

## МИКРОПРОЦЕССОРНЫЙ БЛОК УПРАВЛЕНИЯ КОМПЛЕКСНЫМ ДИАГНОСТИЧЕСКИМ СТЕНДОМ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ВИБРАЦИЙ ТРУБОПРОВОДОВ АЭС

**В.И. Велькин, Д.С. Комоза, А.Ю. Крутиков, В.В. Хныкина**  
*ГОУВПО «Уральский государственный технический университет – УПИ»  
им. первого Президента России Б.Н. Ельцина*



Представлены результаты исследований пассивных завихрителей для снижения уровня вибраций в трубопроводах с двухфазным течением. Показаны конструкции устройств. Дано обоснование повышения расходных параметров двухфазной смеси на экспериментальном стенде. Представлены расходные характеристики, обеспечивающие получение качественно новых параметров двухфазной смеси для дальнейших исследований. Представлен вид микропроцессорного блока управления экспериментальным стендом.

**Ключевые слова:** двухфазный поток, снижение вибраций трубопроводов, пассивный завихритель, микропроцессорный блок управления.

**Key words:** two-phase flow, decreasing of vibration of pipelines, passive swirler, microprocessor controlling unit.

Возникновение вибраций в трубопроводах энергетического оборудования является частой причиной выхода из строя трубопроводов, систем теплообмена и приводит к значительным затратам по восстановлению их герметичности и ресурса.

Для устранения или снижения уровня вибраций трубопроводов используются различные активные и пассивные устройства, описанные в [1].

Одной из важных задач при решении проблемы снижения вибраций в трубопроводах является оптимизация геометрии устройств, воздействующих на гидродинамику двухфазного потока. В работах, выполненных в УГТУ–УПИ, были исследованы пять типов вставок-завихрителей: шнековый, ленточный, пластинчатый, лепестковый и канатовидный (рис. 1).

На этапе исследования характеристик вибраций трубопровода с каждым типом вставки было проведено несколько сот экспериментов, получены первичные данные и на их основе построены графики зависимости эффективности снижения виброперемещений от типа вставки и паросодержания двухфазного потока при различных числах Рейнольдса.

На практике для снижения вибраций в трубопроводах применяются разнообразные гасители как активного, так и пассивного типов. В числе пассивных ранее были исследованы вставки-завихрители шнекового типа, которые показали незна-

© В.И. Велькин, Д.С. Комоза, А.Ю. Крутиков, В.В. Хныкина, 2009

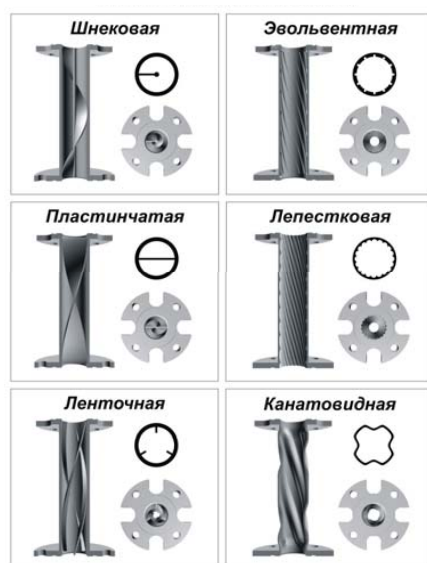


Рис. 1. Основные конструкции и схемы вставок-завихрителей

чительный эффект. Поэтому была предложена конструкция вставок с эвольвентными канавками на внутренней поверхности участка перед поворотом трубопровода (рис. 2) [2].

Для исследования влияния завихрителей был проведен ряд экспериментов, направленных на определение эффективности устройств по снижению вибрации трубопроводов.

Методика экспериментов заключалась в следующем. Завихрители устанавливались на входе в поворотный участок, и по трубопроводу подавался двухфазный поток. Изменяя объемные расходы воды и воздуха, создавали различные режимы течения фаз, характеризующиеся соответствующими расходными параметрами. После проведения экспериментов с одним типом вставок выполнялись такие же измерения со вставками-завихрителями другой внутренней геометрии.

Расходное объемное содержание фаз определялось из соотношения

$$\beta := \frac{v''}{v' + v''},$$

где  $v'$ ,  $v''$  – объемные расходы жидкой и паровой фаз.

