давления на двигателе от изменения момента на валу.

Статистические характеристики помех для ВЗД и турбобура «с падающей к тормозу линией давления» были определены из (9). В результате вычислений было показано, что перепад давления на инфранизких частотах может достигать соответственно 0,15 МПа и 0,25 МПа. Такая величина случайной помехи в этой области частот является весьма существенной и может служить причиной возникновения ложных сигналов при передаче одиночных управляющих и информационных импульсов.

На основании проведенного анализа сделаны следующие выводы:

1. В области инфранизких частот (менее 0,1 Гц) сигнал по давлению является наиболее информативным, а на частотах, близких к нулю, единственным источником для выделения переданной с забоя информации. С другой стороны можно отметить, что каковы бы ни были параметры линии (длина, коэффициент затухания, параметры компенсатора и т.д.) существует такой диапазон частот, который позволяет достоверно передавать и принимать забойную информацию. Однако использование в качестве рабочих инфранизких частот существенным образом снижает скорость передачи

забойной информации и, как следствие, эффективность работы телеметрической системы. Разработанный метод анализа динамических характеристик телесистемы контроля забойных параметров бурения морских скважин в сочетании с построенной математической моделью ПГИ позволяет оптимизировать параметры передающей и палубной частей системы с тем, чтобы обеспечить надежное выделение сигнала на фоне помех при работе в области частот до 10 Гц.

2. Параметрами, в наибольшей степени влияющими на частотные характеристики гидравлической линии, являются коэффициент затухания α и характеристики компенсатора. Согласно И.А. Чарному, для круглой трубы с внутренним диаметром d $2\alpha = \frac{32\delta}{d^3} = const$, где δ - кинематический коэффициент вязкости. Таким образом, кинематическая вязкость бурового раствора существенным образом влияет на частотные характеристики гидравлической линии и выделение полезного сигнала. Рассматривая влияние компенсатора буровых насосов, необходимо отметить, что каковы бы ни были параметры компенсатора, можно обеспечить выделение полезного сигнала, используя одновременно сигналы по давлению и расходу. Этот вывод является чрезвычайно важным с точки зрения исходных требований к палубному модулю управления, в котором должны применяться два датчика - давления и расхода. С другой стороны применение одновременно двух датчиков дает возможность существенно повысить частоту передачи забойной информации.
3. Основные параметры ПГИ, определенные с учетом разработанной математической модели, обеспечивают его устойчивую работу в принятом диапазоне частот и позволяют осуществлять передачу сигнала по гидравлическому каналу связи с учетом ограничений, накладываемых длинной линией. При выборе рабочей частоты ПГИ необходимо учитывать влияние длинной линии на ЧХ передатчика и используя обратный канал, обеспечить возможность корректировки рабочей частоты с изменением глубины скважины.
4. Регулярный характер помехи, возникающей при работе буровых насосов, позволяет успешно удалять данную помеху из сигнала, используя при этом одновременно датчики давления и расхода. Рассматривая помехи, возникающие при перепаде давления на забойном двигателе вследствие изменений момента на валу, необходимо отметить, что данная помеха носит случайный характер и может привести к ошибкам приема сигнала

при работе телесистемы на инфранизких частотах. Поскольку источники полезного сигнала и помех находятся в непосредственной близости друг от друга влияние гидравлического канала на распространение помехи можно не рассматривать, а главным параметром является амплитуда помехи, которая существенно снижается с ростом её частоты. Проведенный анализ помех позволяет с достаточной степенью точности определить параметры цифрового фильтра в составе палубного модуля управления и применять помехозащищенное кодирование при передаче информации.

В третьей главе проведен анализ влияния передающего модуля телеметрической системы контроля забойных параметров бурения морских скважин на устойчивость работы гидравлических забойных двигателей различного типа и их воздействия на параметры гидравлического сигнала.

