

образца с проверкой работоспособности автосцепного оборудования и установленных на вагоне механизмов. Неисправностей и повреждений не выявлено.

При проведении ходовых прочностных испытаний контролировались динамические напряжения в наиболее нагруженных сечениях элементов измененной рамы. Испытания проводились в груженом состоянии. Опытный поезд для проведения испытаний был загружен щебнем крупной фракции в мешках, исходя из условия 100 кг на одно пассажироместо, и был сформирован из двух моторных (головных) и двух немоторных вагонов. Требуемый массив экспериментальной информации по исследуемым величинам при ходовых прочностных испытаниях получен путем последовательного набора записей (реализации) процессов при движении дизель-поезда по прямым и кривым участкам пути, а также на стрелочном переводе во всем проектном диапазоне допускаемых эксплуатационных скоростей вплоть до конструкционной скорости, при движении прямым и обратным ходом.

Также регистрировались значения напряжений при трогании с места, переходные процессы (тяга – сброс тяги – выбег) для различных скоростей и участков движения. Непосредственно перед началом заездов на каждый из исследуемых участков снимались показания тензорезисторов и принимались за нулевое значение. Записи выполнялись с частотой дискретизации не менее 400 Гц и аппаратной фильтрацией частотой 40 Гц. Регистрация измеряемых процессов производилась кадрами различной длительности в зависимости от длины опытного участка пути и скорости движения.

При обработке результатов ходовых прочностных испытаний производилась систематизация зарегистрированных параметров в зависимости от характера пути и режимов движения опытного поезда и производилась отбраковка недостоверных данных.

По результатам проведенной расчетно-экспериментальной оценки установлено, что модернизированная рама под силовую установку и гидropередачу дизель-поезда типа ДР1Б удовлетворяет требованиям [3] в части соответствия прочности при действии максимальных продольных ударных сил (максимальное значение 212,5 МПа).

Литература

1. Оценка прочности несущих конструкций вагонов метрополитена с учетом прогнозирования их технического состояния / П. М. Афанаськов [и др.] // Вестн. БелГУТа: Наука и транспорт. – 2020. – № 2 (45). – С. 79–84.
2. Afanaskou, P. Estimation of the Residual Resource of a Dumping Wagon for Transportation of Bulky Cargo after Long-term Operation / P. Afanaskou, R. Charnin // Transport means 2021. – 2021. – Part I. – P. 402–405.
3. ГОСТ 33796–2016. Моторвагонный подвижной состав. Требования к прочности и динамическим качествам. – Минск : Госстандарт, 2017. 35 с.

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УРОВНЯ ЖИДКОСТИ В НЕФТЯНЫХ СКВАЖИНАХ МЕТОДОМ ЭХОЛОКАЦИИ

Н. В. Бочаров, У. В. Ключко

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель И. С. Шепелева

Рассмотрен принцип определения динамического уровня жидкости в затрубном пространстве нефтяных скважин при помощи эхолотрии, а также приведен обзор основных неопределенностей, связанных с уровневными замерами, и пути их решения.

Ключевые слова: эхометрия, гидродинамические исследования скважин, динамический уровень, контроль эксплуатации скважин, промышленное оборудование.

Углеводородное сырье является очень важным компонентом государственной экономики и энергетической безопасности страны. Совершенствование технологий добычи нефти, а также создание эффективных методов регулирования процесса разработки нефтяных и газовых залежей остается существенной проблемой в долгосрочном планировании в нефтегазовой отрасли. Большинство нефтяных месторождений в Припятском прогибе находятся на завершающей стадии разработки, поэтому особое значение имеет наличие качественных нефтепромысловых данных, характеризующих энергетику залежей. Пластовые и забойные давления, характеризующиеся уровнем жидкости в нефтедобывающих скважинах, являются важнейшими факторами, определяющими энергетические возможности пласта, производительность скважины и залежи в целом.

Целью данной работы является рассмотрение основных методов определения динамического уровня жидкости в скважине, а также выявление основных трудностей, связанных с уровневными замерами.

