

**РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
НЕФТИ И ГАЗА им. И.М. ГУБКИНА**

На правах рукописи

**ОБУХОВ Сергей Анатольевич**

**Научно-технические решения  
по проектированию строительства морских  
горизонтальных и многозабойных скважин**

Специальность 25.00.18 - Технология освоения морских месторождений  
полезных ископаемых (технические науки)

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Москва – 2005

**Работа выполнена в Российском государственном университете  
нефти и газа имени И.М. Губкина**

Научный руководитель: - доктор технических наук, профессор  
Александр Сергеевич Оганов

Официальные оппоненты: - доктор технических наук, профессор  
Чингиз Саибович Гусейнов  
- кандидат технических наук  
Александр Александрович Рябоконт

Ведущая организация: - ООО «Газфлот» ОАО «Газпром»

Защита состоится 14 декабря 2005 г. в 14-00 часов в аудитории 1817 на заседании диссертационного совета Д212.200.11 в Российском государственном университете нефти и газа им. И.М. Губкина по адресу: 119991, Москва, ГСП-1, Ленинский проспект, 65.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Российского государственного университета нефти и газа им. И.М. Губкина.

Автореферат разослан «\_\_\_\_\_» ноября 2005 г.

Ученый секретарь диссертационного ( )  
доктор технических наук, доцент



И.Е. Литвин

2006-4  
20054

2139704

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Актуальность проблемы

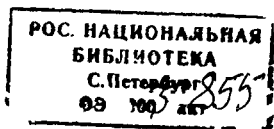
В настоящее время и в ближайшем будущем поиск и освоение новых месторождений будут являться стратегической задачей государства.

Подтвержденные геологоразведочными работами промышленные запасы нефти и газа на Арктическом шельфе страны создали перспективу их рентабельной разработки. Принимая во внимание особенности освоения месторождений в этом регионе всё большую актуальность приобретает поиск новых и совершенствование существующих подходов, технико-технологических решений по проектированию и строительству скважин, целью которых будет снижение капитальных затрат и увеличение нефтеотдачи пластов.

Указанной тенденции удовлетворяет, находящее всё большее распространение в мировой практике, бурение горизонтальных (ГС) и многозабойных скважин (МЗС). Несмотря на уже ставшую традиционной технику и технологию строительства таких скважин, по-прежнему существуют проблемы, снижающие эффективность их применения.

Разбуривание Приразломного нефтяного месторождения эксплуатационными ГС и МЗС сложными как по конструкции, так и по геометрии профиля, будет являться первым отечественным и зарубежным опытом на Арктическом континентальном шельфе. Необходимость большой площади охвата Приразломного месторождения скважинами, строительство которых предлагается осуществить с одной морской ледостойкой стационарной платформы (МЛСП), расположенной в центральной части залежи, предопределила значительные по величине отклонения ствола от вертикали при сохранении большой протяженности завершающего участка в пределах продуктивного пласта. На Медынско-Варандейском, Колоколморском и Поморском лицензионных участках континентального шельфа Севера страны предполагается бурение ГС и МЗС (с расходящимися в противоположные стороны боковыми стволами) с протяженностью горизонтальных участков от 1300 м до 3800 м при максимальной длине скважины 8200 м.

При освоении месторождений с помощью ГС и МЗС на первый план выдвигаются проблемы, связанные с выполнением геологической задачи, условием безаварийной проводки, достижением проектной протяженности и формы профиля горизонтального ствола в пределах продуктивного пласта, сохранением коллекторских свойств в околоствольной зоне продуктивного пласта (ОЗП). Данные по законченным бурением и введенным в эксплуатацию скважинам



свидетельствует, что не всегда достигнутые результаты полностью удовлетворяют перечисленным требованиям.

Актуальность решения этих проблем является ключевым фактором, способным подтвердить эффективность применения ГС и МЗС с большим отходом от вертикали при разработке Приразломного и ряда других морских месторождений. В связи с этим существенно возрастает роль и ответственность такого этапа в освоении нефтегазовых месторождений на шельфе как проектирование строительства скважин, при котором качество и обоснованность в выборе научно-технических решений в конечном счете предопределяет успешное завершение строительства скважин и соблюдение заданных параметров освоения месторождения в целом.

### **Цель работы**

Разработка и внедрение в практику проектирования и строительства скважин научно-методических и технико-технологических решений, направленных на повышение эффективности применения ГС и МЗС при разработке шельфовых месторождений.

### **Основные задачи исследований**

- 1 Разработка методики расчета профилей ГС и МЗС с учетом требований технологии строительства и последующей эксплуатации скважины.
- 2 Совершенствование технико-технологических способов по забурированию бокового ствола и ответвлений с целью повышения эффективности и качества строительства МЗС.
- 3 Анализ влияния технико-технологических факторов бурения на качество первичного вскрытия продуктивного пласта и разработка рациональной гидравлической программы строительства скважины при проводке завершающего участка профиля ГС и МЗС.
- 4 Разработка научно-методических решений по выбору типа и параметров профиля ГС и МЗС с большим отклонением ствола от вертикали при освоении шельфовых месторождений с позиции выполнения геологической задачи, возможностей современной техники и технологии по безаварийной и качественной проводке скважин, снижения капитальных затрат и обеспечения проектных эксплуатационных показателей скважины.
- 5 Разработка и уточнение критериев оценки качества выполнения проектных решений при строительстве ГС и МЗС.

## **Методы исследований**

Методической основой исследований явился комплексный подход к решению основных задач работы, а в качестве инструмента - элементы прикладной математики (дифференциальной геометрии, математической статистики).

### **Научная новизна**

1 Разработан новый методический подход к проектированию профиля ГС и МЗС с различными типами завершающего участка в пределах продуктивного пласта на базе методов дифференциальной геометрии.

2 На основе концепции размещения забоев кустовых скважин на площади шельфового нефтегазового месторождения предложен научно-методический подход по выбору типов профиля ГС или МЗС при проектировании системы разработки.

3 Предложена рациональная гидравлическая программа первичного вскрытия продуктивного пласта для одновременного решения задач по обеспечению уменьшения допустимого значения репрессии на пласт и повышения нефтеотдачи.

4 Разработаны и предложены уточненные критерии оценки точности выполнения проектных решений при производстве буровых работ и качества первичного вскрытия при строительстве ГС/МЗС.

