

***Разработка и создание широкодиапазонного ряда трубопроводных
всережимных стабилизаторов течения на основе модельной отработки
опытно-промышленных образцов***

В ходе выполнения проекта по Соглашению о предоставлении субсидии № 14.574.21.0016 от 17 июня 2014 г. с Минобрнауки России в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 – 2020 г.г.» на этапе № 3 в период с 01 июля 2015 г. по 31 декабря 2015 г. были выполнены следующие работы:

1. Проведены комплексные экспериментальные исследования экспериментального образца стабилизатора течения;
2. Проведены комплексные экспериментальные исследования экспериментального образца устройства защиты трубопроводов от динамических нагрузок;
3. Проведено обобщение результатов экспериментальных исследований и выполнена корректировка конструкции стабилизатора течения и устройства защиты трубопроводов от динамических нагрузок;
4. Разработаны рекомендации по использованию результатов, проведенных ПНИ в реальном секторе экономики;
5. Выполнена оценка эффективности полученных результатов в сравнении с современным научно-техническим уровнем.

За счет софинансирования из внебюджетных источников:

6. Разработана рабочая конструкторская документация на опытный образец стабилизатора течения в трубопроводах.

При этом при выполнении работ по III этапу и по всей работе в целом были получены следующие результаты:

1. Проведено теоретическое исследование механизмов формирования отрывных вихрей и возможных способов борьбы с ними.
2. Выявлены основные проблемы существующих стабилизаторов течения и исследованы причины их возникновения.
3. Предложено три конструкции новых стабилизаторов течения (рис. 1), разработанных с использованием принципиально нового подхода, основанного на предположении, что крупные вихревые образования могут разрушаться при обтекании тонких перфорированных пластин, расположенных с большим шагом по ходу течения потока, а не в поперечном сечении трубопровода. За счёт такого решения возможно увеличение проходного сечения примерно в два раза, что приводит к значительному уменьшению гидравлического сопротивления.
4. Исследованы основные подходы к численному моделированию течений применительно к решению задач с обтеканием сложной тонкой геометрии. Разработана модель для проведения численного исследования новых стабилизаторов течения, включающая генератор неравномерности, обеспечивающий наличие крупных отрывных вихрей, исследуемый стабилизатор течения и прямой участок для снятия расчётных значений (рис.2). Оценивать эффективность новых устройств целесообразно в сравнении с наиболее распространёнными конструкциями существующих устройств такого же назначения по двум критериям – коэффициенту неравномерности поля скоростей потока и коэффициенту гидравлического сопротивления.
5. По результатам оценки, проведённой на основе численного эксперимента, новые стабилизаторы течения незначительно превосходят существующие аналоги по

эффективности борьбы с динамическими нагрузками (рис. 3), однако, при этом они имеют в 4-5 раз меньшее гидравлическое сопротивление (рис. 4). Таким образом, на основе предварительных расчётов можно сделать вывод, что основная цель разработки новых стабилизаторов течения достигнута. Наиболее удачной конструкцией оказался пластинчатый стабилизатор (рис. 1, а), при этом линейный цилиндрический незначительно отстаёт от него по характеристикам.

6. Поскольку на текущий момент методы численного моделирования задач гидрогазодинамики недостаточно совершенны, для более точного исследования характеристик новых стабилизаторов течения был разработан и изготовлен экспериментальный стенд (рис. 5), позволяющий определять их влияние на профили скоростей течения и вибрационные характеристики трубопроводной системы, а также их гидравлические сопротивления.

7. Был проведён натурный эксперимент с использованием опытных образцов стабилизаторов течения (рис. 1), результаты которого в высокой степени согласуются с расчётными данными и в полной мере подтверждают эффективность разработанных стабилизаторов течения (рис. 6).

8. По результатам эксперимента не было выявлено необходимости в коррекции конструкции новых стабилизаторов течения. На конечные варианты исполнения трёх новых стабилизаторов течения была разработана рабочая конструкторская документация.

9. Выполнены патентные исследования и оформлен патент на стабилизатор течения.

10. Проведено исследование теоретических аспектов возникновения гидравлического удара и распространения волн повышения и понижения давления.