подавляющее большинство скважинного фонда эксплуатируется с помощью глубинного насосного оборудования, которое должно иметь определенную производительность и устанавливаться на расчетной глубине относительно устья скважины и продуктивного пласта. Как правило, совокупность этих технических решений и обеспечивает сбалансированность системы «пласт – скважина – насос», когда приток жидкости из пласта в скважину соответствует производительности глубинного насоса [1]. В настоящее время добыча нефти осуществляется в основном установками штанговых глубинных насосов и установками электроцентробежных насосов. Динамический уровень жидкости в межтрубном пространстве скважины оказывает значительное влияние на работу насосных установок. Если уровень жидкости опустится ниже глубины установки насоса, то снизится коэффициент его заполнения, что приведет к увеличению трения между элементами и, соответственно, к увеличению температуры и выходу оборудования из строя. Достоверное определение динамического уровня жидкости в межтрубном пространстве скважины является одним из важных факторов, влияющих на правильную оценку потенциала скважины и адекватность решений, направленных на повышение эффективности работы нефтедобывающего оборудования.

Основными способами определения уровня жидкости в скважине являются: измерения термоманометрическими системами, динамометрия и ваттметрия, а также эхометрия. Последний способ является наиболее распространенным ввиду простоты исполнения и невысокой стоимости. Эхометрия, в отличие от других способов, не требует извлечения скважинного оборудования и спуска специальных измерительных устройств.

Принцип акустического измерения уровня жидкости основан на генерации звукового импульса специальным устройством на устье скважины, затем происходит распространение импульса по межтрубному пространству и отражение от муфтовых соединений насосно-компрессорных труб (НКТ), линии раздела фаз, а также других препятствий. Отраженные волны возвращаются на устье, где регистрируются приемным устройством и после обработки представляются в виде эхограмм (рис. 1). В РУП «Производственное объединение «Белоруснефть» используются скважинные уровнемеры СУДОС, которые состоят из генератора и приемника акустической волны.

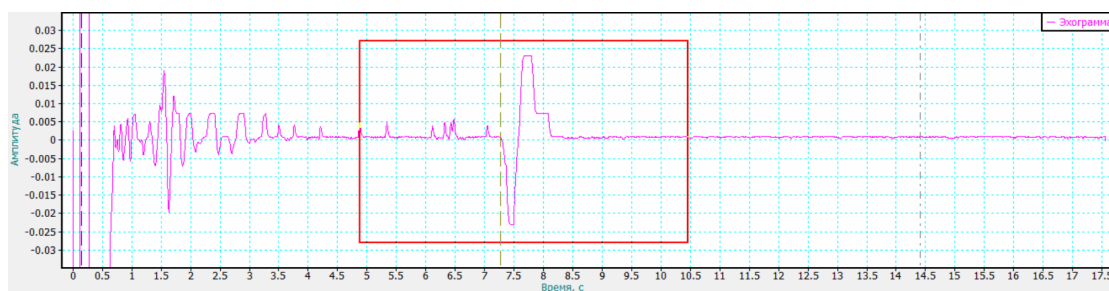


Рис. 1. Типичная эхограмма, получаемая при замере уровня жидкости в скважине

Дальнейшее определение уровня жидкости сводится к нахождению явного излома в эхограмме, который свидетельствует об отражении звуковой волны от раздела фаз – газа и столба жидкости. Путем умножения времени прохождения волны от устья до раздела фаз на скорость звуковой волны находится положение динамического уровня жидкости в скважине. Расчет глубины положения жидкости обычно производится на стандартную скорость звука – 320 м/с, вне зависимости от каких-либо геолого-технических условий объектов исследования. Однако, как показали различные исследования [2–4], скорость звука существенным образом зависит от нескольких параметров: давления и температуры, компонентного состава и плотности газа в затрубном пространстве скважины, глубины динамического уровня жидкости.

Основной задачей для достоверного определения динамического уровня жидкости в межтрубном пространстве является точное определение скорости распространения звуковой волны в конкретной среде. В настоящее время существуют следующие методы оценки звуковой волны:

- по существующим теоретическим диаграммам (рис. 2), в зависимости от плотности газа и затрубного давления, составленных для некоторых месторождений. Такие диаграммы приведены в справочной литературе и требуют уточнения под конкретные условия исследования;

- путем подсчета количества отражений акустической волны от соединений НКТ известной длины;

- путем измерения времени прохождения акустической волны от устья скважины до репера (специальные отражающие элементы, изменение диаметров НКТ и обсадных труб и т. д.), т. е. объекта, расположенного на заранее известной глубине.