### **Основные защищаемые положения**

1 Методический подход к расчету параметров профиля и в т.ч. завершающего участка ГС и МЗС в пределах продуктивного пласта.

2 Результаты исследования влияния технико-технологических факторов бурения на качество первичного вскрытия.

3 Техничко-технологические решения по забуриванию боковых ответвлений из обсадной колонны при строительстве МЗС.

4 Научно-методические решения по выбору типа профиля направленной скважины, протяженности горизонтального ствола, числа боковых ответвлений с учетом технико-технологических условий проводки, эксплуатационных показателей добычи и капитальных затрат при строительстве скважин на примере Приразломного нефтяного месторождения.

5 Метод оценки качества выполнения проектных решений на базе разработанных и уточненных критериев.

### **Практическая ценность работы**

Достоверность выводов и установленных закономерностей теоретических исследований подтверждена разработкой и применением технико-технологических решений и регламентирующих документов.

1 Использование предложенного методического подхода расчета параметров профиля ГС и МЗС и созданного для этого программного обеспечения позволит повысить качество проектирования и осуществлять оперативное управление технологическим процессом проводки стволов и ответвлений.

2 Предложенная усовершенствованная система для забуривания боковых ответвлений из обсадной колонны при строительстве МЗС повышает безаварийность выполнения технологических операций и обеспечивает сокращение сроков их проведения.

3 На стадиях проектирования и проводки скважин, особенно горизонтальных участков ГС и МЗС с большим отклонением ствола от вертикали в условиях низких значений давления гидроразрыва пластов, включение в состав расчета гидродинамических давлений гидравлических сопротивлений на элементах КНБК повысит надежность безаварийного ведения буровых работ.

4 Разработанные рекомендации по выбору рациональных параметров углубления при первичном вскрытии и технические решения обеспечивают снижение величины репрессии и радиуса загрязнения продуктивного пласта фильтратом бурового раствора при бурении протяженных завершающих участков скважин с большим отходом ствола от вертикали.

5 Предложенный комплексный подход позволяет на стадии проектирования обосновать выбор ГС или МЗС, длины завершающего участка в зависимости от величины отклонения ствола от вертикали, эксплуатационных показателей добычи и капитальных затрат с целью рационализации системы разработки и повышения рентабельности освоения морских нефтегазовых месторождений.

6 Научно-методический подход по определению качества выполнения проектных решений при строительстве ГС и МЗС создает основу для регламентирования допустимых пределов отклонения параметров скважины от проектных и прогнозирования эффективности и качества проводки последующих скважин на данном месторождении.

7 Результаты диссертационной работы использованы:

- при разработке девяти рабочих проектов на строительство ГС и МЗС, Требованиях к конструкциям скважин и производству буровых работ, методам вскрытия пластов и освоения ГС и МЗС на шельфовых месторождениях – Приразломное, Штокмановское, Медыньское-море и др.;

- в Технологическом регламенте «Технология бурения многозабойных скважин». Стандарт предприятия СТП ВНИИБТ-1021-2003, ОАО НПО «Буровая техника» - ВНИИБТ, Москва, 2003г.;

- в Регламенте «Разработка типовых технико-технологических решений на бурение боковых стволов из эксплуатационных скважин на основе использования современных технических средств и технологий». ОАО НПО «Буровая техника»-ВНИИБТ, Москва, 2005г.

### **Апробация работы**

Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались: на международной конференции «Освоение шельфа арктических морей России», РАО-03, «Освоение ресурсов нефти и газа российской Арктики и континентального шельфа стран СНГ», РАО-05 (С.-Петербург, 2003, 2005 гг.); на IV международном семинаре «Горизонтальные скважины» (Москва, 2004 г.); на конференциях Ассоциации Буровых Подрядчиков (Москва, 2003, 2004, 2005 гг.); на Международных научно-технических конференциях «Наука и образование» (Мурманск, 2004, 2005 гг.); на научной конференции «Молодежная наука – нефтегазовому комплексу» (Москва, 2004г.); на Ученых Советах ОАО НПО «Буровая техника» (Москва, 2004, 2005 гг.); на научно-технических совещаниях ЗАО «Севморнефтегаз» и компании «Halliburton» (Москва, 2004, 2005 гг.).

### **Публикации**

По материалам диссертации автором опубликовано 15 печатных работ.

### **Объем и структура работы**

Диссертационная работа состоит из введения, четырех разделов, основных выводов, списка использованных источников из 178 наименований. Изложена на 148 страницах машинописного текста, содержит 19 рисунков и 12 таблиц.

## **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность проблемы разработки и совершенствования научно-методических и технико-технологических решений для подтверждения эффективности строительства морских ГС и МЗС с большим отклонением ствола от вертикали. Определена цель работы, основные задачи, научная новизна и практическая ценность проведенных исследований.

В первом разделе отражен и проанализирован современный уровень проектирования и состояние строительства ГС и МЗС в отечественной и зарубежной практике.

Развитие и прогресс науки и практики в области проектирования и строительства наклонно-направленных скважин (ННС), ГС и МЗС осуществлялось как отечественными, так и зарубежными учеными и специалистами, к числу которых относятся: М.М. Александров, А.Д. Башкатов, И.Л. Барский, С.Н. Бастриков, В.О. Белоруссов, А.С. Бронзов, А.И. Булатов, Ю.В. Вадецкий, Р.Н. Гилязов, А.М. Григорян, В.Г. Григулецкий, М.П. Гулизаде, М.Т. Гусман, И.Г. Есьман, Р.А. Иоаннесян, А.Г. Калинин, В.В. Кульчицкий, В.И. Крылов, В.Г. Лукьянов, М.Р. Мавлютов, И.П. Мельничук, А.Х. Мирзаджанзаде, Н.Н. Михайлов, Б.А. Никитин, С.А. Оганов, А.С. Оганов, Г.С. Оганов, А.С. Поваляхин, В.В. Прохоренко, Н.Р. Рабинович, О.К. Рогачев, Г.Г. Семак, Н.Г. Ссреда, К.М. Солодкий, С.С. Сулакшин, Л.Я. Сушон, С.А. Ширин-Заде, А.М. Ясашин, Р.С. Яремийчук, F.K. Crouse, J. Eckolsen, M.J. Economides, J. Oberkircher, H. Ohmer, V.H. Walker, G. Woods и др.

