**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**МЕХАНИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

**Кафедра теоретической и прикладной механики**

Чайчиц

Екатерина Александровна

**ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОГО ТЕПЛО- И МАССООБМЕНА В ВЫСОТНЫХ ДЫМОВЫХ ТРУБАХ С УЧЕТОМ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ**

Дипломная работа

Научный руководитель:  
кандидат физ.-мат. наук,  
доцент П.Н. Конон

Допущена к защите

«\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2017 г.

Зав. кафедрой теоретической и прикладной механики

доктор физ.-мат. наук, профессор М.А. Журавков

# **РЕФЕРАТ**

В дипломной работе 74 страницы, 17 рисунков, 2 таблицы, 16 источников, 3 приложения.

ТЕПЛО- И МАСООБМЕН, ДЫМОВАЯ ТРУБА, КОНДЕНСАЦИЯ, НЕСТАЦИОНАРНЫЙ ПРОЦЕСС, КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛООТДАЧИ, ВЛАГОСОДЕРЖАНИЕ.

В дипломной работе изучаются процессы нестационарного тепло- и массообмена в высотных дымовых трубах, работающих в существенно нестационарных условиях в период пуска и остановок котельного оборудования.

Целями дипломной работы являются уточнение постановки задач тепло- и массообмена с учетом конденсации на внутренней поверхности трубы; решение задач нестационарного тепло- и массообмена в цилиндрической системе координат с учетом симметрии конструкции; разработка методов и проведение нестационарных аналитических расчетов и численных исследований; сопоставление их результатов и трудоемкости процессов исследований.

Для достижения поставленных целей использовались:

* нестационарное уравнения диффузий тепла и массы в цилиндрической системе координат с граничными условиями второго, третьего и четвертого рода;
* известные и усовершенствованные аналитические методы решения задач уравнений теплопроводности;
* известные и уточненные численные методы прогонки решения задач уравнений математической физики для многослойных конструкций.

В дипломной работе получены следующие результаты:

1. Уточнена постановка задач тепло- и массообмена в однослойных и двухслойных дымовых трубах с использованием цилиндрической системы координат;
2. Уточнен и реализован аналитический метод исследования теплообмена в однослойных трубах при существенно нестационарных граничных условиях;
3. Реализован численный метод исследований процессов нестационарного тепло- и массообмена в многослойных дымовых трубах, исследованы поля температур и влагосодержания;
4. Проведен расчет интенсивности конденсации паров воды на внутренней поверхности футеровки.
5. Проведено сравнение эффективности численного и аналитического методов исследований.

Дипломная работа имеет практический характер. Её результаты могут быть использованы при расчете процессов тепло- и массообмена в высотных дымовых трубах, работающих в существенно нестационарных условиях и выдачи рекомендаций выбора режимов их эксплуатации.

# **РЭФЕРАТ**

У дыпломнай працы 74 старонкі, 17 малюнкаў, 2 табліцы, 16 крыніц, 3 прыкладання.

ЦЕПЛА- І МАСААБМЕН, ДЫМАВЫЯ ТРУБЫ, КАНДЭНСАЦЫЯ, НЕСТАЦЫЯНАРНЫ ПРАЦЭС, КАЭФІЦЫЕНТ ЦЕПЛААДДАЧЫ, ВІЛЬГАЦЕЗМЯШЧЭННЕ.

У дыпломнай працы вывучаюцца працэсы нестацыянарнага цепла- і масаабмену у вышынных дымавых трубах, якія працуюць у істотна нестацыянарных умовах у перыяд пуску і прыпынкаў кацельнага абсталявання.

Мэтамі дыпломнай працы з'яўляюцца ўдакладненне пастаноўкі задач цепла- і масаабмену з улікам кандэнсацыі на ўнутранай паверхні трубы; рашэнне задач нестацыянарнага цепла- і масаабмену ў цыліндрычнай сістеме каардынатаў з улікам сіметрыі канструкцыі; распрацоўка метадаў і правядзенне нестацыянарных аналітычных разлікаў і лікавых даследаванняў; супастаўленне іх вынікаў і працаёмкасці працэсаў даследаванняў.