11. Проанализированы возможные способы защиты трубопроводных систем от повреждений при гидравлическом ударе, рассмотрены различные устройства защиты и принципы их действия, выявлены их достоинства и недостатки. Анализ показал, что наиболее перспективными устройствами в настоящий момент являются так называемые стабилизаторы давления, работающие по принципу демпфирования колебаний. Основной частью их конструкции является упругий элемент (резиновые жгуты, полые шары, металлические сильфоны, автомобильные шины, сжатый воздух и т.д), который воспринимает энергию колебаний давления и преобразует её в энергию упругой деформации, таким образом, снижая их амплитуду и предохраняя систему от возможного ущерба. Несмотря на достаточно высокую эффективность, данные устройства зачастую имеют такие существенные недостатки, как высокое гидравлическое сопротивление и большие габаритные размеры, затрудняющие их установку на сложных трубопроводных системах.

12. Из всех современных устройств защиты от гидроудара особый интерес представляют пружинные предохранительные клапаны, имеющие следующий принцип действия: при повышении давления вследствие гидроудара пружина, при номинальном режиме работы трубопровода прижимающая седло клапана, сжимается и открывает канал для сброса жидкости. Таким образом, происходит одновременно как демпфирование колебаний давления, так и его снижение за счёт размыкания трубопроводной системы. При этом достигается взаимная компенсация недостатков обоих методов – снижается нагрузка на демпфирующий элемент и уменьшается объём сбрасываемой жидкости. Другими достоинствами клапанов такого типа является отсутствие потребности в специальном техническом обслуживании, сравнительно небольшие габаритные размеры, а также возможность индивидуальной настройки под конкретные эксплуатационные условия за счёт предусмотренного в их конструкции регулирования натяжения пружины.

13. Разработано новое устройство защиты от гидравлического удара, демпфирующий элемент которого, выполненный в виде цилиндрической резиновой вставки того же диаметра, что и основной трубопровод, устанавливается внутри отрезка трубы с фланцами, имеющего незначительно больший диаметр (рис. 7). При нормальном режиме работы системы вставка составляет единое целое с основным трубопроводом, вследствие

чего гидравлическое сопротивление всего устройства пренебрежимо мало. В случае гидроудара деформация вставки незначительна и составляет 2-3 мм.

14. Для проведения экспериментальных исследований разработанного устройства создан экспериментальный стенд, позволяющий вызывать гидравлический удар посредством закрытия быстродействующей задвижки. Поскольку данные колебания имеют достаточно высокую частоту, они не могут быть зарегистрированы с помощью датчиков давления, наиболее распространённых в теплотехнических измерениях. В связи с этим экспериментальный стенд был оснащён высокоточными малоинерционными датчиками давления и соответствующей системой измерений.

15. Результаты экспериментальных исследований показали высокую эффективность разработанного устройства защиты трубопроводов от гидравлического удара (рис. 9). Повышение давления снизилось приблизительно в 3 раза, выраженных пульсаций не наблюдается. Измерительные приборы не зарегистрировали изменения давления на устройстве при номинальном режиме работы стенда. Таким образом, все цели, поставленные при разработке нового устройства защиты трубопровода от гидравлического удара, можно считать в полной мере достигнутыми.

16. Разработаны рекомендации по практическому использованию результатов исследования.