Технико-технологические решения по строительству ГС и МЗС впервые были разработаны во ВНИИБТ Григоряном А.М. еще в середине XX века, свидетельством чего в то время явились первые в мире пробуренные МЗС. Однако, широкое распространение метод бурения ННС, ГС и МЗС с большим отклонением ствола от вертикали получил в начале 1990-х гг. и явился результатом внедрения в практику новых, оригинальных, технически надежных серийных устройств для набора и стабилизации кривизны; MWD/LWD-аппаратуры для управления и контроля траектории ствола скважины. Это позволило ряду компаний достичь рекордных по величине отклонений ствола от вертикали, в тоже время данные показатели получены лишь в отдельных скважинах, пробуренных по индивидуальным программам бурения.

Накопленный отечественный и зарубежный опыт проводки скважин с большим отклонением от вертикали представляет большой практический интерес, особенно в связи с намеченными в ближайшие годы перспективами интенсивного освоения морских нефтегазовых месторождений арктического континентального шельфа Европейского Севера страны - Приразломное и Медын-



ское-море в Печорском море, Штокмановское в Баренцевом море, месторождений в Обско-Тазовской губе Карского моря.

Однако, несмотря на преимущества данного подхода, остается нерешенным ряд проблем научного и практического характера в области проектирования и строительства ГС и МЗС.

Анализ развития наклонно направленного бурения, ГС и МЗС показал, что если ранее к категории скважин с большим отклонением от вертикали были отнесены скважины с коэффициентом отклонения (отношение отклонения скважины от вертикали к глубине скважины по вертикали) больше 1,0, то в настоящее время это величина уже достигает 2,0 – 6,5.

Как известно, строительство таких скважин характеризуется следующими технико-технологическими особенностями:

- трудность продвижения бурильной и обсадной колонн в стволе скважины под действием собственного веса;
- возрастание дифференциального давления в стволе скважины;
- ухудшение качества очистки ствола от шлама;
- осложнение условий передачи оптимальной нагрузки на долото;
- проблема создания надежного и долговечного места соединения стволов при строительстве МЗС и др.

Это определило формулирование ряда задач, решение которых учитывает специфические особенности проводки таких скважин, обеспечение проектных эксплуатационных показателей добычи и снижение капитальных затрат.

Среди этапов строительства МЗС следует выделить: вырезание “окна” в обсадной колонне, резка и бурение боковых стволов в заданном азимуте и протяженности и процесс заканчивания скважин, установки внутрискважинного оборудования.

Каждый из известных традиционных способов забурирования боковых стволов обладает рядом достоинств и недостатков, делающих один метод привлекательным в одних условиях и неприемлемым в других. В связи с этим видится перспективным совершенствование технико-технологических способов по забуриванию бокового ствола и ответвлений при строительстве МЗС.

Анализ показывает, что одним из направлений совершенствования технологии проводки скважин является дальнейшее развитие разработки рацио-

нальной гидравлической программы, прикладной характер которой особенно актуален в условиях строительства скважин с большим отходом ствола от вертикали.

Как известно, сопровождающие строительство таких скважин осложнения – нарушение устойчивости стенок скважин, значительные потери давления в кольцевом затрубном пространстве, ухудшение качества очистки ствола от шлама и др. – могут быть устранены регулированием параметров гидравлической программы бурения. Однако в известных рекомендациях по составлению гидравлической программы отсутствует рассмотрение характера влияния ряда технико-технологических факторов на коллекторские свойства продуктивного пласта. Анализ фактических данных об ухудшении продуктивности пластов показывает, что одной из причин снижения фактической продуктивности ГС и МЗС по сравнению с их потенциальными возможностями являются техногенные изменения природного состояния продуктивного пласта в ОЗП.

В настоящее время проектирование системы разработки месторождения для добычи нефти (газа) осуществляется путем использования различных видов скважин – от вертикальных до ГС и МЗС. Эффективность их применения зависит от целого ряда геологических, технико-технологических, экономических, экологических и гидрогеографических условий строительства скважин.

Известно, что при кустовом бурении возникают определенные сложности, а именно: из-за различной удаленности забоев скважин от морской стационарной платформы, они отличаются друг от друга конструкцией, технологическими особенностями проводки, другими параметрами, которые отрицательно влияют на технико-экономические и качественные показатели строительства. Однако до настоящего времени при проектировании системы разработки месторождения этот важнейший фактор практически не учитывался.

Однако до настоящего времени при проектировании системы разработки месторождения этот важнейший фактор практически не учитывался.

Эти и другие актуальные научные и практические проблемы положены в основу задач исследований настоящей диссертационной работы.

Во втором разделе освещается методический подход к проектированию профиля ГС и завершающего участка ствола скважины в пределах продуктивного пласта.

В существующих методических рекомендациях по проектированию профиля ННС, ГС и МЗС, завершающих участков, одним из основных недостатков является упрощение расчетной схемы представления профиля, который при практической реализации значительно отличается от проектного. Кроме того, в расчете используется большое число исходных параметров.

В диссертационной работе с целью повышения качественных показателей бурения и добычи скважин, точности определения параметров профиля завершающего участка ГС и МЗС как на стадии проектирования, так и при оперативном управлении процессом, предложен новый методический подход проектирования профиля.

Согласно предлагаемой методики каждый участок профиля скважины сопряжен с другим, что достигается путем выполнения условия совпадения касательных, проведенных для каждого участка в точке их соединения.

В соответствии с общепринятым подходом, для удобства расчета профиля ствол скважины разделен на две части: длина ствола от устья до кровли продуктивного пласта и от кровли пласта до проектной глубины скважины. Расчет начинается с определения параметров профиля второй части, а затем первой части, т.е. расчет ведется снизу вверх.

Предложенный методический подход расчета профиля позволил уточнить схему представления волнообразного (синусоидального) типа профиля завершающего участка ствола ГС и МЗС, предложенную ВНИИБТ (см. рис.1). Так, в предложенной методике точка с координатами  $(x_3; y_3)$ , являющаяся точкой пересечения третьего и четвертого участков, не лежит на верхней границе "коридора". Расхождение в расчетных значениях продемонстрировано для мощности продуктивного пласта 10, 20, 40 м при равенстве исходных параметров: радиусов искривления  $R_1=382$  м,  $R_3=309$  м,  $R_4=573$  м; длине горизонтального участка  $a_2=250$  м. Относительное уменьшение проекции завершающего участка согласно расчетам по предлагаемой методике, в сравнении с методикой ВНИИБТ, составило около 33%. Такое расхождение на практике при строитель-

стве горизонтального ствола может привести, в случае отсутствия надежной информации в режим реального времени, к нарушению границ «коридора».

