

УДК 621.039.584

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ КЛАПАНОВ РЕГУЛИРУЮЩИХ ДИСКОВОГО ТИПА, ПРИМЕНЯЕМЫХ НА ТЭС И АЭС

Кузин Ю.С., Плахов А.Г.

ГОУ ВПО «Волгодонский институт (филиал) ЮРГТУ (Южно-Российского государственного технического университета)», Волгодонск, e-mail: npi@mail.ru

При эксплуатации регулирующих клапанов при давлении свыше 18 МПа для клапана Ду 300 были выявлены недостатки конструкции клапана. В настоящей работе анализируются расчетные модели для определения напряженно-деформированного состояния (НДС) и проведения гидравлических расчетов регулирующего клапана Ду 300, использованные для выработки мероприятий по улучшению работы этих клапанов. Проведен анализ результатов расчетных исследований гидродинамики потока в регулирующих клапанах дискового типа. С использованием методов теории упругости и механики жидкостей и газов проведено исследование расчетных моделей для определения напряженно-деформированного состояния (НДС) и проведения гидравлических расчетов клапана, по результатам которых выработаны рекомендации по улучшению конструкции клапанов.

Ключевые слова: клапан, надежность, прочность

INCREASE OF RELIABILITY OF VALVES REGULATING THE DISK TYPE, APPLIED ON THERMAL AND ATOMIC POWER STATIONS

Kuzin Y.S., Plahov A.G.

Volgodonsk institute(branch) of South-Russian State Technical University,
Volgodonsk, e-mail: npi@mail.ru

At operation of regulating valves at pressure from above 18 MPa for valve Du 300 lacks of a design of the valve have been revealed. In the present work settlement models for definition of tensely – deformed condition (VAT) and carrying out of hydraulic calculations of the regulating valve Du 300, used for development of actions for improvement of work of these valves are analyzed. The analysis of results of settlement researches of hydrodynamics of a stream in regulating valves of disk type is carried out. With use of methods of the theory of elasticity and mechanics of liquids and gases research of settlement models for definition of the is intense-deformed condition (VAT) and carrying out of hydraulic calculations of the valve is conducted, by which results recommendations about improvement of a design of valves are developed.

Keywords: valve, reliability, strength

Клапаны регулирующие дискового типа предназначены для регулирования различных параметров рабочей среды в технологических системах трубопроводов и оборудования ТЭС и АЭС. ОАО «Атоммашэкспорт» поставляет регулирующие клапана типа «Диск» для установки на питательных трубопроводах ТЭС и АЭС. Расчетное давление клапанов до 18 МПа, температура эксплуатации до 350 °С, среда – вода и пар. Эскиз клапана Ду 300 изображен на рис. 1.

На рис. 1 обозначены следующие расчетные области для проведения гидравлического расчета: I – область течения входного патрубка, II – область течения в корпусе клапана с поворотом потока на 270 градусов, III – область течения в стакане с поворотом потока на 90 градусов, IV – область течения в выходном патрубке.

При эксплуатации регулирующих клапанов при давлении свыше 18 МПа для клапана Ду 300 были выявлены следующие недостатки конструкции клапана:

1. Пульсация расхода среды, неудовлетворительная работа клапана при малых расходах (пульсация расхода при отсутствии сигнала на перемещение в некоторых режимах около 30 т/ч (10 % от номинала);

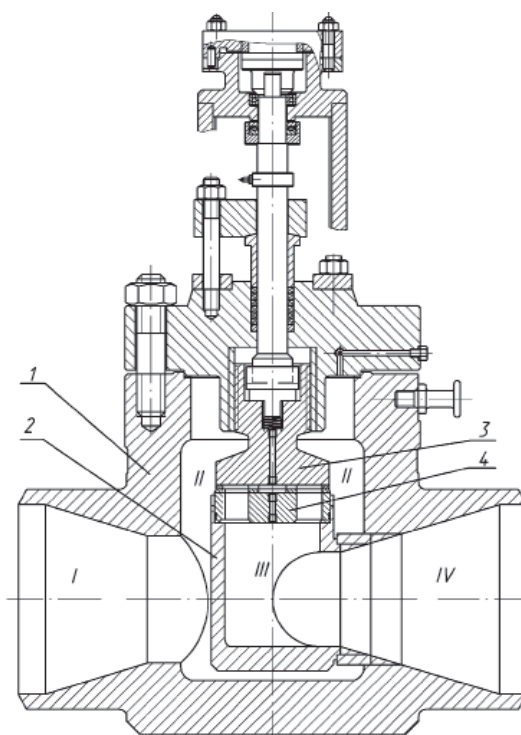


Рис. 1. Конструкция регулирующего клапана Ду 300:
1 – корпус, 2 – стакан, 3 – золотник, 4 – седло

2. Эрозионный износ в выходном патрубке.

