

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
КАЗАНСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

А.В. САФОНОВ

**ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ
КОЛИЧЕСТВА УГЛЕВОДОРОДНЫХ ЖИДКОСТЕЙ
И СЖИЖЕННЫХ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ГАЗОВ**



**КАЗАНЬ
2021**

УДК 53.089.5+622.276+681.5.08

ББК 33.361

C21

*Печатается по рекомендации
заседания кафедры метрологии и средств измерения расхода нефти и газа
Казанского (Приволжского) федерального университета
(протокол № 9 от 30.06.2021 г.)*

Под редакцией

заведующего кафедрой метрологии и средств измерения количества
нефти и газа, кандидата физико-математических наук,
члена-корреспондента РМА **И.И. Фишмана**

Рецензенты:

доктор технических наук, руководитель департамента
ООО «Системы нефть и газ» **Н.С. Арбузов** (Москва);
кандидат технических наук, ученый-хранитель
государственного первичного эталона массы, сотрудник ФГУП «ВНИИМ
имени Д.И. Менделеева» **В.С. Снегов** (Санкт-Петербург)

Сафонов А.В.

C21 Повышение точности измерений количества углеводородных жидкостей и сжиженных углеводородных газов / А.В. Сафонов. – Казань: Издательство Казанского университета, 2021. – 178 с.

ISBN 978-5-00130-499-9

Монография является результатом проведенных исследований, испытаний средств измерений и многолетнего опыта автора в области коммерческого учета нефти и нефтепродуктов. В монографии описана история и развитие систем измерений количества и показателей качества нефти при товарно-коммерческих операциях. Описаны и представлены рекомендации по совершенствованию метрологического обеспечения измерений с помощью таких систем. Показано влияние физико-химических свойств и условий течения углеводородных жидкостей на точность преобразователей массы, объема и плотности.

Монография предназначена для метрологов и специалистов нефтегазовой отрасли, национальных метрологических институтов, деятельность которых связана с проектированием, изготовлением, техническим обслуживанием, исследованиями и испытаниями, метрологическим обеспечением систем измерений количества и показателей качества углеводородных жидкостей. Она будет полезна для студентов и работников научно-исследовательских институтов.

Предназначено для бакалавров и магистров направлений подготовки 21.03.01 «Нефтегазовое дело» и 21.04.01 «Нефтегазовое дело» соответственно.

Подготовлено в ООО «НГИТ» и на кафедре метрологии и средств измерения расхода нефти и газа ИГ и НГТ Казанского (Приволжского) федерального университета.

УДК 53.089.5+622.276+681.5.08

ББК 33.361

ISBN 978-5-00130-499-9

© Сафонов А.В., 2021

© Издательство Казанского университета, 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	5
1. Измерения количества и показателей качества углеводородных жидкостей	7
1.1. История появления и развития динамических систем измерений....	7
2. Основные правила построения систем измерений количества и показателей качества углеводородных жидкостей	15
2.1. Системы динамических измерений количества и показателей качества	15
2.2. Системы статических измерений количества и показателей качества	19
2.3. Отбор проб углеводородных жидкостей	21
2.4. Устройства стабилизации потока жидкости в измерительной линии.....	25
2.5. Преобразователи объема и массы в составе систем измерений количества и показателей качества.....	28
2.6. Преобразователи плотности, влагосодержания и вязкости.....	39
2.7. Весы для калибровки и поверки мерников	45
2.8. Мерники и эталонные поверочные установки для поверки средств измерений объема.....	46
2.9. Трубопоршневые поверочные установки	47
2.10. Мастер-счетчики	50
2.11. Измерительно-вычислительные комплексы и системы обработки информации	51
2.12. Индикатор фазового состояния.....	51
3. Факторы, влияющие на точность измерений количества углеводородных жидкостей	53
3.1. Влияние монтажа в измерительный трубопровод преобразователей расхода.....	54
3.2. Влияние величины противодавления на метрологические характеристики преобразователей расхода.....	57
3.3. Влияние вязкости рабочей жидкости и числа Рейнольдса на точность измерений.....	58
3.4. Влияние условий монтажа преобразователей температуры на результат измерений.....	63
3.5. Влияние вместимости пикнометра и измерений температуры на результат определения плотности.....	63
3.6. Влияние конструкции трубопоршневой поверочной установки на результат измерений.....	66
3.7. Факторы, влияющие на точность измерений количества газового конденсата.....	67

4. Измерения количества и показателей качества сжиженного природного газа	74
4.1. Измерения количества энергии сжиженного природного газа при товарно-коммерческих операциях	75
4.2. Статические измерения количества сжиженного природного газа	77
4.3. Отбор проб и оценка достоверности отбора сжиженного природного газа	80
4.4. Оценивание неопределенности при отборе проб сжиженного природного газа	94
4.5. Факторы, влияющие на точность динамических измерений количества сжиженного природного газа	104
4.6. Определение плотности и теплотворной способности сжиженного природного газа	113
4.6.1. Определение плотности сжиженного природного газа	113
4.6.2. Определение высшей теплотворной способности сжиженного природного газа	116
4.7. Изменения физико-химических свойств сжиженного природного газа при хранении и транспортировке	121
5. Совершенствование методов измерений массы	124
5.1. Методы повышения точности измерений на основе применения компараторов массы	124
5.2. Совершенствование методов взвешивания на компараторах массы	127
5.3. Методы повышения точности взвешивания	131
5.4. Комплексное решение задачи повышения точности систем измерений массы и объема углеводородных жидкостей на основе новых измерительных технологий	143
5.5. Методы совершенствования статических измерений количества сжиженного природного газа	146
5.6. Локальная поверочная схема для средств измерений массы и объема сжиженного природного газа	152
6. Неопределенность и погрешность измерений	161
6.1. История появления неопределенности	161
6.2. Классификация неопределенностей	163
6.3. Оценивание входных величин и их стандартных неопределенностей	164
6.4. Обеспечение единства измерений	165
Список основных сокращений и условных обозначений	167
Список использованной литературы и источников	169