

УДК 532.5  
ББК 22.253.3  
М73

*Печатается по решению редакционно-издательского совета  
Казанского национального исследовательского технологического университета*

*Рецензенты:*

*д-р техн. наук, проф. Ф. М. Галимов  
канд. физ.-мат. наук В. В. Рыжов*

**М73**      **Авторы: В. Н. Петров, Ю. К. Евдокимов, С. Л. Малышев,  
В. Ф. Сопин, Я. В. Денисова**  
Многофазные испытательные стенды газожидкостных смесей: мет-  
рология, моделирование, подобие : монография / В. Н. Петров  
[и др.]; Минобрнауки России, Казан. нац. исслед. технол.  
ун-т. – Казань : Изд-во КНИТУ, 2020. – 136 с.

ISBN 978-5-7882-2846-4

Рассмотрены основы теории подобия газожидкостных систем и ее связь с построением физико-математических моделей. Приводятся методы приближенного и точного моделирования. Особое внимание уделено анализу процесса переноса массы в движущейся газожидкостной смеси. Рассмотрена физическая интерпретация фундаментальных критериев подобия. Обсуждаются вопросы, связанные с формированием требований к разработке технологического оборудования многофазных испытательных стендов. Освещены вопросы обеспечения единства измерений и метрологических требований к измерениям расхода компонент многофазных потоков с использованием испытательных стендов.

Предназначена для научных и инженерно-технических работников, занимающихся проектированием рабочих эталонов, испытательных стендов, средств и систем измерений массового и объемного расхода газожидкостных смесей. Может быть полезна аспирантам и студентам, интересующимся вопросами метрологического обеспечения измерений параметров газожидкостных сред.

Подготовлена на кафедре аналитической химии, сертификации и менеджмента качества.

**УДК 532.5  
ББК 22.253.3**

ISBN 978-5-7882-2846-4

© Петров В. Н., Евдокимов Ю. К., Малышев С. Л.,  
Сопин В. Ф., Денисова Я. В., 2020  
© Казанский национальный исследовательский  
технологический университет, 2020

## Содержание

Предисловие .....	5
<b>1. ПОДОБИЕ МНОГОФАЗНЫХ ПОТОКОВ В ОГРАНИЧЕННОМ КАНАЛЕ.....</b>	<b>10</b>
1.1. Физическое подобие .....	10
1.2. Критерии подобия газожидкостных потоков.....	17
<b>2. РЕЖИМЫ ТЕЧЕНИЯ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГАЗОЖИДКОСТНОГО ПОТОКА В КАНАЛЕ.....</b>	<b>22</b>
2.1. Разнообразие структур течения газожидкостных сред.....	22
2.2. Двухфазное течение в каналах .....	32
2.3. Математическое моделирование режимов течения газожидкост- ной смеси.....	38
2.3.1. Пузырьковый режим течения .....	38
2.3.2. Поршневой режим течения .....	41
2.3.3. Расслоенный режим течения.....	44
2.3.4. Капельный режим течения .....	49
2.3.5. Кольцевой режим течения.....	50
<b>3. МНОГОФАЗНЫЕ ИСПЫТАТЕЛЬНЫЕ СТЕНДЫ ГАЗОЖИДКОСТНЫХ СМЕСЕЙ .....</b>	<b>53</b>
3.1. Схемы испытательных стендов и их характеристики .....	53
3.2. Газожидкостные потоки в магистралях многофазных стендов .....	59
3.3. Систематическая погрешность испытательного стенда .....	62
<b>4. ЭТАЛОНЫ МАССОВОГО РАСХОДА ГАЗОЖИДКОСТНЫХ СМЕСЕЙ .....</b>	<b>69</b>
4.1. Конструктивные особенности газожидкостных эталонов .....	69
4.2. Государственный первичный специальный эталон массового расхода газожидкостных смесей ГЭТ 195-2011.....	76
4.2.1. Описание первичного специального эталона .....	77
4.2.2. Метрологические характеристики эталона .....	87

4.2.2.1. Определение массового расхода газожидкостной смеси.....	87
4.2.2.2. Определение массового расхода жидкой смеси .....	89
4.2.2.3. Определение объемного расхода газа .....	90
4.2.2.4. Оценка неопределенности результатов измерений .....	91
4.2.3. Методика проведения испытаний .....	92
4.2.3.1. Методика определения влагосодержания.....	92
4.2.3.2. Дозирование газа при различном расходе жидкой смеси .....	94
4.2.4. Определение погрешности и неопределенности величины влагосодержания.....	95
4.2.5. Течение газожидкостного потока в магистральных первичного специального эталона.....	97
4.2.6. Систематическая погрешность первичного специального эталона .....	98
<b>5. РАЗРАБОТКА И РАСЧЕТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ГАЗОЖИДКОСТНЫХ ЭТАЛОНОВ .....</b>	<b>104</b>
5.1. Методы расчета .....	104
5.2. Чувствительность расчетных характеристик потока к алгоритмам обработки программного продукта ANSYS Fluent.....	113
5.3. Сопоставление расчетных характеристик структуры потока с экспериментом .....	119
Заключение .....	124
Список литературы .....	126
Приложения .....	130