Измерения проводились при  $\beta = 0; 0,5; 0,667; 0,75$  и значениях чисел Рейнольдса 2000, 4000, 6000 и 8000. Для определения частот, на которых возникают ре-

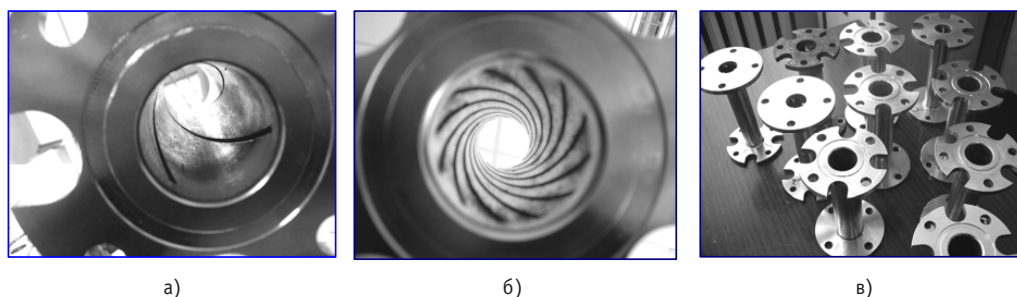


Рис. 2. Фото вставок-завихрителей с эвольвентными канавками: а) с 3 канавками; б) с 12 канавками; в) исследуемые вставки-завихрители

зонансы, виброанализатором СД-12М были получены спектры вибраций при различных режимах двухфазного потока.

По спектрам, полученным на трубопроводе с гладкими поверхностями, установлено, что максимальные значения виброскорости возникали на частотах 1,6, 2,9 и 6,7 Гц.

При использовании, например, вставки с тремя канавками (3К) наиболее выражена частота 2,9 Гц. Применение вставки с 18 канавками (18К) смещает частоту возникновения пиков до 6,7 Гц. При сравнении спектров, полученных с использованием вставок-завихрителей, со спектрами трубы с гладкими стенками максимальное значение виброскорости уменьшалось практически на всех режимах.

По полученным спектрам можно сделать заключение о смещении резонансных частот, но не о величине изменения вибрации. С целью определения величин изменения вибрации необходимо было использовать измерения уровней среднеквадратичных значений (СКЗ) виброперемещения и виброскорости.

Для определения СКЗ виброхарактеристик в приборе задавалось количество измерений. В данном случае было выбрано 15 измерений (отсчетов). В качестве эталонных были взяты уровни СКЗ виброхарактеристик, полученные на гладких непрофилированных поворотных участках труб. Приведенные на рис. 3 относительные значения показывают изменение уровней виброперемещений в сравнении с эталонными значениями.

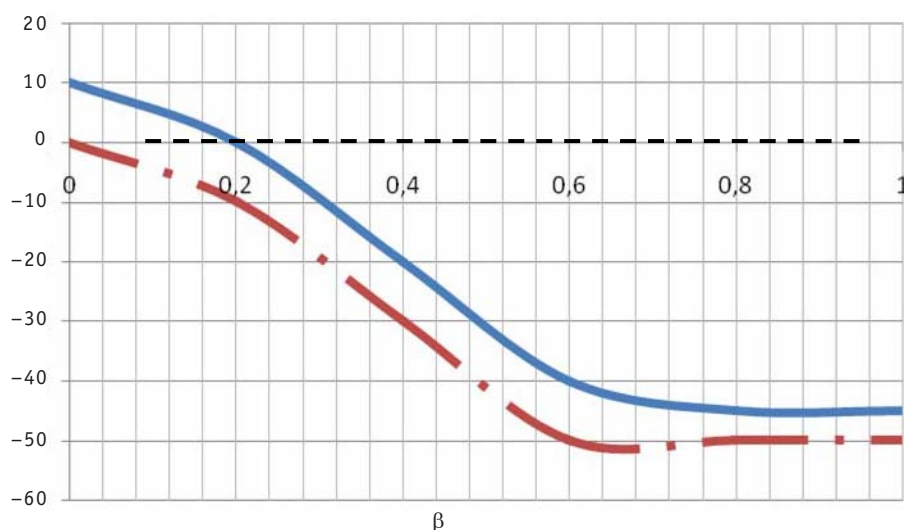


Рис. 3. Относительная зависимость СКЗ виброперемещения трубопровода от паросодержания потока:  
 --- — завихритель типа 9К; — · — — завихритель типа 18К

Из графиков видно, что относительное снижение виброперемещения характерно для каждого из исследуемых типов завихрителей. Однако наибольшим эффектом, как установлено, обладает вставка-завихритель с максимальным числом эвольвентных канавок (18), которая снижает относительную вибрацию до 40–50% при среднеквадратичном значении ошибки 15%. Наибольший эффект наблюдался в диапазоне расходных паросодержаний, соответствующих  $0,5 < \beta < 0,8$ .

