

1543033

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

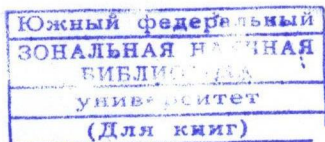
УДК 532.5, 621.039, 621.18

ББК 22.253, 31.47

М 47



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



1543033

Мелихов В.И. Экспериментально-расчетные исследования гидродинамических 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 гидродинамических 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
Глава 1. Проблемы моделирования гидродинамических процессов в горизонтальных парогенераторах	8
1.1. Основные характеристики горизонтальных парогенераторов на АЭС с ВВЭР	8
1.2. Обзор работ по исследованию гидродинамических процессов в горизонтальных парогенераторах	11
Глава 2. Экспериментальные исследования на стенде ПГВ	20
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
Глава 3. Математическая модель кода STEG	74
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

Глава 4. Модель межфазного сопротивления Ле–Мелиховых	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
Глава 5. Валидация кода STEG на опытных данных	115
5.1. Валидация кода STEG на экспериментах ПГВ	115
5.1.1. Нодализационная 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. Нодализационная 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
Глава 6. Исследования выравнивающей способности ПДЛ с помощью кода STEG	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
Заключение	198
Список сокращений и условных обозначений	200
Литература	205



Мелихов Владимир Игорьевич и Мелихов Олег Игорьевич достаточно давно и плодотворно проводят совместные исследования в области механики многофазных сред и численного моделирования, являются авторами более 150 журнальных публикаций. Они начинали свой путь в науку (с временной разбежкой – 1979 г. О.И. Мелихов и 1986 г. В.И. Мелихов) в Институте проблем механики РАН, затем долгое время работали в Электрогорском научно-исследовательском центре по безопасности АЭС (О.И. Мелихов – начальник отделения теплофизики, В.И. Мелихов – начальник вычислительного отдела), в настоящее время занимаются научной и педагогической работой на кафедре АЭС НИУ "МЭИ".

Ле Тхань Тунг – выпускник кафедры АЭС НИУ "МЭИ", в 2021 году успешно защитил кандидатскую диссертацию, основные результаты которой вошли в данную монографию. В настоящее время работает в научно-исследовательском институте во Вьетнаме.



ISBN 978-5-02-040899-9



9 785020 408999