Поскольку гидравлический канал служит для транспортирования энергии к забойному двигателю, а для передачи забойной информации используется энергия бурового раствора, телеметрическая система естественным образом влияет на работу гидравлического забойного двигателя. При срабатывании клапана-модулятора в нижнем сечении трубопровода создается положительный импульс давления (предполагается применение телесистемы именно такого типа), который из-за волновых свойств гидравлического канала приводит к возникновению отрицательного импульса расхода бурового раствора. Так как постоянная времени забойного двигателя, как правило, существенно меньше времени распространения волны до устья и обратно, то такое кратковременное снижение расхода бурового раствора через забойный двигатель приводит к соответствующему снижению вращающего момента и как следствие – к снижению частоты вращения долота. Это снижение частоты вращения усугубляется еще и тем, что при увеличении перепада давления, например, на винтовом забойном двигателе (от срабатывания клапана-модулятора) за счет роста гидравлической составляющей осевой нагрузки на долото увеличивается момент сопротивления. При работе с серийным турбобуром снижение вращающего момента и частоты вращения может привести при определенных условиях к остановке турбобура, а при работе с винтовым забойным двигателем – к его остановке за счет внутренней положительной обратной связи по гидравлической нагрузке на долото. При работе с турбобуром с так называемой «падающей к тормозу линией давления» (например, А7Н4С) происходит снижение амплитуды импульса давления, передаваемого телесистемой, за счет уменьшения перепада давления на двигателе с уменьшением частоты

вращения.

Таким образом, одной из задач при выборе параметров передатчика гидравлических импульсов телесистемы является минимизация воздействия телесистемы на забойный двигатель, а также снижение влияния гидравлического забойного двигателя на передаваемые на поверхность гидравлические импульсы.

Динамические свойства забойных двигателей для бурения скважин детально рассмотрены в классических работах М.Г. Эскина применительно к задачам исследования систем управления забойными двигателями. В настоящей диссертационной работе этот аппарат был использован для решения поставленной выше задачи, при решении которой в качестве возмущающих воздействий были приняты изменения перепада давления в гидравлическом канале как линии с распределенными параметрами.

Изменение перепада давления $P_{зд}$ на забойном двигателе (ЗД) влияет на изменение нагрузки на долото и, следовательно, на частоту вращения ЗД ω_3 . В связи с этим применяемые ЗД разделены на следующие три группы в зависимости от гидравлической характеристики $P_{зд}(\omega_3)$:

$$\frac{\partial P_{зд}}{\partial \omega_3} = a_{\rho\omega} \quad (10)$$

- 1). Забойные двигатели, у которых перепад давления слабо зависит или совсем не зависит от частоты вращения ω_3 : $a_{\rho\omega} = 0$. К ЗД-1 относятся серийные турбобуры.
- 2). Забойные двигатели с сильно выраженной зависимостью $P_{зд}(\omega_3)$: $a_{\rho\omega} \neq 0$. К ЗД-2 относятся так называемые турбобуры «с падающей к тормозу линией давления», у которых перепад давления увеличивается с увеличением частоты вращения, т.е. $a_{\rho\omega} > 0$.
- 3). Забойные двигатели, у которых при постоянном расходе Q_n частота ω_3 не изменяется, а $P_{зд}$ определяется только моментом на валу ЗД: $a_{\rho\omega} = \infty$. К этой группе относятся двигатели объемного типа.

Для указанных выше типов ЗД были определены зависимости изменения частоты вращения вала от амплитуды импульсов давления на выходе ПГИ:

для серийного турбобура:

$$\overline{\Delta\omega_3} = -\frac{a_{\rho\omega} - a_{\rho\omega} a_{\rho\tau} S_T}{J\rho - a_{\rho\omega} + a_{\rho\omega} \rho\rho_r} \cdot \frac{1}{\rho\rho_r} \cdot \frac{sh(vL) + W_{\kappa} \rho\rho_r ch(vL)}{(1 + 2R_{\kappa} W_{\kappa}) ch(vL) + (W_{\kappa} \rho\rho_r + \frac{2R_{\kappa}}{\rho\rho_r}) sh(vL)} \cdot \overline{\Delta P_n}; \quad (11)$$