В настоящей работе анализируются расчетные модели для определения напряженно-деформированного состояния (НДС) и проведения гидравлических расчетов клапана Ду 300 типа «Диск», использованные для выработки мероприятий по улучшению работы этих клапанов.

Опыт эксплуатации данного ряда регулирующих клапанов показал: начиная с размеров Ду 300 и более, данные клапаны являются более чувствительными к силовым и вибрационным нагрузкам с точки зрения показателей надежности. Поэтому определение НДС клапанов от различных нагрузок и их анализ являются первостепенной задачей конструкторской организации.

Расчёты прочности клапана Ду 300 проведены в соответствии с нормами [1], принятыми в атомной энергетике. При выполнении расчёта были учтены действующее на клапан давление, усилие затяжки шпилек фланцевого соединения, усилия на патрубки клапанов от трубопроводов [1, 3, 4, 5], температурные поля.

Согласно [1, 3] клапаны относятся к оборудованию II категории сейсмостойкости. Поэтому оценка прочности клапанов проведена при действии нагрузок проектного землетрясения в сочетании с нагрузками, возникающими при нормальных условиях эксплуатации клапана [1].

При расчёте на прочность рассмотрены режимы нормальных условий эксплуатации (НУЭ), режим гидравлического испытания и режим аварийной ситуации (АС), а также совместное действие эксплуатационных и сейсмических нагрузок и вибрационных нагрузок.

Воздействие от присоединяемых трубопроводов на клапаны в расчёте было учтено заданием сил и моментов сил, прикладываемых к патрубкам [3].

В соответствии с НП-068–05 клапаны Ду 300 должны быть вибростойкими в диапазоне частот от 5 до 100 Гц при действии вибрационных нагрузок по двум направлениям с ускорением до 1 g и с амплитудой колебаний до 50 мкм, причем одно из направлений воздействия совпадает с осью трубопровода.

Объем расчетов на вибростойкость для клапанов Ду 300:

- определение собственных частот конструкции (модальный анализ);
- расчет от действия синусоидальной нагрузки (гармонический анализ);
- оценка обеспечения вибростойкости.

Корпус клапана имеет довольно сложную форму. Расчёт НДС клапана прово-

дится по программе конечно-элементного анализа «ANSYS» [2]. Для определения напряженно-деформированного состояния клапана построена трёхмерная конечно-элементная модель, представляющая собой половину корпуса клапана. Элементы корпуса моделируются десятиузловым трёхмерным твердотельным элементом SOLID92, который в каждом узле имеет 6 степеней свободы. Расчёт температур и перепадов температур по толщине конструкции проводится по программе ANSYS [3] методом конечных элементов. Для определения температурных полей для корпуса клапана и крышки клапана строятся две конечно-элементные модели. В качестве конечного элемента используется четырёхгранный тепловой твердотельный элемент SOLID87, который в качестве степени свободы имеет только температуру. Теплофизические свойства материалов принимаются согласно [4] и используются в программе расчёта в виде нелинейных функций для режимов «разогрев», «стационар» и «охлаждение».

При определении температурных полей, действующих на элементы конструкции, решается задача теплообмена между элементами клапана и внешней средой, с использованием модуля теплового анализа. Для выбора температурных полей, используемых в расчёте прочности, проводится предварительный анализ влияния температур конструкции на напряженное состояние и выбираются наиболее опасные моменты времени в температурных режимах.

Для определения вибронагрузок в качестве расчётного инструмента использовалась программа конечно-элементного анализа «ANSYS». Построена полномасштабная трёхмерная конечно-элементная модель, представляющая точную конструкцию клапана с приводом в натуральную величину. Элементы клапана моделируются десятиузловым трёхмерным твердотельным элементом SOLID92, который в каждом узле имеет шесть степеней свободы.

Граничные условия – жесткое закрепление конструкции на концах патрубков (аналогично закреплению при эксплуатации).

