

РОССИЙСКИЙ ФОНД ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
ЮГО-ЗАПАДНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ГОМЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
им. П.О. Сухого, (Республика Беларусь)  
КАРШИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
(Республика Узбекистан)  
ХАРЬКОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ (Украина)

## **«МОЛОДОЙ ИНЖЕНЕР – ОСНОВА НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОГРЕССА»**

*Материалы Международной  
научно-технической конференции  
9-10 октября 2015 года*

Ответственный редактор *Губанов В.С.*

Курск 2015

УДК 621+658+685

ББК 34.4+34.5

M754

**Председатель организационного комитета – Червяков Леонид Михайлович**, д.т.н., профессор, первый проректор, ЮЗГУ, г. Курск;

**Заместитель председателя оргкомитета – Гладышкин Алексей Олегович**, к.т.н., доцент кафедры городского дорожного строительства и строительной механики, ЮЗГУ, г. Курск;

**Заместитель председателя оргкомитета – Губанов Василий Сергеевич**, к.т.н., старший преподаватель кафедры машиностроительных технологий и оборудования, ЮЗГУ, г. Курск.

«Молодой инженер – основа научно-технического прогресса» [Текст]: Сборник научных трудов Международной научно-технической конференции (9-10 октября 2015 года) / редкол.: Губанов В.С. (отв. редактор); Юго-Западный гос. ун-т, Курск, 2015. 418 с.

ISBN 978-5-9907150-3-5

Содержание материалов конференции составляют научные статьи отечественных и зарубежных ученых. Сборник предназначен для научно-технических работников, ИТР, преподавателей, студентов и аспирантов вузов.

Материалы публикуются в авторской редакции.

*Конференция проводилась при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, Соглашение № 15-31-10384\15*

ISBN 978-5-9907150-3-5

УДК 621+658+685

ББК 34.4+34.5

© Юго-Западный государственный университет  
© Губанов В.С. (оформление), 2015  
© Авторы статей, 2015

**ОГЛАВЛЕНИЕ**

<i>Абакумов Г.В., Романова Е.Ю., Тюльков М.А.</i> КОНТРОЛЬ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ДОРОЖНОЙ РАЗМЕТКИ .....	11
<i>Абакумов Р.Г.</i> ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ В УСЛОВИЯХ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ .....	14
<i>Аксенов В.Н., Бронников А.Н.</i> АНАЛИЗ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПОИСКОВО-СПАСАТЕЛЬНЫХ И ДРУГИХ ФОРМИРОВАНИЙ МЧС РОССИИ НА ТЕРРИТОРИИ СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯ .....	17
<i>Аксенов В.Н., Янчук В.М.</i> К ВОПРОСУ О СОСТОЯНИИ РАБОТЫ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ.....	20
<i>Бабешко С.В.</i> УПРАВЛЕНИЕ СЕТЬЮ И СХЕМА ТАКТОВОЙ синхронизации ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ .....	23
<i>Бикмуллина И.И.</i> ИНФОРМАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ СТРУКТУРНОГО СИНТЕЗА .....	27
<i>Бословяк П.В., Зуева Е.П.</i> ВЛИЯНИЕ ДЛИНЫ КОНВЕЙЕРА С ПОДВЕСНОЙ ЛЕНТОЙ НА ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ПРОВЕДЕНИЯ ПОЛНОЙ ИЛИ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИИ .....	29
<i>Бублик С.С., Вяльшин Н.А., Харитонов И.Ю.</i> УПРАВЛЕНИЕ СТРЕССОМ В РАБОТЕ ВОДИТЕЛЯ АВТОТРАНСПОРТА И ПОВЫШЕНИЕ ЕЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ .....	32
<i>Бугетаев Н.Н., Мельников И.Н., Попова Э.А.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДНО-СПИРТОВЫХ РАСТВОРОВ ПРИ ТУШЕНИИ ПОЖАРОВ В УСЛОВИЯХ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР .....	36
<i>Булгаков С.В., Шлёнская О.А.</i> ДВА НАПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОПЛИВНОГО ЭТАНОЛА .....	39
<i>Ведерников Д.А., Туктамышев В.Р., Катаев Я.А.</i> АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМ PLM .....	42
<i>Викулова М.А., Горшков Н.В., Захаревич А.М., Шумилин А.И., Пичхидзе С.Я.</i> УСИЛЕНИЕ АДГЕЗИОННОЙ ПРОЧНОСТИ СТЕКЛОВОЛОКНОПОЛНЕННОГО ПТФЭ И РЕЗИНЫ .....	45
<i>Виноградов М.В., Колоколова С.С.</i> МОДЕРНИЗИРОВАННОЕ УСТРОЙСТВО НАГРУЖЕНИЯ ДВУХСТУПЕНЧАТОЙ ФРИКЦИОННОЙ ПЕРЕДАЧИ ПРЕЦИЗИОННОГО ТОКАРНОГО МОДУЛЯ .....	49
<i>Винюкова И.Н.</i> СПОСОБЫ СНИЖЕНИЯ РИСКА В ЭКОНОМИКЕ СТРОИТЕЛЬСТВА ФЕДЕРАЛЬНОГО НЕДВИЖИМОГО ИМУЩЕСТВА .....	54
<i>Вольхин К. А.</i> ИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗДАНИЙ В СРЕДЕ РОССИЙСКИХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ .....	57
<i>Воробьев А.Н., Гебель Е.С.</i> ПРЯМАЯ ЗАДАЧА КИНЕТИКИ ПЛАТФОРМЫ ГЬО-СТЮАРТА .....	61