По предложенной методике также представляется возможность определить параметры профиля ГС и МЗС при меньшем числе исходных параметров в сравнении с существующими методиками.

Представленный подход был реализован при разработке проектной документации на строительство ГС и МЗС для Приразломного и Штокмановского месторождений.

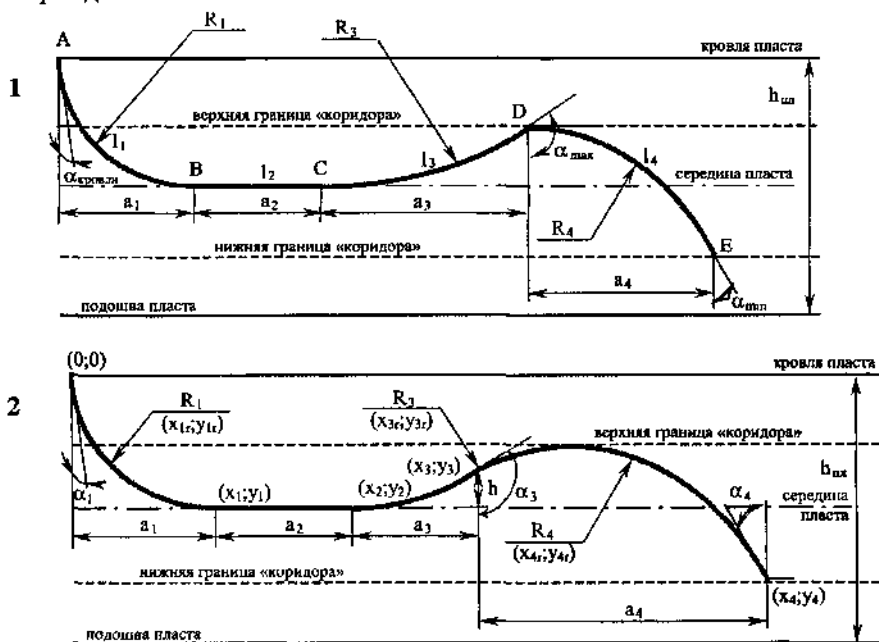


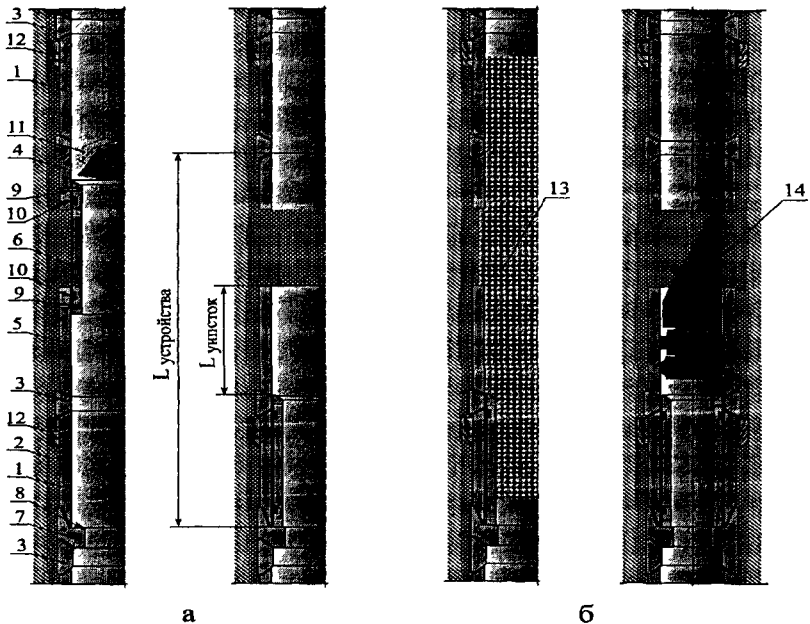
Рис.1 Схемы представления волнообразного типа профиля завершающего участка: по методике ВНИИБТ (1) и предложенной методике (2).

В разделе также рассмотрены вопросы совершенствования технологических способов забуривания бокового ствола и ответвлений при строительстве МЗС.

Для решения проблем, связанных с ограничениями, налагаемыми на применение традиционных способов забуривания боковых ответвлений из обсадной колонны, предложена усовершенствованная система для забуривания.

На рис. 2 показаны технико-технологические схемы выполнения операций по забуриванию бокового ствола. Внутренняя труба б в составе спущенной обсадной колонны с помощью бурильного инструмента с долотом 11 сдвигается на уступ 8, тем самым создается открытый участок. Таким образом, созданные технические условия позволяют осуществить зарезку по двум схемам: с цементного моста 13 или с помощью клина-отклонителя 14.

В устройстве используются стандартные обсадные трубы наружных диаметров 146,1; 168,3; 177,8; 244,5 мм в соответствии с диаметром обсадной колонны, проектной конструкции скважины, в которой планируется произвести забуривание бокового ствола. Функциональность предлагаемой системы может быть повышена за счет извлекаемости внутренней трубы.



Обозначения: 1 - обсадная труба; 2 - цементный камень; 3 - муфта; 4, 5 - наружная труба; 6 - внутренняя труба; 7 - переводник; 8 - упор; 9 - штифты; 10 - уплотнительные резиновые кольца; 11 - бурильный инструмент с долотом; 12 - центраторы-турбулизаторы; 13 - цементный камень; 14 - клин-отклонитель

Рис.2 Устройство (а) и схемы (б) забуривания бокового ствола из обсадной колонны.

В третьем разделе исследуются проблемы строительства ГС и МЗС с большим отклонением ствола от вертикали при первичном вскрытии продуктивного пласта. Показано, что разработка рациональной гидравлической программы и выбор технико-технологических параметров должны базироваться во взаимосвязи их влияния на коллекторские свойства.

На сегодняшний день практика бурения не позволяет достичь идеальных условий вскрытия продуктивных пластов без их повреждения. В связи с этим, на стадии проектирования задача разработки рациональной гидравлической программы при первичном вскрытии заключается в формулировании рекомендаций и выборе значений параметров, направленных на снижение потери продуктивности.

