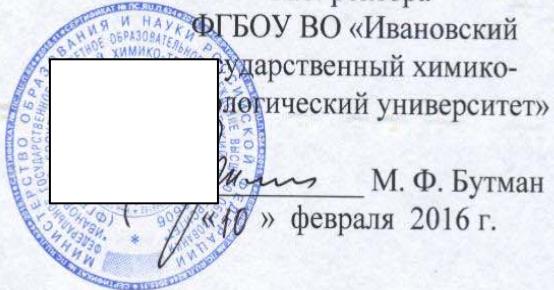


«Утверждаю»

И.о. ректора



М. Ф. Бутман

10 февраля 2016 г.

### Отзыв ведущей организации

на диссертационную работу Носырева Михаила Андреевича  
«Определение скоростей и концентраций дисперсных частиц  
при стесненном движении на основе минимума интенсивности  
диссиляции энергии», представленную к защите на соискание ученой  
степени кандидата технических наук по специальности  
05.17.08 – «Процессы и аппараты химических технологий»

### Актуальность диссертационного исследования

В химической и в ряде других отраслей промышленности достаточно широко применяются процессы, протекающие в гетерогенных системах газ-жидкость, твердые частицы-жидкость, твердые частицы-газ. В настоящее время развиваются процессы микрофлотации и микробарботажа с помощью мембран, когда происходит тонкое диспергирование газов и последующее стесненное движение сферических газовых частиц в поле силы тяжести.

Важным этапом расчета, газо-жидкостных реакторов, отстойников, флотаторов, абсорберов со сплошным слоем жидкости является определение скорости стесненного движения газовых пузырьков и твердых частиц в жидкой фазе. От достоверности расчета скорости движения частиц зависит корректность определения габаритных размеров аппаратов. В научно-технической литературе имеется достаточно большое число аналитических и эмпирических уравнений для вычисления скоростей стесненного движения фаз, но не приводится обобщенного метода расчета скорости стесненного движения газовых и твердых частиц в жидкостях. Кроме того, характерной особенностью известных корреляций, описывающих стесненное движение, является использование предположения о равномерном распределении дисперсных частиц по объему слоя, что противоречит многочисленным экспериментальным данным. Остается также практически не исследованной и проблема распределения малоразмерных частиц псевдоожженного слоя по высоте аппарата.

Диссертационная работа, направленная на создание обобщающей математической модели для определения скорости стесненного движения как газовых, так и твердых частиц при различных числах Рейнольдса, а также

получение математической зависимости, позволяющей описать распределение малоразмерных частиц псевдоожженного слоя по высоте аппарата, является актуальной.

### **Анализ структуры и содержания диссертации**

Представленная диссертация изложена на 112 страницах печатного текста, содержит 13 рисунков и 6 таблиц, состоит из введения, четырех глав, выводов и списка литературы из 100 наименований.

Во введении обоснована актуальность выбранной темы, сформулирована цель и основные задачи работы, поясняется научная новизна и практическая значимость, приведены данные об апробации полученных результатов.

**Первая глава** диссертации посвящена обзору работ по тематике исследуемой области. В ней последовательно рассмотрено математическое описание движения одиночной сферической частицы на основе решения уравнения Навье-Стокса, а также динамика стесненного потока. Большое внимание удалено методам расчета скоростей стесненного и свободного движения на основе различных моделей. Отмечается и тот факт, что большое число аналитических уравнений для вычисления скоростей стесненного движения получены исходя из предположения о равномерном распределении частиц по объему слоя. На основании анализа литературного обзора сформулированы задачи диссертационного исследования.

**Вторая глава** диссертационной работы посвящена разработке математической модели для определения скорости стесненного движения сферических частиц в поле силы тяжести, основанной на вариационном принципе минимума интенсивности диссипации энергии, с учетом неравномерности распределения дисперской фазы по сечению аппарата. Проводится сопоставление расчетных и экспериментальных данных.

**Третья глава** посвящена описанию обобщенного метода определения скорости ламинарного стесненного движения сферических твердых и газовых частиц в жидкостях который основан на вариационном принципе минимума интенсивности диссипации энергии. Результаты расчетов по полученным уравнениям сравниваются с экспериментальными данными по осаждению и псевдоожжению, при различных числах Рейнольдса и с соотношениями полученными другими авторами. Показано их хорошее соответствие.

**Четвертая глава** посвящена разработке математической модели распределения мелкодисперсных частиц неоднородного псевдоожженного слоя по высоте аппарата. Ввиду аналогии процессов осаждения и псевдоожжения был применен тот же вариационный принцип минимума интенсивности диссипации энергии. Расчеты по полученным выражениям сравниваются с наиболее известными экспериментальными данными по изменению порозности по высоте псевдоожженного слоя. В заключение обсуждаются полученные результаты, их практическое применение и даны

рекомендации по их использованию в расчетах аппаратов. Отмечается, что вариационный принцип минимума интенсивности диссипации энергии может успешно использоваться для решения гидромеханических задач стесненного движения фаз при всплытии микропузырьков, осаждении и псевдоожижении.