<i>Моисеенко К.Л., Панов А.А.</i> УСЛОВИЕ СООТНОШЕНИЯ ДОПУСКОВ СОСТАВЛЯЮЩИХ ЗВЕНЬЕВ МНОГОЗВЕННЫХ РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ ПРИ СЕЛЕКТИВНОЙ СБОРКЕ.....	238
<i>Муромцев М.А., Мельников И.Н., Попова Э.А., Ермошин А.Г.</i> АНАЛИЗ ХЛОРИРОВАННЫХ КСЕНОБИОТИКОВ .....	243
<i>Мухаммадиев Б.Т., Мухаммедова Р.Т.</i> ТЕХНОЛОГИЯ ИНТЕНСИВНОЙ ЭКСТРАКЦИИ СВЕРХКРИТИЧЕСКОЙ CO <sub>2</sub> .....	246
<i>Назарьев А.В., Бочкарёв П.Ю.</i> СВЯЗЬ МЕЖДУ КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКОЙ СБОРКИ ВЫСОКОТОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ И КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ЭЛЕМЕНТОВ, ВХОДЯЩИХ В ВЫСОКОТОЧНЫЕ ИЗДЕЛИЯ.....	250
<i>Настоящая С.С.</i> МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ СИСТЕМ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ НАЖИМНЫХ УСТРОЙСТВ РАБОЧИХ КЛЕТЕЙ ЛИСТОВЫХ ПРОКАТНЫХ СТАНОВ .....	254
<i>Новиков Р.Е., Гуревич Л.М.</i> НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ В ИЗОГНУТОМ ПЕРФОРИРОВАННОМ СЛОИСТОМ ТИТАНО-АЛЮМИНИЕВОМ КОМПОЗИТЕ .....	258
<i>Павленко И.В., Ляпощенко А.А., Демьяненко М.Н.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫНУЖДЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ ОТБойНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО СЕПАРАТОРА .....	262
<i>Панкратов Д.Л., Хакимзянова А.А., Садиков И.Р.</i> УПРАВЛЕНИЕ СМЕЩЕНИЕМ ДЕФОРМИРУЕМОГО СЛОЯ МАТЕРИАЛА ПУТЕМ ИЗМЕНЕНИЯ УСЛОВИЙ КОНТАКТА.....	266
<i>Панова Л.С., Трубин П.П.</i> СИНТЕЗ ЗАКОНОВ УПРАВЛЕНИЯ ХИМИЧЕСКИМ РЕАКТОРОМ.....	270
<i>Парфиевич А.Н.</i> ФОРМАЛИЗАЦИЯ ДАННЫХ ПРИ ВИБРОАКУСТИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКЕ МНОГОВАЛЬНЫХ ЗУБЧАТЫХ ПРИВОДОВ.....	272
<i>Петрова Н.В.</i> ФАКТОРЫ, ПОВЫШАЮЩИЕ РОЛЬ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ В ИЗУЧЕНИИ ГРАФИЧЕСКИХ ДИСЦИПЛИН.....	276
<i>Петухова А.В.</i> ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ГРАФИЧЕСКАЯ КУЛЬТУРА ИНЖЕНЕРА: СОДЕРЖАТЕЛЬНЫЙ АСПЕКТ ПОНЯТИЯ.....	278
<i>Попова О.А., Мельников И.Н., Попова Э.А.</i> ТСХ-МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ ГОРЮЧЕ-СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	283
<i>Попова О.А., Мельников И.Н., Попова Э.А.</i> ПРОБЛЕМЫ ОПОЛЗНЕВЫХ ЗОН ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ .....	286
<i>Пишеничная-Ажермачёва К.С.</i> АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКИЙ ШЕЛЬФ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ И ОСОБЕННОСТИ ОСВОЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ .....	288