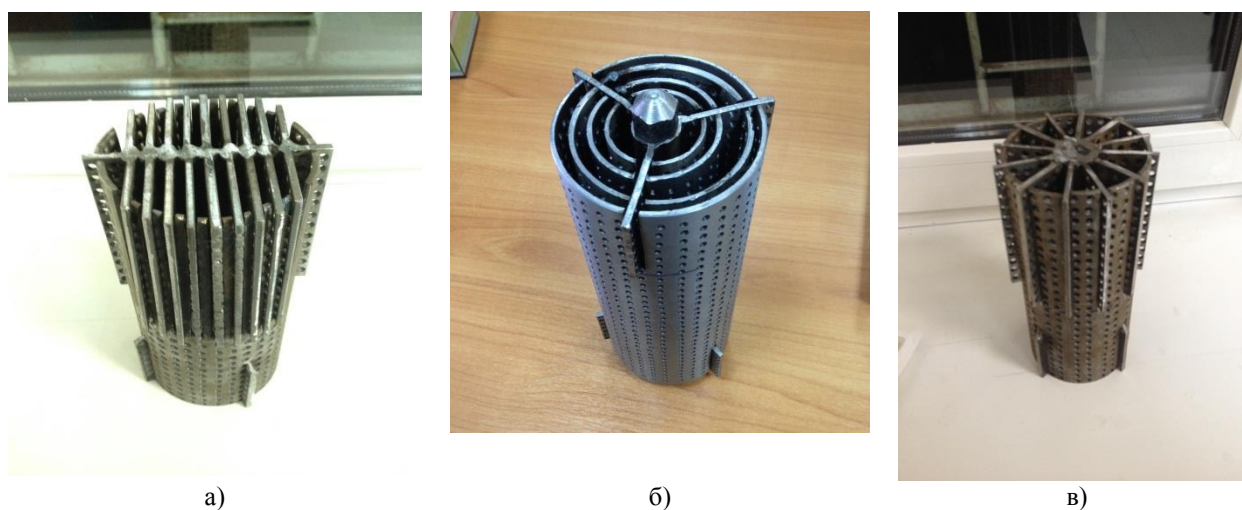


Рис. 1 – Разработанные стабилизаторы течения:

а – пластинчатый; б – кольцевой линейный; в -- секционный

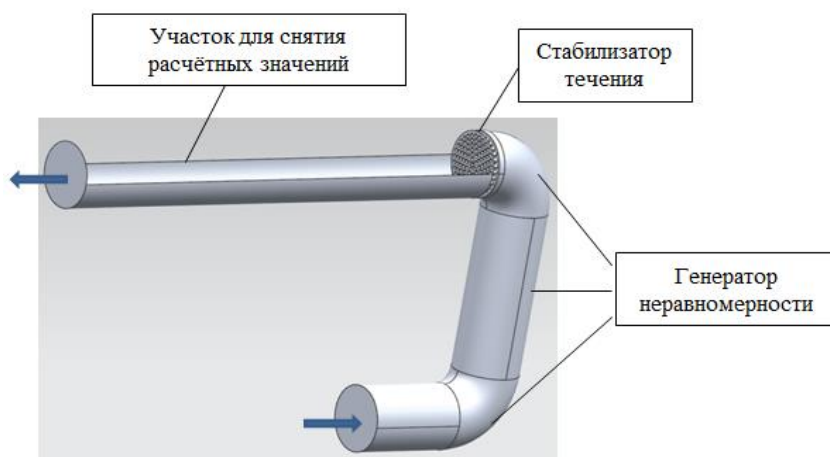


Рис. 2 – Расчётная модель для проведения численных исследований новых стабилизаторов течений