В предложенной гидравлической программе особое внимание уделено:

- выбору плотности бурового раствора в направленной части ствола;
- расчету гидравлических сопротивлений в кольцевом затрубном пространстве при первичном вскрытии продуктивного пласта;
- определению гидродинамических давлений в скважине.

Предложена формула, учитывающая помимо путевых потерь слагаемое потерь от местных гидравлических сопротивлений в зоне компоновки низа буровой колонны (КНБК). Показано, что пренебрежение этой составляющей приводит к значительным погрешностям. Так например, для скважины на Приразломном месторождении протяженностью 7323 м при вскрытии продуктивного горизонта долотом диаметром 215,9 мм традиционной КНБК, результаты расчетов показали, что по мере увеличения расхода бурового раствора от 0,010 до 0,040 м<sup>3</sup>/с доля потерь на участках местных сопротивлений КНБК от общих потерь в кольцевом пространстве составила от 6 до 20% соответственно.

Указанные аспекты гидравлической программы являются одними из ключевых факторов влияния на фильтрационно-емкостные свойства ОЗП, что может быть предварительно оценено на стадии проектирования посредством такого параметра как радиус загрязнения ОЗП фильтратом бурового раствора.

Как известно, требования к составу, свойствам и степени влияния различных буровых растворов на продуктивность пласта изложены в работах А.Д. Башкатова, А.И. Булатова, В.В. Крецула, В.И. Крылова, А.Я. Манделя, Л.К. Мухина, Л.А. Шица, J. Grey, G. Darkey и др. В наших исследованиях рассмот-

рен характер распределения радиуса загрязнения ОЗП вследствие влияния технико-технологических параметров при первичном вскрытии горизонтальными и многозабойными скважинами с большим отклонением ствола от вертикали, к числу которых относятся: способ бурения, количество и местоположение опорно-центрирующих элементов ОЦЭ (диаметр, тип), механическая скорость.

Влияние способа бурения обусловлено геометрией замковых соединений, включением в состав КНБК ОЦЭ, влияющих на характер разрушения образующейся фильтрационной корки и, как следствие, стабилизации фильтрации. Установлено, что в первом и во втором случае характер и степень повреждения будут отличаться в силу наличия разницы площади контакта, количества и места расположения ОЦЭ в составе КНБК, механической скорости. Так, на примере проектных скважин Приразломного месторождения с исходными данными: длина горизонтального ствола 1000 м, подача бурового раствора 0,030 м<sup>3</sup>/с и механическая скорость бурения 5 м/ч, получены следующие результаты. Превышение величины радиуса загрязнения от бурения роторным способом при сравнительной оценке с бурением забойным двигателем, выраженная посредством отношения коэффициента продуктивности (КП) скважины с загрязненной и незагрязненной ОЗП, составляет при коэффициенте восстановления проницаемости  $\beta=0,75 - 2,6\%$ ;  $\beta=0,50 - 7,5\%$ ;  $\beta=0,25 - 18,0\%$ ;  $\beta=0,10 - 33,7\%$ .

На основании полученных результатов сделан вывод о том, что важное значение представляют гидродинамические давления в скважине, способ бурения, состав КНБК, характер отрицательного воздействия от которых на продуктивность пласта становится существенен при проницаемости загрязненной зоны  $K_{\text{загрязн}} < 0,75 \cdot K_{\text{начальн}}$ . Это предопределяет необходимость комплексного подхода при выборе способа бурения, количества и геометрии элементов КНБК и составлении гидравлической программы.

Практика бурения показывает, что проводка горизонтальных стволов большой протяженности и с большим отклонением ствола от вертикали может быть успешно осуществлена при выполнении ряда технико-технологических приемов, важнейшим из которых является контроль механической скорости.

Управление величиной механической скорости проходки осуществляют с позиции эффективности бурения и качественной очистки ствола скважины. Известно, что снижение скоростей проходки с углублением скважины в

значительной степени определяется ухудшением условий очистки забоя, что обусловлено ростом репрессии на забой. Кроме того, управление механической скоростью должно осуществляться с позиции темпа подготовки объема шламовой пульпы и закачки ее в пласт, что предусмотрено в Проекте на строительство скважин на Приразломном месторождении.

Для ГС и МЗС характерны малые градиенты давления при вскрытии, поэтому особое значение приобретает фактор времени. В связи с этим был проведен анализ с целью определения в какой степени оказывает влияние диапазон изменения механической скорости проходки на величину радиуса загрязнения. В результате, на примере проводки горизонтальных участков скважин Приразломного месторождения, было установлено, что при бурении с винтовым забойным двигателем (ВЗД) и с механической скоростью проходки менее 5 м/ч происходит резкий рост величины радиуса загрязнения.

На основании анализа существующих методик, направленных на повышение качества очистки ствола скважины, сделан вывод о том, что максимально допустимая механическая скорость проходки, при соблюдении условия высоких ТЭП и безаварийной проводки ствола скважины, ограничивается величиной максимальной допустимой подачи бурового раствора.

Одним из доминирующих факторов, влияющих на процесс загрязнения, наиболее значимым и вместе с тем управляемым, является репрессия на пласт. Оценка влияния и регулирования репрессии на пласт положена в основу предлагаемого подхода к выбору технико-технологических решений первичного вскрытия при составлении гидравлической программы строительства, сущность которого заключается в следующем.

Исходя из геологической характеристики коллектора, времени бурения ствола в продуктивной части разреза, состава КНБК, способа бурения, режимных параметров бурения, соответственно создаваемой репрессии на пласт необходимо определить степень поражения продуктивного пласта. На основании этого, при проектировании процесса вскрытия продуктивного пласта, следует выбирать такие технико-технологические решения, которые обеспечивают условия качественной очистки ствола и минимизации величины радиуса загрязнения. Одним из направлений уменьшения репрессии на пласт, за счет уменьшения гидравлических сопротивлений в кольцевом пространстве



в процессе бурения скважин с большим отклонением ствола от вертикали, может явиться использование системы двухканальной циркуляции раствора, при которой осуществляется перераспределение восходящего потока бурового раствора за бурильной колонной и в кольцевое незацементированное пространство между обсадными трубами. Результатом является кратное уменьшение гидравлического сопротивления, одним из следствий - повышение механической скорости.

**В четвертом разделе** представлен методический подход по выбору типа скважины – ГС и/или МЗС, числа ответвлений, протяженности горизонтального ствола в зависимости от величины отхода ствола от вертикали при кустовом разбуривании шельфовых месторождений.