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫНУЖДЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ ОТБОЙНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО СЕПАРАТОРА

*Павленко Иван Владимирович, кандидат технических наук,  
старший преподаватель кафедры общей механики и динамики машин  
Ляпощенко Александр Александрович, кандидат технических наук,  
доцент кафедры процессов и оборудования химических и  
нефтеперерабатывающих производств  
Демьяненко Марина Николаевна, магистрант*

*Сумский государственный университет*

*Выявлены недостатки статических конструкций сепарационных элементов, предложены пути их устранения. Исследовано взаимодействие газожидкостного потока с динамическими сепарационными элементами с применением современных САЕ-систем. Предложена методика аналитического расчёта вынужденных колебаний упругих элементов, основанная на применении вариационных принципов механики.*

### Введение

Учитывая существенную роль природного газа и нефти в мировом топливно-энергетическом балансе, в настоящее время активно развиваются альтернативные виды энергетики. Добываемый природный и попутные нефтяные газы представляют многофазную многокомпонентную смесь, которую необходимо подвергать обработке на установках комплексной подготовки газа, неотъемлемыми элементами которых является сепарационное оборудование. Эффективное разделение в традиционно используемых на газовых промыслах сепараторах возможно только при проектных режимах работы. Поэтому актуальной проблемой является разработка таких конструкций, в которых высокая степень сепарации газа будет поддерживаться во всём диапазоне возможного изменения расхода газожидкостной смеси. Объектом регулирования является гидравлическое сопротивление, регулирование которого осуществляется за счёт упругих сил. Этот принцип реализован в газодинамических сепарационных элементах [1]. Под действием потока, направляемого в каналы с упругими плоскопараллельными пластинами, создаётся гидродинамическое давление, а в стенках канала возникают внутренние напряжения, изменяющие форму поверхностей. Учитывая такую постановку задачи и характер исследуемой проблемы, необходимо решать задачу гидроаэроупругости. Аналитическое решение этой задачи вызывает ряд трудностей. Известны работы Пензина, Озкера, Уивера, Гонгоуэра, Хескестеда, а также Иглсона, Дэйли и Ноутсопулоса по исследованию

аэроупругих явлений для лопаток турбин [2]. Практический интерес представляют работы Грибоша по исследованию колебаний упругих элементов конструкций кожухотрубных теплообменников в нестационарном потоке жидкости [3].

Целью данной работы является численное решение стационарной задачи гидроаэроупругости при взаимодействии пластинчатых динамических сепарационных элементов с газожидкостным потоком. Практический интерес представляют предложенные рекомендации по усовершенствованию исходной конструкции деформируемых элементов.

Численные исследования

Аналитическое решение задачи гидроаэроупругости в большинстве случаев не представляется возможным без введения ряда упрощений и допущений. Однако высокий уровень развития современных CAE-систем позволяет реализовать методы численного решения дифференциальных уравнений с применением вариационных принципов. Для численного решения поставленной задачи используется Ansys Workbench и его модули Fluent Flow и Transient Structural, основанные на методах конечных объёмов и элементов. Исходные данные и результаты решения объединены модулем System Coupling для решения смешанных задач.

