

В.И. Мелихов  
О.И. Мелихов  
Т.Т. Ле



**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-  
РАСЧЕТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ  
ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ  
ПРОЦЕССОВ  
В ГОРИЗОНТАЛЬНОМ  
ПАРОГЕНЕРАТОРЕ**

НАУКА

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»

В.И. Мелихов, О.И. Мелихов, Т.Т. Ле

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-  
РАСЧЕТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ  
ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ  
ПРОЦЕССОВ  
В ГОРИЗОНТАЛЬНОМ  
ПАРОГЕНЕРАТОРЕ**

МОСКВА НАУКА 2022

УДК 532.5, 621.039, 621.18  
ББК 22.253, 31.47  
М 47



*Издание осуществлено при финансовой поддержке  
Российского фонда фундаментальных исследований  
по проекту № 21-18-00036,  
не подлежит продаже*

**Мелихов В.И. Экспериментально-расчетные исследования гидродинамически процессов в горизонтальном парогенераторе / В.И. Мелихов, О.И. Мелихов, Т.Т. Ле. - М.: Наука, 2022. – 213 с. – ISBN 978-5-02-040899-9**

Монография посвящена результатам экспериментальных и расчетных исследований закономерностей течения двухфазной пароводяной смеси в горизонтальном парогенераторе (ПГ). Основная цель состояла в изучении возможности снижения влажности выходящего пара с помощью погруженного дырчатого листа (ПДЛ) с переменной степенью перфорации. Экспериментальные исследования проводились на стенде ПГВ (ЭНИЦ) представляющем собой поперечную вырезку натурального ПГ. В качестве основного расчетного инструмента использовался код STEG, основанный на двухжидкостной модели пароводяной смеси и разработанный специально для моделирования гидродинамически процессов в горизонтальном ПГ. Подробно изложена новая модель межфазного трения предложенная авторами монографии. Описаны результаты успешной валидации усовершенствованного кода STEG. Приведены результаты вариантных расчетов по определению оптимальной конструкции ПДЛ.

Книга рассчитана на широкий круг специалистов в области гидродинамики, многофазных течений, теплофизики, атомной энергетики.

ISBN 978-5-02-040899-9

© Мелихов В.И., Мелихов, О.И., Ле Т.Т., 2022  
© ФГУП Издательство «Наука», редакционно-издательское оформление, 2022

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие .....	5
<b>Глава 1. Проблемы моделирования гидродинамических процессов в горизонтальных парогенераторах .....</b>	<b>8</b>
1.1. Основные характеристики горизонтальных парогенераторов на АЭС с ВВЭР .....	8
1.2. Обзор работ по исследованию гидродинамических процессов в горизонтальных парогенераторах .....	11
<b>Глава 2. Экспериментальные исследования на стенде ПГВ .....</b>	<b>20</b>
2.1. Краткий обзор экспериментальных исследований гидродинамики погруженного дырчатого листа .....	20
2.2. Описание экспериментального стенда ПГВ .....	40
2.2.1. Общая характеристика стенда ПГВ .....	40
2.2.2. Конструкция модели парогенератора .....	42
2.2.3. Описание системы измерений и методики обработки опытных данных .....	45
2.2.4. Методика проведения испытаний и экспериментальные режимы .....	52
2.3. Экспериментальное определение гидравлического сопротивления ПДЛ .....	53
2.3.1. Описание экспериментальных режимов с равномерной подачей пара и ПДЛ равномерной перфорации .....	53
2.4. Определение гидравлического сопротивления ПДЛ .....	61
2.5. Экспериментальное исследование выравнивающей способности ПДЛ .....	66
<b>Глава 3. Математическая модель кода STEG .....</b>	<b>74</b>
3.1. Система уравнений, описывающих движение двухфазной пароводяной смеси .....	74
3.2. Термодинамические свойства двухфазной смеси .....	78
3.3. Модель межфазного сопротивления .....	78
3.3.1. Модель Симовича и др. ....	78
3.3.2. Модель кода TRACE .....	79
3.4. Модели для определения перепадов давления при течении двухфазного потока .....	80
3.4.1. Трение со стенкой .....	80
3.4.2. Гидравлическое сопротивление при обтекании пучка труб двухфазным потоком .....	81
3.4.3. Перепад давления на ПДЛ .....	85
3.4.4. Применение корреляций для перепадов давления в двухскоростной модели .....	86
3.5. Межфазный теплообмен .....	87

<b>Глава 4. Модель межфазного сопротивления Ле–Мелиховых</b> .....	88
4.1. Характерные зоны течения пароводяной смеси в горизонтальном парогенераторе .....	88
4.2. Модель межфазного сопротивления .....	90
4.2.1. Пузырьковое и пузырьково-снарядное течения .....	91
4.2.2. Эмульсионный режим .....	97
4.2.3. Дисперсный режим .....	99
4.2.4. Модель сепарации в паровом объеме .....	100
4.3. Обсуждение корреляции Ле–Мелиховых .....	111
<b>Глава 5. Валидация кода STEG на опытных данных</b> .....	115
5.1. Валидация кода STEG на экспериментах ПГВ .....	115
5.1.1. Нодализация схема и порядок расчета .....	115
5.1.2. Эксперименты с равномерной подачей пара (серия «1:1») .....	116
5.1.3. Эксперименты с неравномерной подачей пара (серия «3:1») .....	122
5.1.4. Эксперименты с сильно неравномерной подачей пара (серия «2:0») .....	126
5.1.5. Эксперименты с сильно неравномерной подачей пара (серия «0:2») .....	130
5.1.6. Сравнение результатов расчетов по различным моделям межфазного сопротивления .....	133
5.1.7. Анализ погрешностей расчетов .....	138
5.2. Валидация кода STEG на опытных данных, полученных на модели ПГВ-1500 ОБК «Гидропресс» .....	140
5.2.1. Краткое описание экспериментальной установки и экспериментальных режимов .....	140
5.2.2. Нодализация схема и порядок расчета .....	144
5.2.3. Сравнение результатов при использовании различных моделей межфазного сопротивления .....	146
5.2.4. Анализ полученных результатов .....	163
5.3. Валидация модели межфазного сопротивления Ле–Мелиховых на опытных данных, полученных на натурном ПГВ-1000 .....	165
5.3.1. Краткое описание экспериментов .....	165
5.3.2. Описания модели и нодализационной схемы .....	165
5.3.3. Сопоставление расчетных результатов кодом STEG с экспериментальными данными и данными, полученными другими кодами ..	170
<b>Глава 6. Исследования выравнивающей способности ПДЛ с помощью кода STEG</b> 176	
6.1. Анализ экспериментов с неравномерной подачей пара «3:1» и «2:0» с помощью кода STEG-M .....	176
6.2. Выбор степени перфорации ПДЛ для наилучшего выравнивания паровой нагрузки .....	180
6.3. Исследование выравнивающей способности ПДЛ парогенератора ПГВ-1500 с помощью кода STEG .....	188
6.3.1. Основные данные ПГВ-1500 .....	188
6.3.2. Описания модели и нодализационной схемы .....	190
6.3.3. Анализ выравнивающей способности различных схем ПДЛ .....	192
<b>Заключение</b> .....	198
<b>Список сокращений и условных обозначений</b> .....	200
<b>Литература</b> .....	205