Известно, что одним из путей повышения нефтеотдачи пласта в ГС является повышение качества первичного и вторичного вскрытия пласта. Другим путем решения проблемы является правильный выбор варианта размещения ГС и МЗС на структуре месторождения. Рассмотрение этих двух направлений во взаимосвязи с технико-технологической реализуемостью проектного профиля позволило сформировать комплексный подход с целью повышения эффективности применения ГС и МЗС при освоении морских месторождений.

Комплексный подход, основанный на выполнении условий соответствия проектных решений технико-технологической реализуемости, осуществления безаварийной проводки, обеспечения проектного КП и снижения стоимости строительства ГС и МЗС, по-новому ставит задачу в практике проектирования для определения типа скважины (ГС и/или МЗС), рациональной протяженности горизонтального ствола и числа ответвлений в продуктивной части разреза. Для выработки рационального решения при сравнении различных вариантов указанный подход должен опираться на критерий, который учитывал бы перечисленные аспекты.

В рамках рассматриваемой проблематики, сформулированных выше задач приводится методика по обоснованию длины завершающей части профиля в зависимости от отклонения ствола от вертикали и выбору скважин по их видам (ГС/МЗС) при проектировании системы разбуривания месторождения.

При кустовом способе разбуривания месторождения, являющимся наиболее выгодным для освоения шельфовых месторождений, вполне оправданный интерес может представлять подход, при котором ГС и МЗС с меньшими значениями отклонения ствола от вертикали на кровле (протяженности направляющей части профиля скважины) будут иметь наибольшее значение длины горизонтального участка, а по мере увеличения отклонения от вертикали длина горизонтального участка будет снижаться. Концепция приведения в соответствие длины направляющей части профиля и горизонтального участка ставит своей целью повышение гарантии безаварийной проводки, повышение показателей бурения, снижение отрицательного воздействия на ОЗП, сокращение дополнительных затрат на выполнение ряда технико-технологических решений, без использования которых невозможна проводка скважин с большим отклонением ствола от вертикали, при условии обеспечения суммарного по месторождению (фрагменту месторождения) КП.

Для того, чтобы охарактеризовать каждую скважину в соответствии с концепцией предлагаемой методики, на стадии проектирования предлагается использовать разработанный комплексный критерий  $K_k$ . Этот комплексный параметр вводится для того, чтобы соотнести КП (в начальный период разработки) к капитальным затратам на строительство с учетом степени сложности реализации проектного профиля. В итоге, общий вид зависимости комплексного критерия представлен в следующем виде:

$$K_k = f(KП, c_u K_o), \quad (1)$$

где  $c_u$  – удельные капитальные затраты на единицу длины скважины;  $K_o$  – коэффициент отклонения (сложности) – обобщенный технико-технологический показатель, используемый как в отечественной, так и в зарубежной практике проектирования и строительства скважин для указания степени сложности реализации проектного профиля.

На рисунках 3 и 4 показаны зависимости изменения величины  $K_k$  от длины горизонтального ствола ( $L_{гор}$ ) и трехмерный вид графика зависимости  $K_k$  от длины направляющей ( $L_{напр}$ ) и горизонтальной частей соответственно. По обоим графикам видно, что с ростом длины направляющей части уменьшается максимальная величина  $K_k$  при одновременном формировании тенденции смещения её в сторону роста длины горизонтального ствола. Потенциал,

заложенный в снижении удельных капитальных затрат, приходящихся на направляющую и завершающую части, значительно повысит значение  $K_k$ .

Таким образом, предлагаемый метод выбора длины горизонтального участка ГС при проектировании системы разработки нефтегазового месторождения позволяет повысить технико-экономическую и эксплуатационную эффективность строительства скважин с кустовой платформы за счет того, что по мере увеличения отклонения ствола от вертикали и глубины скважины протяженность горизонтального участка в продуктивном пласте уменьшается от наибольшего значения до минимального и обеспечивает снижение риска при решении поставленной геологической и технологической задач.

На основании эксплуатационных показателей добычи и технико-технологических факторов по проводке скважины обоснование выбора в пользу строительства МЗС и типа ее конфигурации (расположение и число боковых стволов) определяется путем выявления приемлемого варианта. В первую очередь рассчитывают КП и определяют, может ли в данных геологических условиях ГС обеспечить такой приток, учитывая возможность реализации профиля с позиций техники и технологии и предполагаемых затрат как в процессе строительства, так и добычи. Если нет, то подбирают конфигурацию МЗС, способную обеспечить лучшие условия дренирования пласта с достижением проектной производительности, удовлетворяя требованиям наибольшей надежности безаварийной проводки и заканчивания, и соблюдения высоких ТЭП. В связи с этим, при сравнении эффективности применения МЗС и ГС помимо КП следует опираться и на  $K_k$ .

В случае строительства МЗС предложенный общий вид комплексного критерия аналогичен ГС.

Результаты расчетов на примере Приразломного месторождения показали, что используя характеристику КП при выборе того или иного типа скважины, МЗС не всегда представляет собой выгодную альтернативу бурению ГС. Определяя на стадии проектирования, как с позиции эффективности эксплуатации, так и условий строительства, тип скважины, конфигурацию, длину МЗС или ГС, выступающих в качестве двух альтернативных друг другу технологий, целесообразно руководствоваться двумя параметрами - КП и  $K_k$ .