для турбобура «с падающей к тормозу линией давления»:

$$\overline{\Delta\omega_3} = \frac{a_{m_2} - a_{c_2} a_{m_2} S_{\tau}}{Jp - a_{m_2} + a_{c_2} a_{m_2} S_{\tau} + a_{c_2} \rho \rho_r} \cdot \frac{1}{\rho \rho_r} \cdot \frac{sh(vL) + W_{\tau} \rho \rho_r ch(vL)}{(1 + 2R_{\tau} W_{\tau}) ch(vL) + (W_{\tau} \rho \rho_r + \frac{2R_{\tau}}{\rho \rho_r}) sh(vL)} \cdot \overline{\Delta P_{\tau}}; \quad (12)$$

для винтового забойного двигателя:

$$\overline{\Delta\omega_1} = \frac{K_{01}^* (K_{02}^* - a_{c_2} S_{\tau})}{(K_{02}^* - a_{c_2} S_{\tau}) + \frac{K_{01}^*}{R_{\tau}^*} (J_p p + a_{m_2})} \cdot \frac{1}{\rho \rho_r} \cdot \frac{sh(vL) + W_{\tau} \rho \rho_r ch(vL)}{(1 + 2R_{\tau} W_{\tau}) ch(vL) + (W_{\tau} \rho \rho_r + \frac{2R_{\tau}}{\rho \rho_r}) sh(vL)} \cdot \overline{\Delta P_{\tau}} \quad (13).$$

Построенные графики зависимостей показаны на рисунке 1. В процессе построения зависимостей были учтены свойства гидравлического канала связи, как линии с распределенными параметрами.

Вероятность безостановочной работы ЗД можно оценить с использованием так называемой «задачи о выбросах», имея в виду, что двигатель подвержен действию стационарных случайных возмущений по моменту, которые приводят к изменениям частоты вращения вала ЗД. При этом предполагается, что двигатель «заглохнет», как только частота вращения упадет до некоторого критического значения. В данной работе такой метод не был принят как основной, поскольку есть возможность определить изменения частоты вращения вала ЗД под действием возмущений по перепаду давления на клапане-модуляторе в детерминированной постановке задачи.

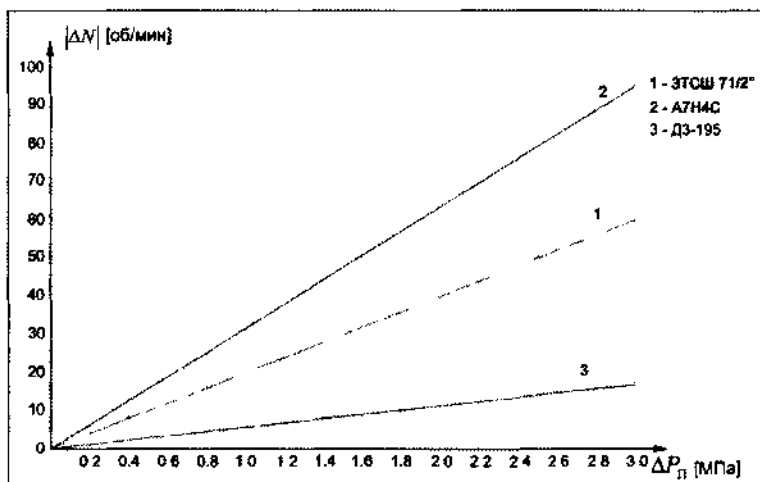


Рис.1. Зависимость изменения частоты вращения вала забойных двигателей от амплитуды импульсов на выходе ПГИ.

Говоря о возможности остановки ЗД первой и второй группы в период срабатывания клапана ПГИ телесистемы, необходимо отметить, что в соответствии с построенными зависимостями при выборе амплитуды импульса в диапазоне до 3,0 МПа в период действия импульса падение частоты вращения вала ЗД не приводит к остановке забойных двигателей. Однако, оценивая одновременное воздействие случайных возмущений момента на долоте, необходимо отметить, что допустимое снижение расхода, при котором сохраняется устойчивая работа турбобура, составляет примерно 10%. В данном случае такое падение расхода имеет место уже при амплитуде импульсов 1,1–1,2 МПа, а при амплитуде импульса давления 2 МПа падение расхода составляет уже ~16%, что может привести к остановке двигателей данного типа. Одним из способов решения этой проблемы может служить увеличение гидравлического сопротивления ЗД-долота относительно сопротивления узла седло-клапан телеметрической системы, например, за счет установки насадок в долоте.