Модальный анализ использован для определения собственных частот и форм колебаний конструкции. Предполагается, что совершаются свободные незатухающие колебания.

В заданном диапазоне 5–100 Гц, первые 3 собственные частоты клапана Ду 300 относятся к формам колебания бугеля с приводом и попадают в диапазон выше 100 Гц, что приводит к выводу о малости величины напряжений в элементах клапана от вибронагрузок. Одним из критериев обеспечения

вибростойкости является условие отстройки собственных частот колебаний конструкции от дискретных частот детерминированного возбуждения (в нашем случае диапазон 5–100 Гц).

Для выработки мероприятий по улучшению работы клапанов ОАО «Атоммашэкспорт» выполнил гидравлический расчет клапана Ду 300, а именно:

1. Осуществил проверку возможности возникновения кавитационных и суперкавитационных режимов в стакане, выходном патрубке и в трубопроводе за клапаном.

2. Проверил возможность «всплывания» золотника.

3. Определил оптимальный режим работы клапана, исключающий пульсацию расхода.

Регулирующая часть клапана типа «Диск» в основном состоит из щелевидного кольцевого гнезда, где размер отверстия в

кольце гнезда регулируется вращающимся диском (золотником). Угол вращения диска изменяет проходное сечение и величину расхода. Диск держится в постоянном контакте с седлом благодаря 10%-й нагрузке прижатия со стороны головки диска. Расчетное исследование проведено с помощью трехмерного CFD модуля ANSYS Fluid, который позволяет рассчитывать локальные характеристики потока. С помощью программных средств ANSYS создается виртуальный стенд для исследования клапана.

Расчет проведен при параметрах нормального режима эксплуатации с тем, чтобы определить характер течения жидкости в указанном клапане. Проходное сечение седла соответствует 40 % открытия клапана. В расчетную модель включен участок трубопровода до расходомера, соответствующий трубопроводу на натурном стенде. Результаты расчета приведены на рис. 2 и 3.

