

УДК 621.165

А.В. ЕФИМОВ, д-р техн. наук; проф. НТУ «ХПИ», г. Харьков
В.Л. КАВЕРЦЕВ, канд. техн. наук; доц. НТУ «ХПИ», г. Харьков
Т.А. ГАРКУША, науч. сотрудник НТУ «ХПИ», г. Харьков
О.В. НАЛИЗКО, науч. сотрудник НТУ «ХПИ», г. Харьков

КОМПЛЕКС ПРОГРАММ ДЛЯ РАСЧЕТА ЛИНЗОВЫХ КОМПЕНСАТОРОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМАХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

В статті представлено опис блок-схем математичних моделей і комп'ютерних програм для розрахунку основних показників лінзових компенсаторів круглого і прямокутного перетинів для трубопроводів електростанцій.

In article the description of diagrams of mathematical models and computer programs for calculation of the basic indicators of lens jacks of round and rectangular sections for pipelines of power stations is presented.

Линзовые компенсаторы круглого и прямоугольного сечений широко применяются в котельных установках, стационарных трубопроводах и технологических коммуникациях ТЭС и АЭС с давлением транспортируемой среды ниже 1,6 МПа [1, 2].

Известно, что эти трубопроводы различного назначения должны обладать значительной компенсирующей способностью, то есть способностью к деформации без перенапряжения под воздействием возникающих в них температурных удлинений. Если в трубопроводе не будет предусмотрена возможность компенсации его температурных удлинений, в нем могут возникнуть усилия, которые в конечном итоге приведут к его недееспособности из-за образования прогибов, прорывов в местах соединения с другими трубопроводами за счет больших перемещений точек присоединения, возникновения недопустимых сил и моментов у оборудования или строительных конструкций, к которым присоединяется или крепится трубопровод, и ряда других причин. Поэтому при проектировании, изготовлении и монтаже перечисленных трубопроводов вопросам их компенсации уделяется большое внимание.

Необходимо отметить, что в трубопроводах ТЭС и АЭС с давлением транспортируемой среды выше 1,6 МПа (для трубопроводов, применяющихся в тепловых сетях, выше 2,5 МПа) единственным возможным способом компенсации температурных удлинений является их компенсация за счет упругой деформации изгиба и кручения самих трубопроводов, то есть их самокомпенсация [2–5]. Для самокомпенсации трубопроводов прежде всего необходимо, чтобы конфигурация трассы трубопровода включала в себя несколько участков, так называемых плеч. Самокомпенсация трубопровода кроме конфигурации его трассы зависит также и от правильной расстановки опор трубопровода, вида применяемых опор (подвижных или неподвижных), пружинных подвесок и других факторов. Во многих случаях для восприятия температурных удлинений в трубопроводе в качестве компенсаторов используют искусственно гнутые П-образные участки. Однако применение такого способа компенсации имеет ряд существенных недостатков: сокращение длины прямых участков трубопровода, вследствие чего повышается его гидравлическое сопротивление; необходимость большей территории для зоны расположения трассы трубопровода; необходимость усложнения строительных конструкций и другие.

Для компенсации тепловых удлинений трубопроводов, применяемых в энергетике, с давлением транспортируемой среды ниже 1,6 МПа, как уже отмечалось, используются специальные устройства в виде линзовых компенсаторов круглого и прямоугольного сечений. Они без дополнительного изменения конфигурации участков трубопроводов способны выполнять все вышеуказанные функции компенсации.

На ТЭС и АЭС осевые линзовые компенсаторы круглого и прямоугольного сечений широко применяются в системах продувочных и выхлопных трубопроводов, циркуляционных водоводов внутри главного корпуса электростанций, промывочных трубопроводов, трубопроводов барботеров и технической воды, газо-воздухопроводов, трубопроводов систем химводоочистки, гидрошлакозолоудаления, промывки регенеративных воздухоподогревателей, маслопроводов. Такие компенсаторы удобны тем, что имеют относительно небольшие габариты вдоль оси трубы и занимают мало места. Их конструкция способна воспринимать температурные удлинения и при этом обеспечивать полную герметичность. Устанавливаются они на прямых участках трубопроводов. Изготовление осевых линзовых компенсаторов требует достаточной высокой точности для обеспечения их основных показателей жесткости при осевом растяжении под действием давления и компенсирующей способности линзы.