Оценивая перепад давления на ЗД с падающей к тормозу линией давления (А7Н4С), необходимо отметить, что при установленной амплитуде импульса 2 МПа перепад давления на забойном двигателе равен 0.4 МПа, что составляет 20% от амплитуды импульса. Такое падение уровня передаваемого сигнала является существенным и должно быть принято во внимание при выборе режима работы телесистемы.

Анализируя перепад давления на ВЗД, вследствие изменения расхода в линии, можно сделать вывод, что двигатель практически не оказывает влияния на изменение амплитуды импульсов телесистемы. Так при амплитуде импульса 2 МПа перепад давления составляет всего 0.004 МПа.

В результате проведенного анализа совместной работы телесистемы и забойных двигателей были сделаны следующие выводы:

1. Разработанный метод анализа влияния работы телесистемы на устойчивость забойных двигателей позволяет определять параметры рабочего режима передающего модуля телеметрической системы с учетом типа и режима работы забойного двигателя, совместно с которым используется телесистема.
2. Устойчивость двигателя к изменению расхода в момент передачи импульса зависит от амплитуды сигнала и от положения рабочей точки на энергетической характеристике турбины. При передаче сигнала с амплитудой 1.0-2.5 МПа изменение расхода в момент передачи импульса не приводит к неустойчивой работе ЗД, если его рабочая точка лежит

правее режима максимальной мощности, однако в сочетании с воздействием стационарных случайных возмущений по моменту может вызвать его остановку. Это явление необходимо учитывать при выборе амплитуды сигнала. С другой стороны, при работе совместно с турбобуром «с падающей к тормозу линией давления» следует принимать во внимание снижение амплитуды импульса вследствие изменения перепада давления на двигателе.

Четвертая глава посвящена разработке структуры кода передачи данных для различных режимов работы телесистемы и разработке пакета программ для палубного модуля управления телеметрической системы контроля забойных параметров бурения морских скважин. Более детально рассмотрена задача обеспечения оптимального приема передаваемого с забоя сигнала на фоне помех в гидравлическом канале связи.

В работе отмечается, что основные параметры кода передаваемого сигнала необходимо определять в каждом отдельном случае в соответствии с условиями работы телеметрической системы. Длина скважины, плотность бурового раствора, тип используемого забойного двигателя являются факторами, существенно влияющими на режим передачи.

При выборе структуры кода для передачи информации с забоя был определен цикл опроса датчиков и формируемый набор передаваемых параметров в одном блоке с оценкой необходимого времени на передачу информации с забоя. При разработке цикла опроса датчиков были определены перечень измеряемых параметров, точность измерения и требуемое количество двоичных разрядов для каждого параметра. При этом количество двоичных разрядов $N_{бит}$ было определено, исходя из заданной точности измерения. Учитывая, применение беззнакового кода, количество разрядов определено по следующей формуле:

$$N_{бит} = \frac{\lg\left(\frac{X_{\max}}{\Delta X}\right)}{\lg 2}, \quad (14)$$

где:

X_{\max} – максимальное значение измеряемого параметра;

ΔX – погрешность измерения.

Каждый забойный параметр изменяется в процессе бурения по-разному, имеет различный частотный спектр, и поэтому к каждому параметру предъявляются различные требования по частоте опроса, обусловленные

технологическими соображениями. Все забойные параметры были разделены на 2 группы – быстро меняющиеся и медленно меняющиеся.

В структуру формируемого сообщения входит синхρο-последовательность и код режима. Поскольку декодирование принятых данных на поверхности осуществляется с учетом установленной длительности импульсов, которая различна при передаче нуля и единицы, вопрос временной синхронизации имеет первостепенное значение. Так, в случае неудачной синхронизации, весь блок данных, следующий за синхроимпульсами, не может считаться принятым верно, и декодирование приостанавливается до момента выполнения следующей успешной синхронизации.