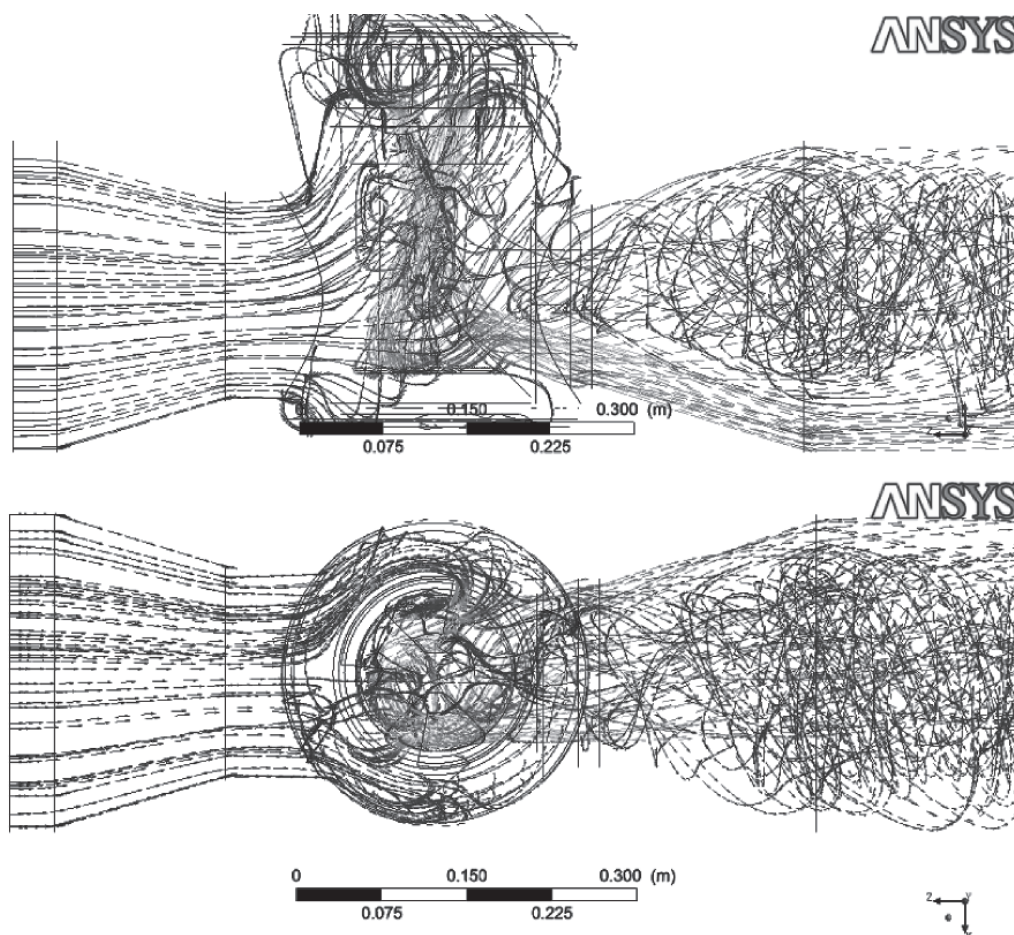


Рис. 2. Векторная диаграмма поля скоростей клапана

Из векторной диаграммы на рис. 2 видно, что при не полностью открытом клапане струи жидкости на выходе из седла движутся разнонаправленно (область III на рис. 1), вызывая закручивание потока вокруг оси

направления движения с поджатием струи к нижней части выходного патрубка (область IV на рис. 1). При этом вихревое движение жидкости сохраняется и в присоединенном трубопроводе что, скорее всего,

вызывает вибрации, как самого клапана, так и последующего трубопровода. В связи с высокой общей нестабильностью течения

высока вероятность того, что невозможно надежно контролировать расход рабочей среды в трубопроводе.

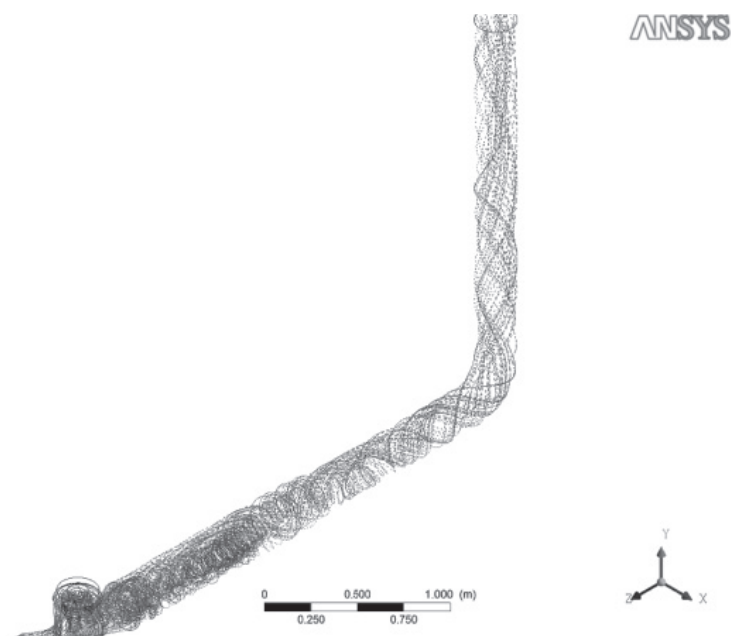


Рис. 3. Векторная диаграмма поля скоростей в трубопроводе после клапана

Причиной повышенной вибрации рассматриваемого клапана и последующего трубопровода, а также невозможности надежно контролировать расход, является сложный характер течения рабочей среды в его проточной части. Уменьшение влияния характера течения на вибрацию последующего трубопровода, а также нестабильность течения, осуществляются установкой перфорированной корзины (рис. 4.), которая разрушает крупные вихревые образования, возникающие в стакане. Аналогичный результат может быть получен и при установке за клапаном перфорированного диска, в теле которого выполнены каналы различной формы.

Были исследованы следующие варианты:

1. Исходный клапан с установкой перфорированного диска на выходе из стакана (поз. 6 на рис. 4).

2. Исходный клапан с установкой перфорированной корзины в стакане клапана (поз. 5 на рис. 4). Исходный клапан с установкой перфорированной корзины в стакане клапана, перфорированного диска и защитного аустенитного кольца (поз. №№ 5, 6 и 7 на рис. 4).

Как показали расчеты из указанных выше вариантов, наиболее приемлемым является вариант 3, который иллюстрируется векторными диаграммами скоростей в проточной части клапана и последующего трубопровода, приведенных на рис. 5, 6.