Исходные данные для расчёта приведены на рис. 1 а. Расчёты проведены по итерационной процедуре для скорости входа газожидкостного потока 2–4 м/с, содержания жидкости в исходной смеси  $2 \cdot 10^{-4}$  долей (об.) с размерами капель 1–100 мкм. Изолинии значений объёмного содержания жидкости и поле локальных скоростей в среднем поперечном сечении для диаметра капель 10 мкм приведены на рис. 1 б для скорости 3,3 м/с. Распределение давления на поверхности пластин приведено на рис. 1 в.

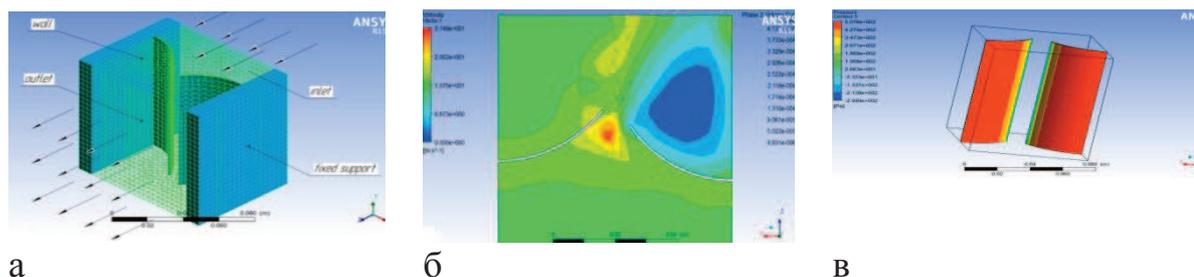


Рисунок 1 – Расчетная схема (а) и результаты расчета (б, в)

Аналитическое решение

Для нахождения форм вынужденных колебаний пластины  $w(x,y,t)$  под действием со стороны газожидкостного потока давления  $p(x,y,t)$  применяется принцип Гамильтона-Остроградского, который позволяет записать соответствующее уравнение Эйлера-Лагранжа:

$$\rho h \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} + D \nabla^2 \nabla^2 w = p, \quad (1)$$

где  $\rho$ ,  $h$ ,  $D$  – плотность материала, толщина и цилиндрическая жёсткость. Для решения уравнения (1) применяются бесконечные ряды собственных форм  $\psi_n(x, y)$  колебаний:

$$w(x, y, t) = \sum_{n=1}^{\infty} \psi_n(x, y) \varphi_n(t); \quad p(x, y, t) = \sum_{n=1}^{\infty} \psi_n(x, y) q_n(t), \quad (2)$$

где  $n$  – номер формы;  $\varphi_n(t)$ ,  $q_n(t)$  – неизвестные и заданные функции, определяемые из условия ортогональности собственных форм:

$$q_n(t) = \iint_{\Sigma} p \psi_n dx dy / \iint_{\Sigma} \psi_n^2 dx dy. \quad (3)$$

Учитывая, что распределение давления по высоте упругой пластины не изменяется ( $\partial/\partial y = 0$ ), о чём свидетельствуют результаты численного расчёта в Ansys Workbench, выражения для собственных форм и функций времени, получаемые с применением интеграла Дюамеля, принимают вид:

$$\psi_n = K_3(\lambda_n x) - \frac{K_1(\lambda_n l)}{K_2(\lambda_n l)} K_4(\lambda_n x); \quad \varphi_n(t) = \int_0^t q_n(\tau) \sin \left[ \lambda_n^2 (t - \tau) \sqrt{\frac{D}{\rho h}} \right] d\tau / (\lambda_n^2 \sqrt{\rho h D}), \quad (4)$$

где  $l$  – ширина пластины, а также введены функции Крылова  $K_{1-4}$  и обозначение  $\lambda_n = \sqrt[4]{\rho h \omega_n^2 / D}$ .

Таким образом, функция прогиба  $w(x, t)$  зависит от выражения  $q_n(t)$ , которое может быть получено в результате численного решения поставленной задачи с применением Ansys Workbench.

Для определения зависимости перепада давления  $\Delta p$  до и после динамического сепарационного элемента от характерного размера  $x$  проходного сечения применяется аппроксимация данных, полученных в результате численного эксперимента (рис. 2).