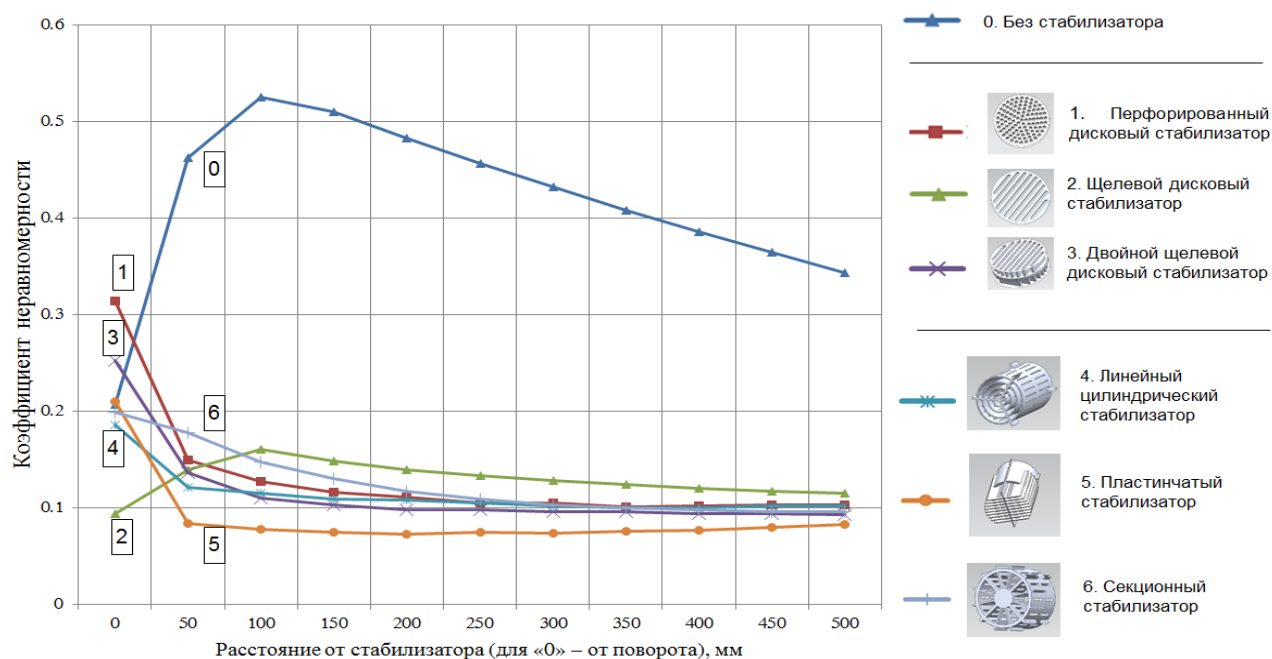


Рис. 3 – Сравнение новых стабилизаторов с существующими аналогами по коэффициенту неравномерности

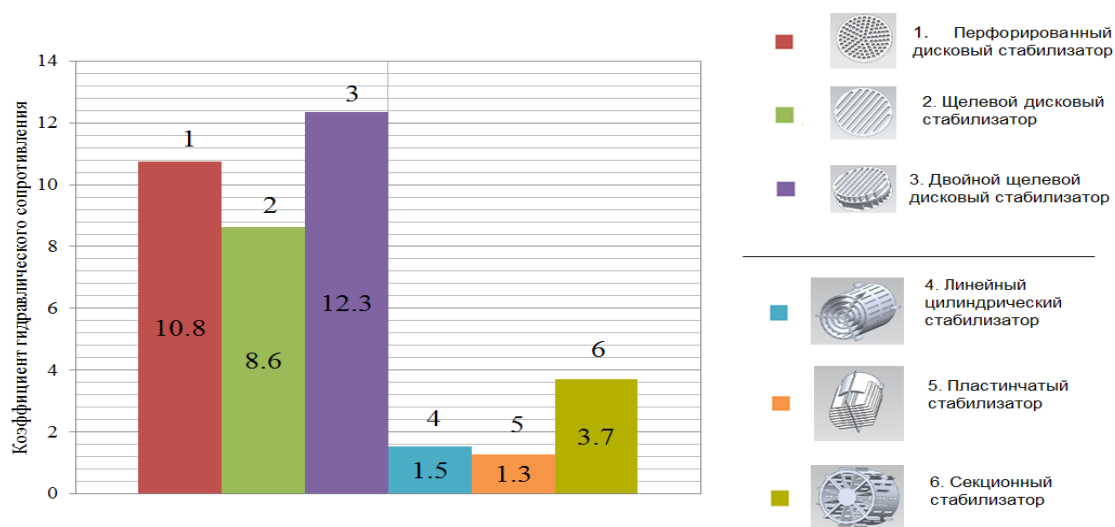


Рис. 4 – Сравнение новых стабилизаторов с существующими аналогами по коэффициенту неравномерности



а)



б)

Рис. 5 – Экспериментальный стенд для исследований экспериментального образца стабилизатора течения на сжимаемых рабочих средах: а – бак-ресивер в процессе монтажа; б – воздуходувка

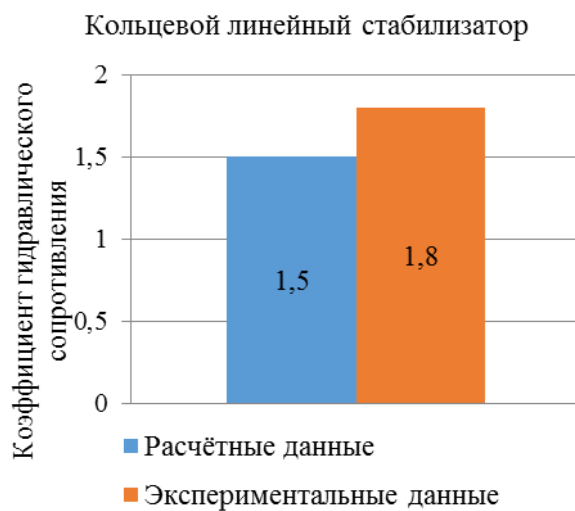


Рис. 6 – Сравнение расчётных и экспериментальных данных об эффективности кольцевого линейного стабилизатора