Для дасягнення пастаўленых мэтаў выкарыстоўваліся:

* нестацыянарныя ўраўненні дыфузіі цяпла і масы ў цыліндрычнай сістэме каардынатаў з межавымі ўмовамі другога, трэцяга і чацвертага роду;
* вядомыя і ўдакладненыя аналітычныя метады рашэння задач ўраўненняў цеплаправоднасці;
* вядомыя і ўдакладненыя лікавыя метады прагонкі рашэння задач ўраўненняў матэматычнай фізікі для шматслойных канструкцый.

У дыпломнай працы атрыманы наступныя вынікі:

1. удакладнена пастаноўка задач цепла- і масаабмену ў аднаслаёвых і двуслаёвых дымавых трубах з выкарыстаннем цыліндрычнай сістемы каардынатаў;
2. удакладнен і рэалізаван аналітычны метад даследавання цеплаабмену ў аднаслаёвых трубах пры істотна нестацыянарных межавых умовах;
3. рэалізаван лікавы метад даследаванняў працэсаў нестацыянарнага цепла- і масаабмену ў шматслойных дымавых трубах, даследаваны паля тэмператур і вільгацезмяшчэння;
4. праведзены разлік інтэнсіўнасці кандэнсацыі пароў вады на ўнутранай паверхні футроўкі;
5. праведзена параўнанне эфектыўнасці лікавага і аналітычнага метадаў даследавання.

Дыпломная праца мае практычны характар. Яе вынікі могуць быць выкарыстаны пры разліку працэсаў цепла- і масаабмену ў вышынных дымавых трубах, якія працуюць у істотна нестацыянарных умовах і выдачы рэкамендацый выбару рэжымаў іх эксплуатацыі.

# **THESIS**

In the thesis work 74 pages, 17 drawings, 2 tables, 16 sources, 3 applications.

HEAT AND MASS EXCHANGE, SMOKE PIPE, CONDENSATION, NON-STEADY PROCESS, HEAT-TRANSFER COEFFICIENT, MOISTURE CONTENT.

In the thesis, the processes of non-stationary heat and mass exchange in high-rise smoke pipe operating under substantially non-steady conditions during the start-up and shutdown of boiler equipment are studied.

The purposes of the thesis are specification of statement of tasks heat and a mass exchange taking into account condensation on an internal surface of a pipe; the solution of tasks non-steady heat and mass exchange in cylindrical system of coordinates taking into account symmetry of a construction; development of methods and carrying out non-steady analytical calculations and numerical researches; comparison of their results and labor input of processes of researches.

For achievement of goals were used:

* non-stationary the equations of diffusions of heat and mass in cylindrical system of coordinates with boundary conditions of the second, third and fourth sort;
* known and advanced analytical methods of the solution of problems of the equations of heat conductivity;
* the known and specified numerical methods of a pro-race of the solution of problems of the equations of mathematical physics for multilayered constructions.

In the thesis the following results are received:

1. Statement of tasks heat and a mass exchange in single-layer and two-layer smoke pipes with use of cylindrical system of coordinates is specified;
2. the analytical method of a research of heat exchange in single-layer pipes under significantly non-stationary boundary conditions is specified and realized;
3. the numerical method of researches of processes non-stationary heat and a mass exchange in multilayered smoke pipes is realized, fields of temperatures and moisture content are explored;
4. calculation of intensity of condensation of vapors of water on the internal surface of lining is carried out;
5. comparison of efficiency of numerical and analytical methods of researches is carried out.

The thesis has practical character. Her results can be used when calculating processes heat and a mass exchange in the high-rise chimneys working in significantly non-steady conditions and issues of recommendations of the choice of the modes of their operation.