Наиболее распространены методы определения скорости звуковой волны путем идентификации и подсчета отражений от соединений труб или же используя заранее установленные реперы. Но необходимо учитывать тот факт, что затрубное давление, температура и плотность газа изменяется по всей длине скважины. Что приводит к различию скоростей звука в разных частях скважины. Более того, присутствует эффект затухания звуковой волны по мере отдаления от источника звука, что приводит к необходимости расчета скорости звуковой волны по всей длине ствола скважины.

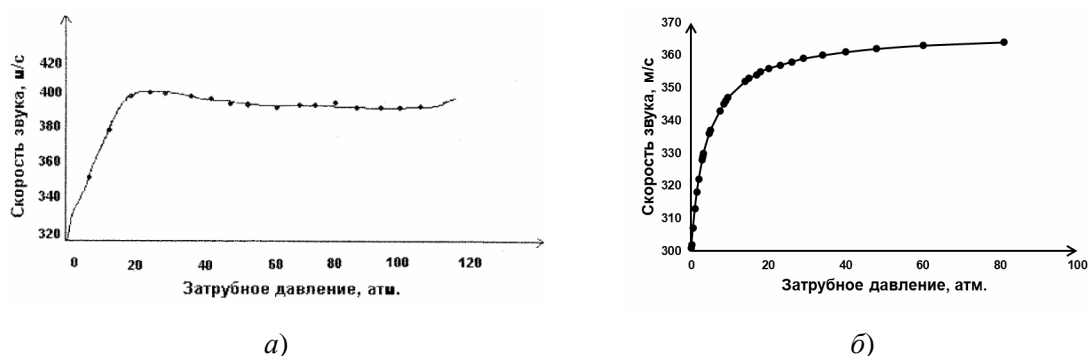


Рис. 2. Экспериментальные зависимости скорости звука от затрубного давления: а – приведенные в [4]; б – на одном из месторождений в Республике Татарстан

Современное состояние нефтегазодобычи требует наличие достоверных данных по определению динамических уровней жидкости в скважине, так как для залежей, с заведомо низкими пластовыми давлениями, близкими к давлению насыщения нефти, погрешности в расчетах пластового давления по данным уровневым замеров будут иметь определяющее значение с позиции недопущения возможного разгазирования нефти с последующей потерей возможности добычи части активных запасов углеводородов. Достоверная оценка текущих пластовых давлений также имеет важное значение при оценке эффективности проведения различных геолого-технологических мероприятий, а также с позиции предотвращения смятия эксплуатационных колонн в условиях снижения пластового давления, в частности для залежей, разрабатываемых без системы ППД. Кроме того, погрешности при определении уровня жидкости в скважине могут приводить к снижению эффективности работ по подбору и оптимизации насосного оборудования.

Дальнейшая работа по данной тематике направлена на выявление зависимостей скорости звука от различных геолого-технических параметров для ряда белорусских нефтяных месторождений в Припятском прогибе с целью повышения качества регулирования их разработки и оптимизации использования скважинного насосного оборудования.

Л и т е р а т у р а

1. Технические решения по оценке уровня жидкости в нефтедобывающих и водозаборных скважинах / И. З. Денисламов, И. К. Гималтдинов, Р. Н. Якубов, А. И. Денисламова // Известия Томского политехнического университета [Известия ТПУ]. Инжиниринг георесурсов. – 2020. – Т. 331, № 6. – С. 197–207.
2. Thomas, Kent L.. "A Review of the Acoustic Determination of Liquid Levels in Gas Wells." *J Pet Technol* 20 (1968): 784–785. doi: <https://doi.org/10.2118/2047-PA>
3. Исследование состава флюидов и процессов в межтрубном пространстве нефтедобывающих скважин / И. З. Денисламов, Ш. А. Гафаров, П. А. Засов, А. И. Денисламова // Нефтепромысловое дело. – 2018. – № 4. – С. 38–42. – DOI 10.30713/0207-2351-2018-4-38-42. – EDN YUSANK.
4. Сваровская Н. А. Влияние условий прохождения звуковой волны на скорость ее распространения в затрубном пространстве скважины и оценку уровня жидкости при эхолокации / Н. А. Сваровская, С. Г. Перминов // Изв. Том. политехн. ун-та. – 2002. – Т. 305, вып. 8 : Геология и разработка нефтяных и газовых месторождений. – С. 157–160.