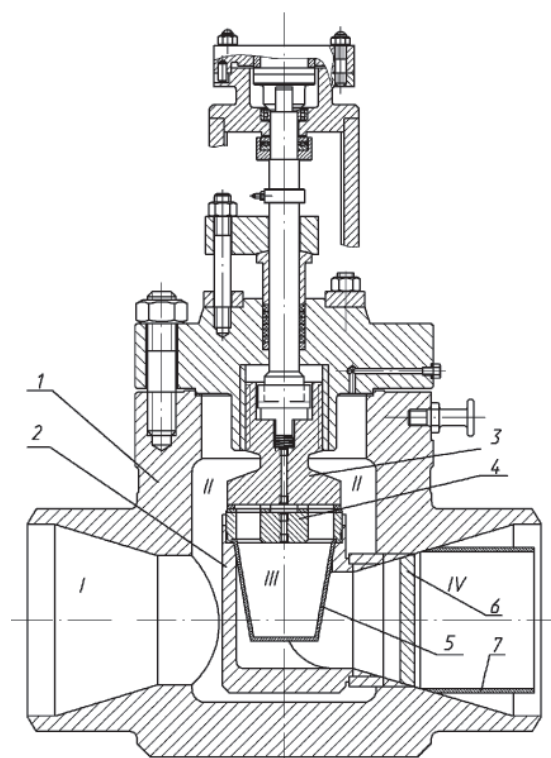


Рис. 4. Конструкция измененного регулирующего клапана:

1 – корпус, 2 – стакан, 3 – золотник, 4 – седло, 5 – перфорированная корзина, 6 – перфорированный диск (перфорация не показана), 7 – защитное кольцо из аустенитной стали

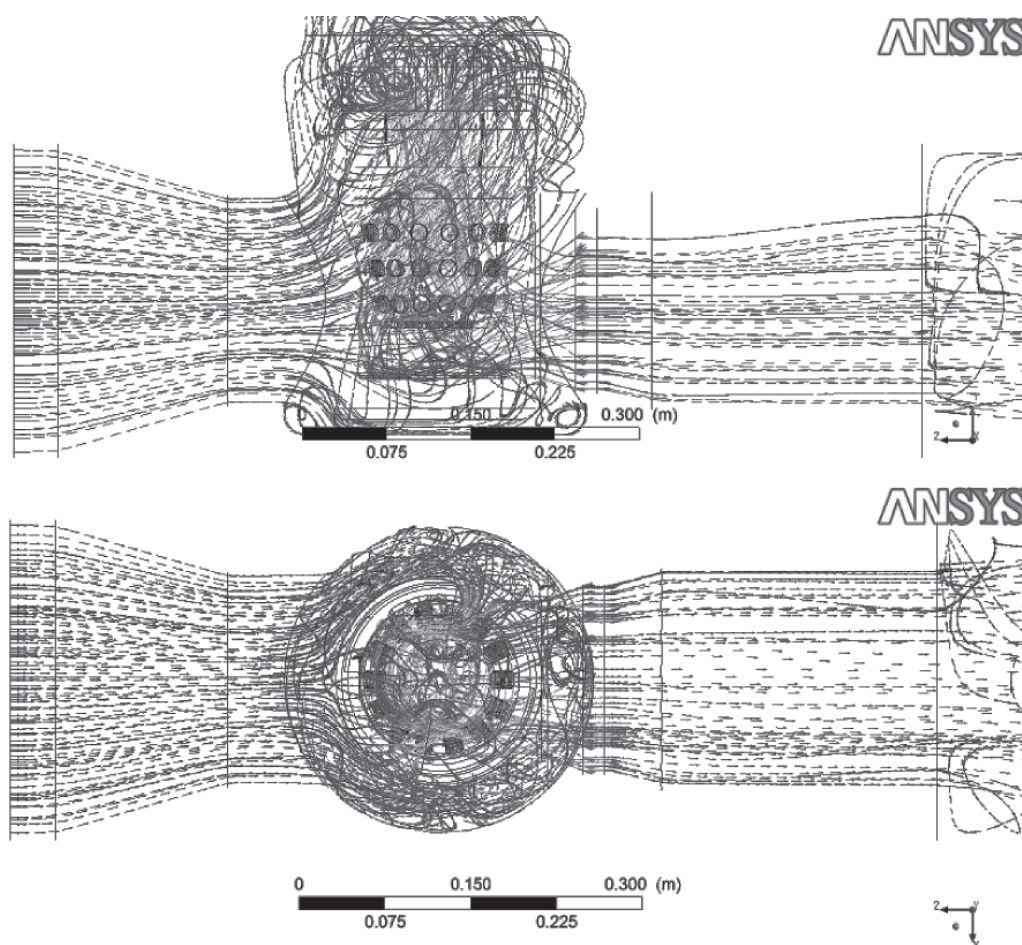


Рис. 5. Векторная диаграмма поля скоростей клапана модернизированного (вариант 3)