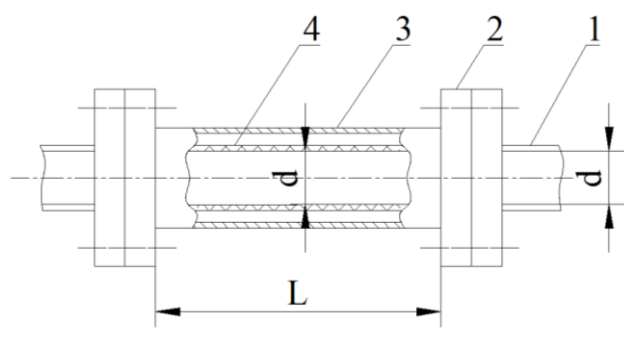


Рис. 7 – Устройство защиты трубопровода от гидравлического удара: 1 – основной трубопровод системы; 2 – фланцы; 3 – отрезок трубы; 4 – упругая вставка



Рис. 8 – Экспериментальный стенд для исследования экспериментального образца устройства защиты трубопровода от динамических нагрузок на несжимаемых средах

Оценка элементов новизны результатов работ по III Этапу и по всей работе в целом:

Новые стабилизаторы течения были разработаны с применением прежде не использовавшегося подхода и не имеют близких аналогов.

Устройство защиты трубопровода от гидравлического удара имеет широко распространённый в этой области принцип действия, однако при этом отличается значительно более простой конструкцией и пренебрежимо малым гидравлическим сопротивлением.

По результатам выполнения работ по соглашению поданы следующие заявки на создание результата интеллектуальной деятельности, полученные в процессе выполнения проекта.

1. Патент на изобретение «Аэродинамический фильтр». Изобретение относится к области энергетики, а именно, к оборудованию трубопроводных систем и может быть использовано для повышения надежности элементов оборудования, в которых происходит изменение направления движения потока и сокращения длины прямолинейных приборов без внесения существенного добавочного гидравлического сопротивления. Техническая задача, решаемая предлагаемым аэродинамическим фильтром, состоит в снижении неравномерности поля скоростей рабочего тела и амплитуд пульсаций давлений,

вызванных этой неравномерностью. Уведомление ФИПС № 2015131462 от 29.07.2015 года.

2. Патент на полезную модель «Гаситель гидроударов для трубопровода». Предлагается гаситель гидроударов преимущественно для трубопроводных систем, представляющий собой отрезок трубы с присоединительными фланцами, внутри которой установлена цилиндрическая вставка из упругого, легко деформирующегося материала, типа резины с внутренним диаметром, равным проходному диаметру трубопроводной арматуры, перед которой устанавливается гаситель гидроударов. Уведомление ФИПС № 2015134531 от 18.08.2015 года.

Оценка соответствия полученных результатов работы техническим требованиям к выполнению проекта.

Все обозначенные в Плане-графике работы выполнены в полном объеме. Полученные результаты полностью соответствуют требованиям технического задания.

В целях коммерциализации результатов интеллектуальной (научно-технической) деятельности, полученных в рамках проекта Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Национальный исследовательский университет "МЭИ" совместно с индустриальным партнером ЗАО «АРМЭКС» проводят работы по организации и выполнению опытно-конструкторских работ, в частности начата разработка комплекта рабочей конструкторской документации в объеме и по качеству отработки, достаточного для постановки на производство разработанных в рамках проекта устройств, с учетом особенностей производственных площадок индустриального партнера. На основании уже имеющейся конструкторской проработки проведена предварительная оценка стоимости будущих изделий.

В целях защиты результатов интеллектуальной (научно-технической) деятельности, полученных в рамках проекта Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Национальный исследовательский университет "МЭИ", как уже было указано выше подало в соответствии с условиями соглашения две заявки на получения патентов:

1. на изобретение «Аэродинамический фильтр»
2. на полезную модель «Гаситель гидроударов для трубопровода».

Совместно с индустриальным партнёром Закрытым акционерным обществом «АРМЭКС» подготовлен проект лицензионного договора, который будет заключен между исполнителем (ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ») и индустриальным партнером (ЗАО «АРМЭКС») при получении соответствующих патентов.

С целью распространения информации среди потенциальных заказчиков информация о разработанных экспериментальных образцах, с указанием их технических характеристик, была опубликована в специализированных журналах и представлена на выставке «Вузпромэкспо 2015».

Комиссия Минобрнауки России признала обязательства по Соглашению на отчетном этапе исполненными надлежащим образом.