Важным этапом исследований явилась модернизация исследовательского стенда и перевод на новую элементную базу КИП. Этот этап был реализован в рамках инновационной программы вуза и Научно-образовательного центра, объединяющего физико-технический и теплоэнергетический факультеты УГТУ–УПИ.

Цель данного этапа отражена в названии статьи и заключается в разработке и



Рис.4. Вид на шкаф с микропроцессорной системой управления экспериментальным стендом

создании микропроцессорного блока управления функциями комплексного диагностического стенда для исследований вибраций в трубопроводах с двухфазным потоком. Для этого был разработан и смонтирован шкаф управления (рис. 4).

Выполненные исследования продемонстрировали эффективную работу пассивных устройств завихрителей и их влияние на снижение вибраций участков трубопроводов до 15–25%. Однако насос и компрессор экспериментального стенда не обеспечивали достаточные параметры двухфазной смеси, ограничивающиеся начальной неустойчивой стадией снарядного режима.

В связи с этим одной из локальных задач являлся гидравлический расчет трубопровода и выбор современной базы КИП, способной обеспечить контроль и управление расходом по воде 0–30 м<sup>3</sup>/ч и расходом по воздуху 0–35 м<sup>3</sup>/ч (Dy40), а также функционирование в автоматическом режиме с регистрацией параметров двухфазной среды. Эта задача была успешно реализована авторами дипломной работы.

Блок-схема микропроцессорного блока управления экспериментальным стендом представлена на рис. 5. Показан фрагмент участка трубопровода, состоящий из узла смешения воды и воздуха для формирования двухфазного потока 1, экспериментальная вставка-завихритель 2 и участок регистрации виброперемещения трубопровода 3.

Основными элементами блок-схемы являются

- ЧРПН – частотно-регулируемый привод насоса;
- ЧРПК – частотно-регулируемый привод компрессора;
- ЗГЗ – задатчик геометрии завихрителя;
- СД-12М – виброанализатор СД-12М;
- SW-9 – программный комплекс на базе пакета «Solid Works-9».

В ходе исследований на участке 1 экспериментального стенда [4] формировались различные режимы течения двухфазной смеси, описываемые расходными характеристиками (числами Re) и соотношениями объемов фаз ( $\beta$ ).

На участке 2 происходило пассивное воздействие на структуру движущегося потока за счет различной геометрии внутренней поверхности завихрителя.

На участке 3 снимался сигнал, характеризующий виброперемещение участка трубопровода с гладкой внутренней поверхностью участка 2 или с применением на этом участке завихрителя.

Частотно-регулируемые приводы компрессора и насоса позволяли добиться

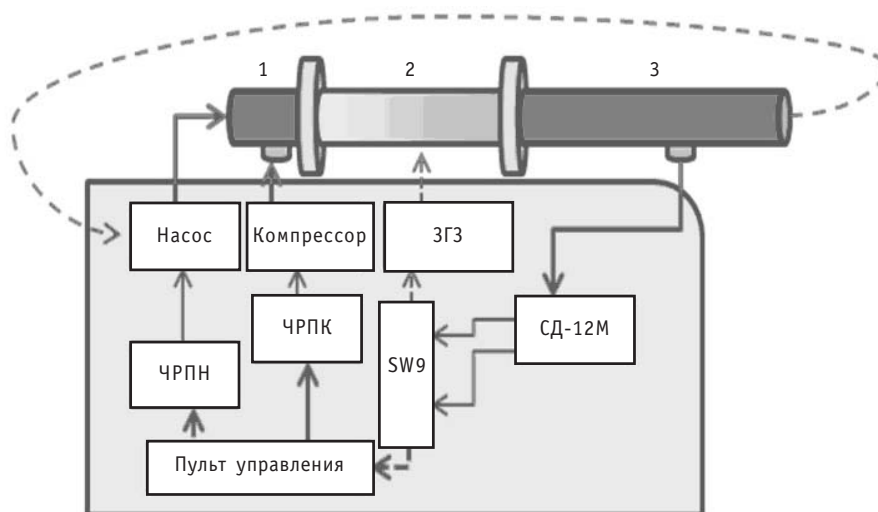


Рис. 5. Блок-схема микропроцессорного блока управления

высокой повторяемости результатов при формировании двухфазного потока и повысить точность измерений для сопоставления эффективности различных типов завихрителей.

Программный комплекс на базе пакета «Solid Works 9» и задатчик геометрии завихрителя (ЗГЗ) имеют обратную связь с вибродиагностическим комплексом СД-12М, но соединены на схеме пунктиром, т.к. функционируют не в реальном стенде, а в его полномасштабной компьютерной модели.