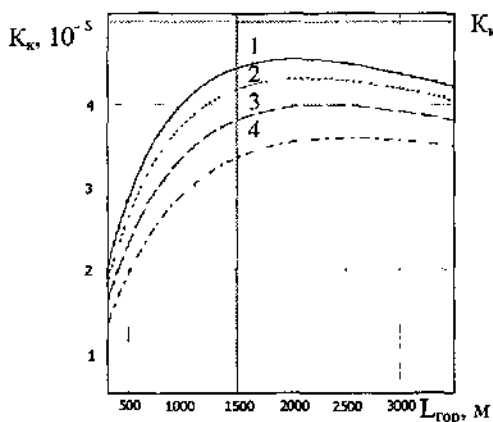


Рис.3 Изменения величины комплексного критерия от длины горизонтального ствола, при различных значениях длины направляющей части (1, 2, 3, 4 соответственно при 6000, 6400, 7061, 8000 м)

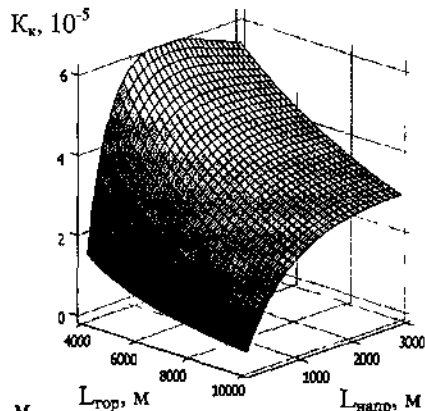


Рис.4 Общий вид трехмерного графика зависимости комплексного критерия от длины направляющей и горизонтальной части

Главную цель строительства скважины необходимо рассматривать не только как создание надежного, прочного и долговечного промышленного объекта, но и как соблюдение технологической схемы разработки месторождения с проектными показателями эксплуатации. В связи с этим, предложен подход к определению критерия качества, характеризующего соответствие проектных решений фактическим, включая качество вскрытия.

Критерий качества проектных решений должен складываться из многообразия факторов и структурирования с позиций: реализации проектного профиля; соблюдения технико-технологических требований при производстве буровых работ; равенства фактических эксплуатационных показателей добычи проектным. При этом математическая форма записи критериев представляется таким образом, что позволяет привести их к долям единицы. При стремлении произведения критериев к единице ( $K_i \rightarrow 1$ ) возможно достижение цели по качественному выполнению проектных решений. Предлагаемые критерии, дифференцирующие перечисленные аспекты, отражают основные положения качества строительства скважины.

## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1 Разработан научно-методический подход определения параметров построения различных типов профиля, позволяющий осуществлять расчет при меньшем числе исходных данных по сравнению с известными методиками.

Обоснована форма четырехинтервального (волнообразного) профиля завершающей части ГС/МЗС в пределах продуктивного пласта с учетом рекомендованных рациональных соотношений длин участков набора, стабилизации, донора и спада зенитного угла.

2 Усовершенствован способ резки боковых стволов из обсадной колонны для строительства МЗС на море, особенно в условиях ведения работ с плавучих буровых установок в сложных гидрометеорологических условиях, обеспечивающий решение задач по снижению риска возможных осложнений и аварий при резке, сокращение сроков на проведение технологических операций, создание надежного и качественного места разветвления стволов для последующей эксплуатации скважины.

3 Предложены технико-технологические решения по первичному вскрытию продуктивного пласта для повышения показателей последующей эксплуатации месторождения на базе разработки рациональной гидравлической программы, основанной на снижении степени загрязнения продуктивного пласта в единстве с техническими и технологическими факторами проводки ГС/МЗС с большим отклонением ствола от вертикали.

4 Показано, что влияние на продуктивность пласта величин репрессии и времени бурения определяет относительно равномерный характер формирования радиуса загрязнения вдоль горизонтального ствола в изотропном пласте.

Установлено, что выбор технико-технологических решений для бурения протяженного горизонтального ствола для месторождения Приразломное имеет принципиальный характер на качество первичного вскрытия при величинах коэффициента восстановления проницаемости менее 75%.

5 Предложен методический подход к выбору типа профиля ГС и МЗС с большим отклонением ствола от вертикали с целью качественного повышения уровня проектирования системы разработки шельфовых месторождений с морских гидротехнических сооружений кустовым способом, учитывающий эксплуатационные показатели добычи, капитальные затраты и технико-технологические факторы строительства, где ГС с меньшими значениями от-

клонения ствола от вертикали на кровле будут иметь наибольшее значение длины горизонтального ствола, в случае МЗС – большую длину и число боковых стволов, а по мере увеличения отклонения ствола от вертикали длина горизонтального ствола будет снижаться.

6 Введены новые критерии оценки выполнения проектных решений при строительстве ГС/МЗС с учетом требований к качеству вскрытия продуктивного пласта.

**Основные положения диссертации отражены в следующих работах:**

1 Оганов Г.С., Гайдамака В.И., Обухов С.А. и др. «Разработка проекта на строительство разведочной скважины на Штокмановском газоконденсатном месторождении» / научный сборник Трудов IV международной конференции RAO-03 «Освоение шельфа арктических морей России», Санкт-Петербург, 16-19 сентября 2003г. – с.76-79.

2 Оганов А.С., Обухов С.А., Парыгин Р.В. «Разработка методического подхода для проектирования боковых ответвлений и стволов» / журнал «Вестник АБП» №3, 2003г. – с.6-11.

3 Оганов Г.С., Обухов С.А. Техничко-технологическое решение для забурирования боковых ответвлений из обсадной колонны при строительстве многозабойных скважин / материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2004», - Мурманск: МГТУ, 2004. – с.127-131.

4 Обухов С.А., Парыгин Р.В. Расчет завершающей части профиля ствола горизонтальных и многозабойных скважин в соответствии с новым методическим подходом для проектирования профилей / материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2004», - Мурманск: МГТУ, 2004. – с.132-136.

5 Оганов Г.С., Обухов С.А. Техничко-технологические аспекты при проектировании строительства разведочных скважин на газоконденсатном месторождении "Штокмановское" (шельф Баренцева моря) / материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2004», - Мурманск: МГТУ, 2004. – с.136-140.

6 Обухов С.А. Комплексный технико-технологический подход для первичного вскрытия пласта горизонтальным стволом / материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2005», - Мурманск: МГТУ, 2005. – с.112-115.

7 Оганов Г.С., Обухов С.А., Молчанов Д.Н., Макаров П.А. Разработка методов проектирования строительства скважин на месторождениях континентального шельфа / материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2005», - Мурманск: МГТУ, 2005. – с.115-118.

8 Обухов С.А. Совершенствование метода расчета профилей боковых стволов многозабойных скважин / материалы научной конференции аспирантов, молодых преподавателей и сотрудников ВУЗов и научных организаций «Молодежная наука – нефтегазовому комплексу», - Москва: РГУНГ, 2004г. – с.34.

9 Оганов Г.С., Обухов С.А. Новый способ для забуривания БС и ответвлений в скважине из обсадной колонны / материалы научной конференции аспирантов, молодых преподавателей и сотрудников ВУЗов и научных организаций «Молодежная наука – нефтегазовому комплексу», - Москва: РГУНГ, 2004г. с.35.