Для повышения защиты передаваемых с забоя данных от воздействия случайных помех используется помехоустойчивое кодирование формируемого сообщения. При этом наибольший интерес представляет информация, содержащаяся в четырех младших разрядах передаваемого параметра.

Для кодирования параметров, имеющих относительно медленную скорость изменения, использован линейный блочный код Хемминга. Применение данного кода позволяет обнаруживать ошибки кратности ≤ 2 и исправлять все однократные ошибки.

Вероятность необнаруженной ошибки для выбранного кода можно оценить сверху как:

$$P_r < (2^k - 1)P_e^{d_{\min}} < 18 \cdot 10^{-5}, \quad (15)$$

где $d_{\min}=3$ – минимальное кодовое расстояние выбранного кода;

P_e – вероятность ошибки в канале на 1 символ;

k – число разрядов передаваемого параметра.

При передаче информации о быстро меняющихся параметрах выполняется проверка на четность. В конце передачи каждого параметра осуществляется передача контрольной суммы, при этом число бит в слове, передаваемом на поверхность, должно быть четным.

В работе рассмотрена организация программного обеспечения (ПО) палубного модуля управления, которое является одним из важных элементов телеметрической системы, и от успешной работы которого во многом зависит эффективность применения телесистемы в процессе бурения.

Пакет программ для палубного модуля управления телесистемы разработан в виде проекта, который включает набор функциональных модулей. Данная организация ПО позволяет проводить подключение и модернизацию рабочих модулей в соответствии с решаемыми задачами, а также добавлять в

пакет новые функциональные возможности, не изменяя структуру исходного кода.

Программное обеспечение, установленное на компьютере палубного модуля управления телесистемы предназначено для решения следующих задач:

1. установка режима работы глубинного устройства перед спуском телеметрической системы на забой;
2. настройка режима обработки данных в зависимости от режима бурения;
3. выделение переданного с забоя сигнала на фоне случайных помех;
4. декодирование переданной с забоя информации;
5. считывание записанной информацию с карты памяти глубинного устройства, после извлечения его на поверхность;
6. обеспечение визуального контроля технологических параметров в одном из рабочих режимов (оператора/технолога);
7. структурирование и сохранение информации в базе данных;
8. построение графических зависимостей технологических параметров от времени и глубины;
9. построение трехмерной модели куста скважин, для оценки взаимного расположения пространственных траекторий скважин;

Среди перечисленных выше задач необходимо выделить программный модуль, отвечающий за выделение переданного с забоя сигнала на фоне помех в гидравлическом канале связи, поскольку от его работы во многом зависит эффективность применения телесистемы.

Задача оптимального приема сигнала решается в ПО телесистемы двумя методами:

- цифровой обработкой данных, с использованием взаимной корреляции сигналов, поступающих с датчиков расхода и давления;
- помехозащищенным кодированием передаваемой информации.

Цифровая обработка принимаемого сигнала выполняется в ПМУ в два этапа. На первой стадии из сигнала удаляется регулярная шумовая составляющая, вызванная работой буровых насосов, для чего в начале каждого рабочего сеанса телесистемы компьютер палубного модуля управления вычисляет коэффициенты цифрового фильтра, характеризующие шумы технологического оборудования. Вычисление коэффициентов осуществляется в течение установленного интервала времени, однозначно определяемого режимом работы телесистемы. Поскольку в этот промежуток времени передача сигнала с забоя не производится, датчики на поверхности фиксируют только изменения расхода и давления, вызванные неравномерностью работы буровых

насосов. В работе описан метод определения коэффициентов фильтра, основанный на взаимной корреляции сигналов с датчиков давления и расхода и дальнейший алгоритм удаления регулярных помех из принимаемого сигнала. Как показывает практика, использование данного метода позволяет успешно решать задачу удаления из сигнала помех, имеющих регулярный характер. На втором этапе для борьбы со случайными помехами, вызванными работой бурового инструмента (гидравлических забойных двигателей, бурильной колонны, долота и т.п.), сигнал поступает на фильтр нижних частот с частотой среза, обусловленной частотной характеристикой передатчика гидравлических импульсов УГ и установленной рабочей частотой телесистемы.