Результаты экспериментов по снижению уровня вибраций, полученные на экспериментальном стенде с реальными вставками-завихрителями, и данные, полученные на компьютерной модели с использованием программного пакета «Solid Works 9», имели расхождение по снижению относительного виброперемещения в пределах 10–15%.

Такая сопоставимость потенциально позволяет моделировать различную геометрию внутренней поверхности завихрителей с помощью компьютера и избежать затрат на разработку, изготовление, монтаж и проведение экспериментов с новыми конструкциями вставок, приводящих к снижению вибраций трубопроводов.

Использование результатов по созданию завихрителей позволит начать их апробацию в опытном и экспериментальном энергомашиностроении для снижения уровня вибраций в трубопроводах с двухфазным течением, что, в свою очередь, будет способствовать повышению надежности и ресурса энергетического оборудования.

### Литература

1. Федорович Е.Д., Фокин Б.С., Аксельрод А.Ф. и др. Вибрации элементов оборудования ЯЭУ. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 168 с.
2. Завихритель/Патент на ПМ №54643; ГОУ ВПО «УГТУ-УПИ», Екатеринбург, 2006.
3. Завихритель/Патент № 2321779, ГОУ ВПО «Уральский технический университет-УПИ», Екатеринбург, 2008.
4. Велькин В.И., Щеклеин С.Е., Петров А.С., Немихин И.Ю. Стенд для исследований вибраций трубопроводов с двухфазным потоком: Сб. тезисов НПК «Энергосбережение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии» (Екатеринбург, УГТУ-УПИ, 2002 г.).

Поступила в редакцию 20.01.2009

## ABSTRACTS OF THE PAPERS

### УДК 621.039.58

*The Microprocessor Unit Controlling the Complex Diagnostic Test Bench for Vibration Examination of Pipelines of Nuclear Power Plants \V.I. Velkin, D.S. Komoza, A.Y. Krutikov, V.V. Khnikina; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 5 pages, 5 illustrations. – References, 4 titles.*

The examination results of passive swirlers for decreasing a level of vibration in the pipelines with two-phase flow were presented. Designs of the swirlers were shown. Metering characteristics providing formation of parameters of a two-phase mixture were described. The results characterizing a relative decreasing of vibration displacement of the pipelines used swirlers were exhibited. The view of the microprocessor unit controlling the experimental diagnostic test bench was exhibited. The scheme and the functioning algorithm were described.

### УДК 621.039.548

*Development of Automatic System by Expose Fuel Channel with Non-Hermetic Assemblies \A.M. Zagrebayev, I.V. Oghegin; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 8 pages, 6 illustrations. – References, 6 titles.*

Scrutinize problem expose non-hermetic fuel assemblies. Description principles of function automatic system by expose fuel channel with non-hermetic assemblies.

### УДК 621.039.534

*Methods and Control Facilities the Resource of the Capital Equipment on the Nuclear Power Plant \A.V. Nekrasov, K.N. Proskurjakov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 10 pages, 2 tables, 7 illustrations. – References, 12 titles.*

Algorithms and software product for calculation of eigen frequencies of coolant pressure oscillations in the equipment of the first contour of the nuclear power plant with BB3P-1000, good quality factor of a contour of the coolant, a pass band of frequencies of fluctuations and factors of attenuations are developed. Results of calculations are resulted at presence and at absence in the coolant of products radiolysis in a gaseous status. The analysis of results allows to reveal the conditions resulting in raised vibrations, and also to develop managers of influences in ordinary system of management information system of the block for their prevention.

### УДК 621.18.021

*Designing of Electronic Passport for Forecast of Condition of the Pipe-Heater Steam Generator \V.K. Semenov, D.S. Rumyantsev; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 5 pages, 3 illustrations. – References, 3 titles.*

We designed a system of organizational and technical steps, which carry out in exploration time of heat-and power engineering equipment of NPP (nuclear power plant) with PWR (power water reactor). This system was designed for the new equipment and can be apply only when the all devices have identical starting condition. If starting conditions are difference, then said approach is not correct. Therefore we are creating methodology, which permit to made prognosis of tubing steam generator longevity and work out a guidelines, which will be helped to raise a safety of steam generator and prolong its resource.

We designed a semi empirical mathematical model and computer program which permit to make forecast of chemical washing terms in steam generator.

### УДК 502/504:57.08

*Ecological bases of Application the Allium-Test in Ecological Monitoring \S.Y. Sinovets, S.V. Pyatkova, G.V. Kozmin; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika»*