Рис. 6. Векторная диаграмма поля скоростей в трубопроводе после клапана модернизированного (вариант 3)

В варианте 3 за счет сужения проходного сечения выходного патрубка в результате установки защитного кольца и перфорированного диска поле скоростей на выходе из клапана равномерно. Срыв потока с образованием локальных вихревых потоков происходит по кромке защитного кольца с дальнейшим выравниванием потока жидкости в трубопроводе.

По результатам проведенных гидравлических расчетов сделаны следующие выводы:

1. Использование перфорированного диска улучшает характер потока на выходе из клапана, но его установку необходимо проводить на максимально возможном диаметре выходного патрубка.

Установка перфорированной корзины дает более равномерное поле скоростей на выходе из клапана, но не устраняет закручивание потока и локальные вихри на выходе из клапана.

Защитное кольцо из аустенитной стали лучше всего устанавливать на максимально возможном диаметре выходного патрубка либо выполнить конической формы.

С точки зрения гидравлики стакан лучше выполнить криволинейной формы с радиусом по повороту потока, а диаметр стакана увеличить.

Для устранения замечаний по эксплуатации клапанов Ду 300 с учетом полученных результатов расчетов ОАО «Атоммашэкспорт» осуществил следующий объем доработки конструкции клапана Ду 300:

- для снижения вибрации и пульсации расхода в выходном патрубке за стаканом был приварен «гаситель» кинетической энергии потока в виде дроссельной решетки;
- для улучшения работы на малых расходах уменьшена пропускная способность клапана путем установки новых седел с пропускными окнами меньшей площади;
- для защиты проточной части от эрозии приварена защитная «рубашка» из аустенитной стали.

Для реализации указанных мероприятий ОАО «Атоммашэкспорт» изготовил два новых клапана и установил их вместо существующих в период ППР. Для оценки прочности корпуса клапана с эрозионным дефектом был выполнен расчет прочности.

Определение остаточного ресурса клапана проведено по фактическим размерам эрозионного дефекта. Последующая эксплуатация регулирующих клапанов Ду 300 типа «Диск» на АЭС не выявила отклонений от нормативных показателей надежности.

Выводы

1. При проектировании регулирующих клапанов типа «Диск», начиная с размеров Ду 300 и более, необходимо производить расчетные обоснования клапанов с учетом всех приведенных выше нагрузок и методов анализа, особое внимание необходимо обращать на учет эксплуатационных вибрационных нагрузок.

2. При проектировании регулирующих клапанов типа «Диск» необходимо проводить гидравлические расчеты для исключения возможных пульсаций расхода среды и неудовлетворительной работы клапанов при малых расходах.

Список литературы

1. Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. ПНАЭ Г-7-002-86.
2. Программный комплекс ANSYS, версия 6.0, лицензия 151427, регистрационный номер паспорта аттестации №145 от 31.10.2002.
3. Трубопроводная арматура для атомных станций. Общие технические требования. НП-068-05.
4. Технические условия на клапана регулирующие типа «Диск», ТУ 6981-033-45475812-00.
5. Острековский В.А., Швыряев Ю.В. Безопасность атомных станций. Вероятностный анализ. – М.: Физматиздат, 2008. – 350 с.
6. Methodology ANSYS-CFX. Version 10.0. London, Computational Dynamics, 2005.

Рецензенты:

Благин А.В., д.ф.-м.н., профессор, зам. директора по научной работе ГОУ ВПО «Волгодонский институт (филиал) Южно-Российского государственного технического университета», г. Волгодонск;

Егоров С.Н., д.т.н., профессор, зам. директора по учебной работе ГОУ ВПО «Волгодонский институт (филиал) Южно-Российского государственного технического университета», г. Волгодонск.

Работа поступила в редакцию 07.07.2011.