### **Научная новизна**

Научная новизна диссертации заключается в следующем:

- разработан новый единый подход к определению скорости стесненного движения сферических газовых и твердых частиц на основе вариационного принципа минимума интенсивности диссипации энергии;
- в математических моделях стесненного движения фаз, учтена неравномерность распределения частиц дисперсной фазы по сечению аппарата;
- разработана математическая модель распределения частиц неоднородного псевдоожженного слоя по высоте аппарата;
- показано, что вариационный принцип минимума интенсивности диссипации энергии, может использоваться для решения гидромеханических задач стесненного движения фаз при всплытии микропузырьков, осаждении и псевдоожижении.

### **Практическая значимость**

В диссертационной работе на основании выполненных исследований, получен ряд важных практических результатов:

- экспериментально проверенные соотношения для определения скорости стесненного движения сферических газовых частиц в жидкостях могут быть использованы при расчете абсорбционных аппаратов со сплошным слоем, микрофлотационных аппаратов, газожидкостных реакторов;
- предложенная обобщенная математическая модель, описывающая движение газовых и твердых сферических частиц в жидкостях, может быть применена для расчета стесненного движения фаз в отстойниках;
- разработанная и экспериментально проверенная методика определения порозности псевдоожженного слоя по высоте аппарата может быть использована для расчета высоты аппаратов с псевдоожженным слоем, в частности адсорберов, сушильных аппаратов и реакторов кипящего слоя.

### **Степень достоверности и обоснованности результатов**

Основные результаты работы не противоречат данным мировой научно-технической литературы в исследуемой области. Диссидент корректно использует математический аппарат в плане аналитических решений, критически рассматривая известные результаты. Достоверность основных положений и выводов, сформулированных в работе, подтверждена хорошим соответствием расчетных и экспериментальных данных.

## **Замечания по работе**

Отмечая несомненные достоинства данной работы в плане ее методической организации, интересных и многообещающих научных результатов, имеющих практическое значение, следует указать на некоторые недостатки:

1. Экспериментальная проверка математической модели определения порозности псевдоожженного слоя по высоте аппарата была выполнена только для системы стеклянные шарики – воздух.

2. Для описания распределения порозности по оси аппарата было использовано уравнения энергетического баланса исходя из предположения аналогии определения газосодержания на барботажных тарелках, что для данного случая не совсем корректно.

3. Автор проверяет математическую модель стесненного движения фаз при всплытии пузырьков и осаждении твердых частиц, как для ламинарной, так и турбулентной области движения. На чем основано распространение вариационного принципа минимума интенсивности диссипации энергии на турбулентную область?

Перечисленные выше замечания по работе не снижают общей положительной оценки работы.

## **Заключение**

Диссертация Носырева М.А. является логически связанным завершенным исследованием, обладающим научной новизной и практической ценностью.

Разработанный в диссертации обобщенный метод определения скорости стесненного движения сферических твердых и газовых частиц в жидкостях, базирующийся на вариационном принципе минимума интенсивности диссипации энергии, а также полученные расчетные соотношения могут быть рекомендованы к использованию в исследовательских и проектных организациях, занимающихся разработкой абсорбционных, микрофлотационных аппаратов, отстойников и газо-жидкостных реакторов.

Диссертационная работа Носырева Михаила Андреевича соответствует паспорту специальности 05.17.08 – «Процессы и аппараты химических технологий», по разделам области исследований:

- «Способы, приемы и методология исследования гидродинамики движения жидкости, газов, перемещения сыпучих материалов» (Главы 3, 4);
- «Методы изучения и создания ресурсо- и энергосберегающих процессов и аппаратов в химической и смежных отраслях промышленности...» (Главы 3, 5, 6).

Основное содержание диссертации с достаточной полнотой опубликовано в 4 статьях в рецензируемых журналах, входящих в систему цитирования WoS и в перечень ВАК. Кроме того имеются 2 публикации в материалах Международных конференций. Автореферат правильно отражает основные положения диссертации.

Таким образом, диссертационная работа Носырева М. А. представляет собой самостоятельно выполненную, законченную научно-квалификационную работу, в которой решена актуальная задача разработки обобщенного метода расчета скорости стесненного движения фаз в широком диапазоне чисел Рейнольдса и Архимеда.

По уровню проведенных исследований, актуальности выбранной темы, степени обоснованности научных положений и выводов, достоверности полученных результатов, их научной и практической значимости диссертационная работа в полной мере отвечает п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней» (Постановление Правительства Российской Федерации №842 от 24.09.13), а ее автор Носырев Михаил Андреевич заслуживает присуждения искомой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.08 – «Процессы и аппараты химических технологий».

Отзыв на кандидатскую диссертацию Носырева М. А. обсужден и принят на заседании кафедры «Процессы и аппараты химической технологии» Ивановского государственного химико-технологического университета. Протокол № 6 от 5 февраля 2016 г.

Заведующий кафедрой «Процессы и аппараты химической технологии»,  
доктор технических наук, профессор,  
Липин Александр Геннадьевич  
ФГБОУ ВО Ивановский государственный  
химико-технологический университет  
e-mail: 157lipin@mail.ru

Адрес: 153000, г. Иваново пр. Шереметьевский, д. 7.  
Тел. ректората: +7 (4932) 32-92-41  
Тел. канцелярии: +7 (4932)33-62-65  
Факс: +7 (4932) 41-79-95  
E-mail: rector@isuct.ru  
Официальный сайт: <http://www.isuct.ru>