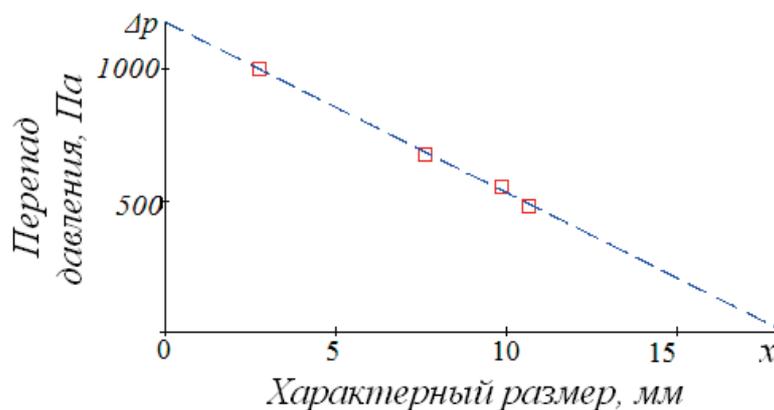


Рисунок 2 – Зависимости перепада давления от характерного размера

### Усовершенствование традиционной конструкции

Результаты численного эксперимента свидетельствуют о срыве плёнки жидкости с деформируемых элементов, что негативно влияет на сепарацию. Для предотвращения этого явления (вторичного брызгоуноса) необходимо устанавливать лопатки под острым углом к траектории частиц газожидкостного потока [4].

#### Выводы

В результате решения стационарной задачи гидроаэроупругости для взаимодействия газожидкостного потока с динамическими сепарационными элементами было определено аналитическое выражение для форм вынужденных колебаний упругой пластины.

В результате численного моделирования взаимодействия газожидкостного потока с динамическими сепарационными элементами установлено, что эффективность сепарации снижается при размерах капель дисперсной фазы менее 10 мкм.

Дальнейшие исследования будут направлены на решение нестационарной задачи гидроаэроупругости при изучении взаимодействия газожидкостного потока в усовершенствованной конструкции сепарационной секции с пластинчатыми газодинамическими элементами.

#### *Список литературы*

1. Ляпощенко О. О. Моделювання процесів сепарації та розробка методики розрахунку трифазного сепаратора / О. О. Ляпощенко, І. В. Павленко, Р. Ю. Усик, М. М. Дем'яненко // Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій : науковий журнал. – Серія «Технічні науки». – 2015. – № 47. – Т. 1. – С. 62–66.

2. Иглсон П. Природа самовозбуждения колебаний плоских пластинок в потоке / Иглсон П., Дейли Дж., Ноутсопулос Г. // Теоретические основы инженерных расчётов : труды американского общества инженеров-механиков. – М. : Мир, 1964. – №3. – С. 206–215.

3. Gryboś R. Drgania konstrukcji, wzbudzone przepływem / R. Gryboś. – Gliwice: Politechnika Śląska, 2005. – 205 s.

4. Спосіб вловлювання краплинної рідини з газорідного потоку : заявка на корисну модель u 2014 13067, Україна / Ляпощенко О. О., Павленко І. В., Настенко О. В., Усик Р. Ю., Дем'яненко М. М

РОССИЙСКИЙ ФОНД ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
ЮГО-ЗАПАДНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ГОМЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
им. П.О. Сухого, (Республика Беларусь)  
КАРШИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
(Республика Узбекистан)  
ХАРЬКОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ (Украина)

Научное издание

## **«МОЛОДОЙ ИНЖЕНЕР – ОСНОВА НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОГРЕССА»**

*Материалы Международной  
научно-технической конференции*  
**9-10 октября 2015 года**

Ответственный редактор *Губанов В.С.*

Подписано в печать 20.11.2015  
Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная  
Уч.-изд. л. 18,2. Усл. печ. л. 24,29.  
Тираж 400 экз. Заказ № \_\_\_\_\_.

Отпечатано в типографии  
ИП Пучков Игорь Иванович  
ИНН 463206438321 ОГРНИП 315463200009731  
Телефон +7-910-211-37-52  
305040, г. Курск, ул. 1-ая Фатежская, д. 82, кв. 20