10 Оганов Г.С., Гряколов А.П., Обухов С.А. и др. Техно-технологические аспекты проектирования строительства разведочной наклонно-направленной скважины на газоконденсатном месторождении Штокмановское / журнал "Вестник АБП" №4, 2003г.

11 Обухов С.А., Оганов Г.С. Проектирование рациональной гидравлической программы бурения горизонтальных и многозабойных скважин на континентальном шельфе России / сборник тезисов IV международном семинаре «Горизонтальные скважины», - Москва: РГУНГ, 2004. - с.44-45.

12 Оганов Г.С., Обухов С.А., Гайдамака В.И. Разработка методического подхода по выбору профиля горизонтальных и многозабойных скважин с большим отклонением ствола от вертикали при освоении шельфовых месторождений / НТЖ. Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и море, М., ВНИИОЭНГ, № 10, 2005. – с.2-9.

13 Оганов Г.С., Обухов С.А., Макаров П.А. и др. Современный комплексный подход при разработке проекта на строительство скважин с большим отходом от вертикали при освоении Арктического шельфа России (первый отечественный опыт) / научный сборник Трудов V международной конференции РАО-05 «Освоение ресурсов нефти и газа российской Арктики и континентального шельфа стран СНГ», Санкт-Петербург, 13-15 сентября 2005г. - с.35-38.

14 Оганов Г.С., Обухов С.А., Иванычев Р.В. и др. Техно-технологические аспекты проектирования строительства скважин с большим отклонением ствола от вертикали при разбуривании Приразломного нефтяного месторождения / журнал «Вестник АБП» №2, 2005г. – с.4–10.

15 Оганов Г.С., Обухов С.А., Гряколов А.П. и др. Первый отечественный опыт проектирования строительства скважин с большим отклонением ствола от вертикали на Арктическом шельфе России / журнал «Нефть и Капитал» (приложение Технологии ТЭК) №4, 2005г. – с.15–19.

Соискатель

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Обухов' (Obukhov), with a long horizontal flourish extending to the right.

Обухов С.А.



ДЛЯ ЗАМЕТОК

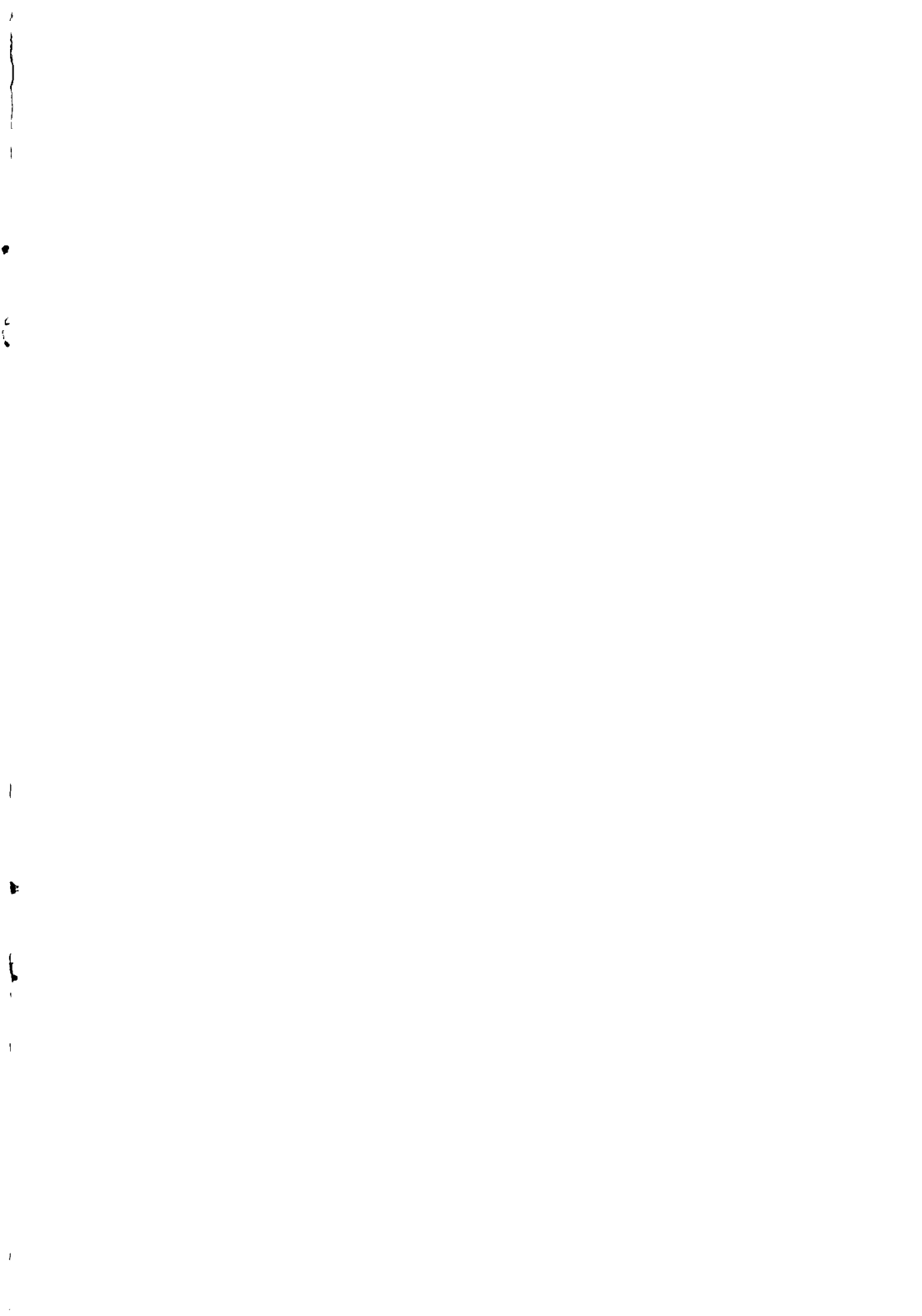
ФЛЦ №000384-1,2,3,4 от 28.11.2001г.

---

Подписано в печать 26.10.2005. Формат 21х29,7  
Набор компьютерный. Гарнитура Times New Roman  
Тираж 90 экз. Заказ №1

---

ЗАО «Курортпроект»  
115114 Москва, ул. Кожевническая д 10/2



№ 2 1 3 5 4

РНБ Русский фонд

2006-4

20054