Помимо программных модулей, связанных с приемом и обработкой сигнала, пакет программ палубного модуля управления включает интерфейсы работы с телеметрической системой. В программных модулях реализовано два вида оперативных интерфейсов:

- оперативный интерфейс технолога (бурового мастера и/или бурильщика);
- оперативный интерфейс оператора, предназначенный для оператора специальной сервисной службы.

Оперативный интерфейс технолога отображает всю необходимую информацию, по которой можно судить о соответствии технологического процесса режиму, заданному геолого-техническим нарядом. В свою очередь интерфейс оператора отражает всю необходимую информацию, по которой можно оценивать правильность работы измерительной и приемо-передающей частей системы.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ.

1. Разработан метод анализа динамических характеристик телеметрической системы контроля забойных параметров бурения морских скважин с гидравлическим каналом связи, позволяющий обосновать влияние параметров гидравлической линии на прием забойной информации.
2. Разработана математическая модель и определены основные параметры передатчика гидравлических импульсов, позволяющие повысить частоту передачи забойной информации.
3. Разработан метод анализа влияния телеметрической системы на устойчивость работы гидравлических забойных двигателей различного

- типа и их воздействия на параметры гидравлического сигнала, на основании которого обоснованы параметры рабочего режима передающего модуля телесистемы с учетом типа и режима работы забойного двигателя, совместно с которым используется телеметрическая система.
4. Разработан метод выделения гидравлического сигнала в палубном модуле управления и определены параметры цифрового фильтра, учитывающие характеристики буровых насосов.
 5. Разработана структура кода передачи данных для различных режимов работы телесистемы и решена задача обеспечения оптимального приема передаваемого с забоя сигнала на фоне помех в гидравлическом канале связи.
 6. Разработан пакет программ в виде набора функциональных модулей для палубного модуля управления телеметрической системой контроля забойных параметров бурения морских скважин, включающий пользовательские интерфейсы.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Вольгемут Э.А., Греков С.В. Анализ влияния телеметрической системы с гидравлическим каналом связи на устойчивость работы гидравлических забойных двигателей и их воздействия на параметры гидравлического сигнала. «Нефтегазовое дело». – Интернет–журнал «Нефтегазовое дело» 01.09.2005г., 18 с.
http://www.ogbus.ru/authors/Volgemut/Volgemut_1.pdf
2. Вольгемут Э.А., Греков С.В., Мурин В.В. Состояние и тенденции развития техники контроля забойных параметров бурения морских скважин. – Сб. н. тр. «Состояние и перспективы освоения морских нефтегазовых месторождений». – М.: ВНИИГАЗ, 2003. – с. 251-271.
3. Греков С.В. Исследование помех в гидравлическом канале связи телеметрической системы контроля забойных параметров в процессе

бурения. «Нефтегазовое дело». – Интернет–журнал «Нефтегазовое дело» 16.09.2005г., 14 с.

http://www.ogbus.ru/authors/Grekov/Grekov_1.pdf

4. Греков С.В. Исследование гидравлического канала связи телеметрической системы контроля забойных параметров в процессе бурения. – Интернет–журнал «Нефтегазовое дело» 21.09.2005г., 13 с.
http://www.ogbus.ru/authors/Grekov/Grekov_2.pdf
5. Греков С.В. Программное обеспечение телеметрической системы контроля забойных параметров в процессе бурения. – «Научные проблемы и перспективы нефтегазовой отрасли в Северо-Западном регионе России» : Науч.-техн. сб. в 4 ч. Ч 1. Геология, геофизика и бурение. – Ухта: Севернипгаз, 2005. – с.189-196.

Подписано к печати 11 ноября 2005 г.

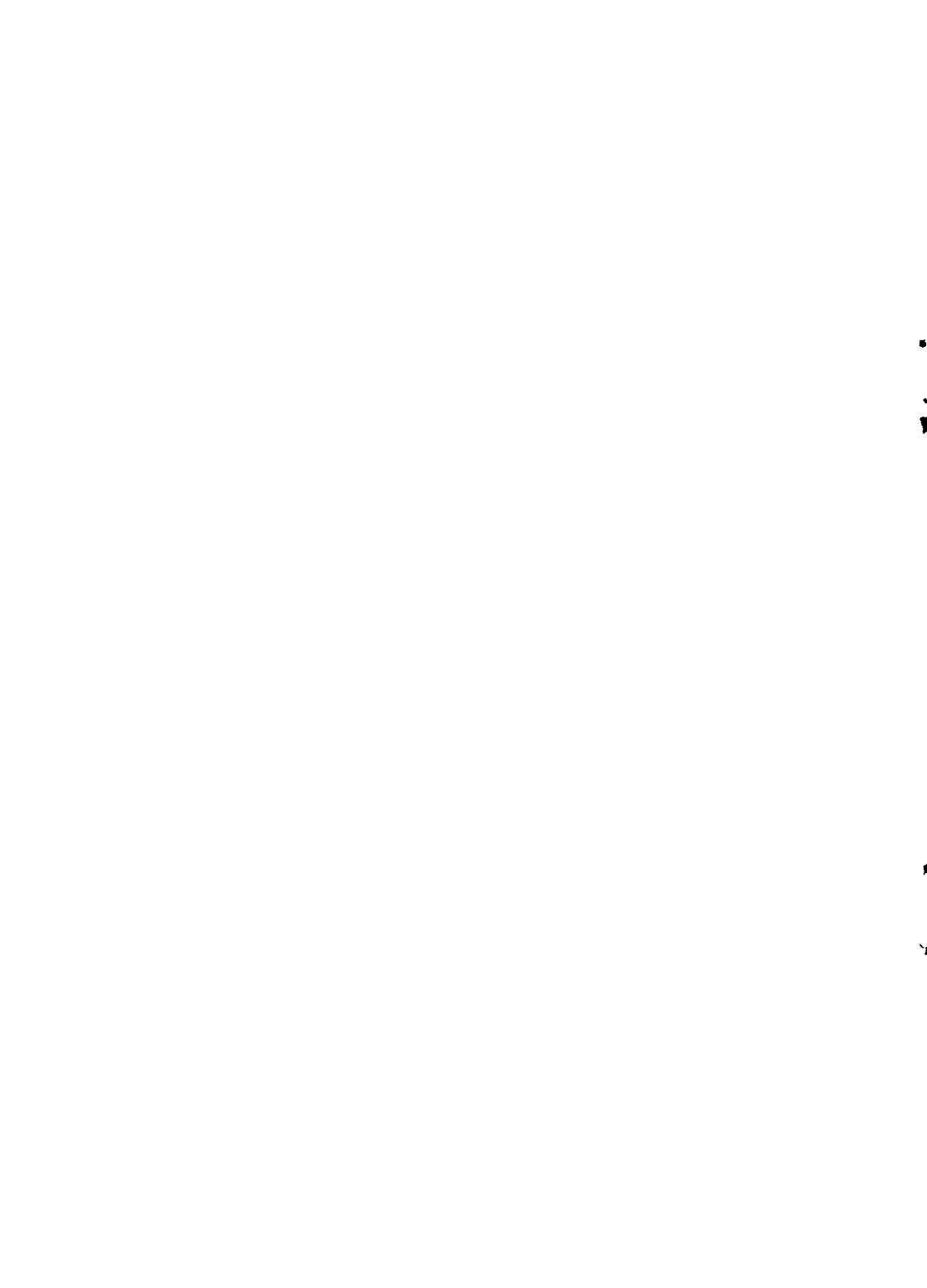
Заказ № С2330

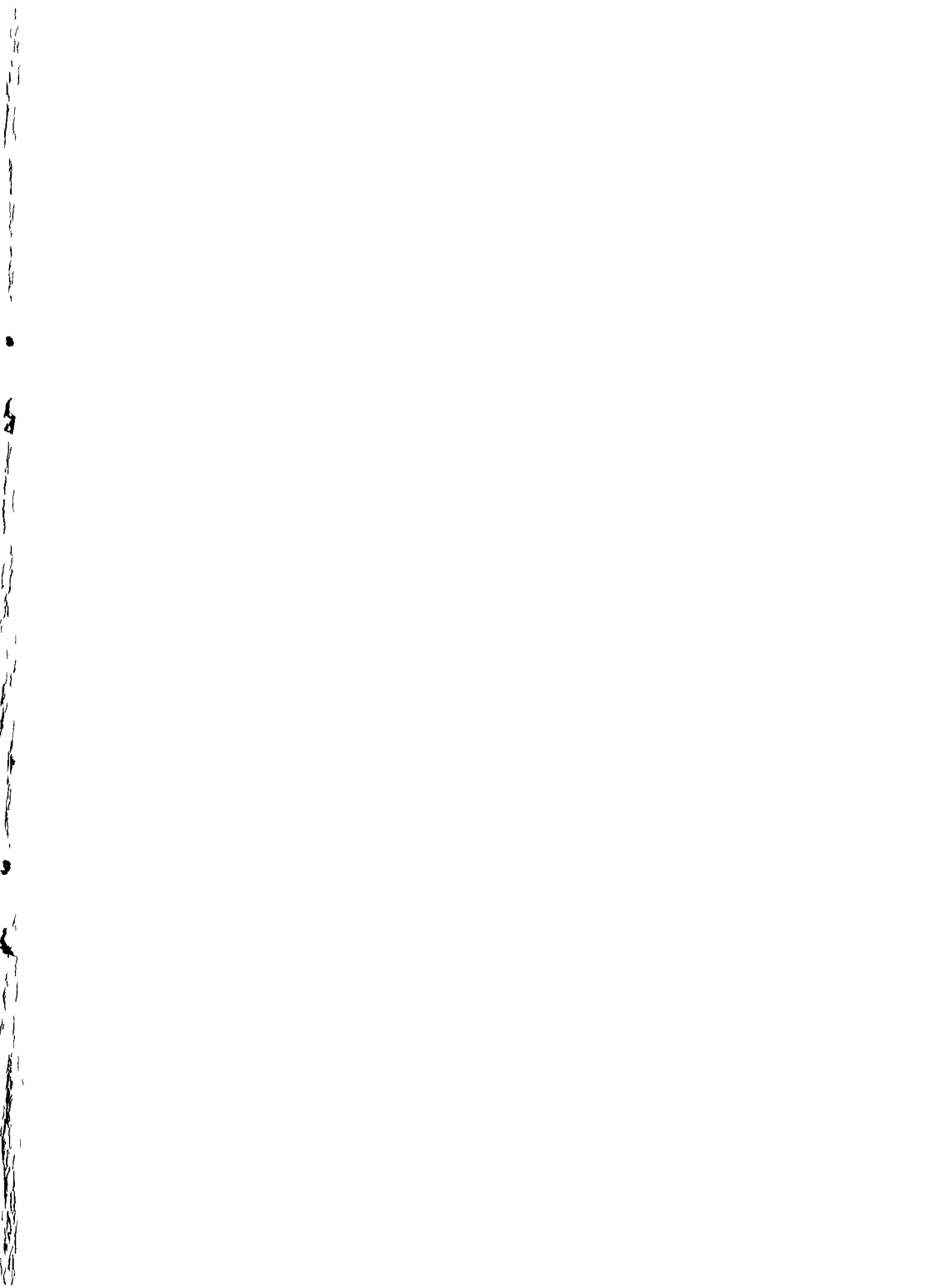
Тираж 120 экз.

Объем 1 уч-изд. Л. Ф-т 60x84/16

Отпечатано в ООО «ВНИИГАЗ»,

Московская область, Ленинский р-н, п. Развилка,





№ 1 9 2 4 2

РНБ Русский фонд

2006-4

17424