Линзовые компенсаторы прямоугольного сечения обычно устанавливаются в системах трубопроводов газоотводящих трактов, пылевоздушных трактов и воздухопроводов энергетических котлов, имеющих прямоугольное сечение и работающих в условиях относительно низких давлений (менее 0,1 МПа) [6, 7]. Некоторые из этих трубопроводных систем, и в частности газо-воздухопроводы, имеют прямоугольное сечение от $0,3 \times 0,4$ м до $7,5 \times 10$ м. В процессе эксплуатации эти металлические прямоугольные конструкции (короба) нагреваются до температуры 400 °С и более. В результате происходит их температурное удлинение. Поскольку концы газо-воздухопроводов закреплены в неподвижных опорах, то от их температурного удлинения в стенках короба возникают напряжения. Для снижения этих напряжений собственно и устанавливаются прямоугольные линзовые компенсаторы. Результаты многочисленных исследований показывают, что действие осевых сил на концевые неподвижные опоры и металлоконструкции газо-воздухопроводов увеличивается с ростом жесткости линзовых компенсаторов, что требует увеличения конструктивных размеров и металлоемкости опорных конструкций. Так, например, увеличение жесткости линзовых компенсаторов прямоугольного сечения на 10 % приводит к повышению металлоемкости опорных конструкций газо-воздухопроводов на 10–15 % [4, 6, 7].

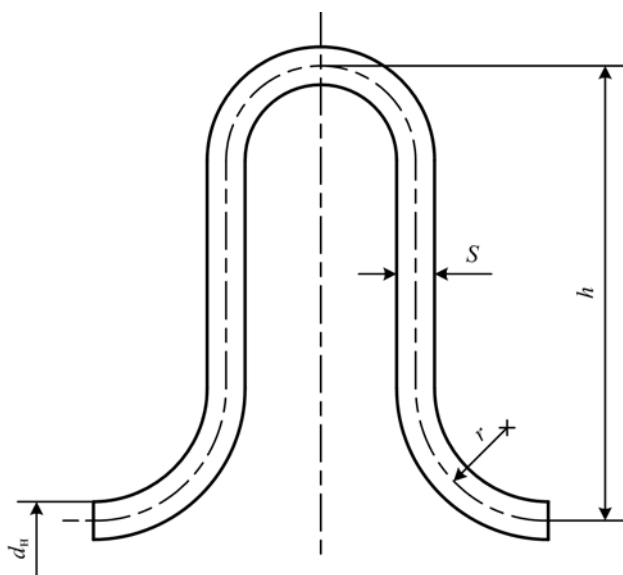
Необходимо отметить, что в связи с относительно низким давлением транспортируемой среды (менее 0,1 МПа) в расчетах на жесткость компенсаторов прямоугольного сечения значением этого давления можно пренебречь.

В настоящее время в процессе проектирования трубопроводных систем для ТЭС и АЭС расчеты компенсации трубопроводов обычно выполняются с помощью специально разработанных для этой цели математических моделей и компьютерных программ, позволяющих рассчитать удлинения трубопроводов с учетом или без учета давления транспортируемой среды, распорные усилия трубопроводов и другие характеристики. Однако следует отметить, что количество таких математических моделей и разработанных на их основе программ пока явно недостаточно. Отчасти это можно объяснить тем, что в эти модели и программы в качестве исходных данных должно входить большое количество табличных значений различных коэффициентов, что требует создания и организации специальной базы данных.

В связи с этим разработка математических моделей и компьютерных программ для расчета основных показателей линзовых компенсаторов круглого и прямоугольного сечений в процессе проектирования трубопроводных систем для ТЭС и АЭС продолжает оставаться достаточно актуальной задачей.

В основу описываемого в настоящей статье разработанного комплекса программ для расчета жесткости линзовых компенсаторов круглого и прямоугольного сечений положены соответствующие ГОСТы, нормы и правила, которые применяются на предприятиях-изготовителях в Украине и в России и которые достаточно апробированы опытом изготовления и эксплуатации линзовых компенсаторов для различных систем трубопроводов [8, 9].

Программа расчета жесткости линзовых компенсаторов круглого сечения (рис. 1), которые обычно устанавливаются на электростанциях в системах продувочных и выхлопных трубопроводов, циркуляционных водоводов внутри главного корпуса электростанций, промывочных трубопроводов, трубопроводов барботеров и технической воды, трубопроводов систем химводоочистки, гидрошлакозолоудаления, промывки регенеративных воздухоподогревателей, маслопроводов и других и которые имеют давление среды менее 1,6 МПа, состоит из четырех блоков (рис. 2).



d – расчетный диаметр;
 h – высота (вылет) волны компенсатора;
 r – радиус тороидального перехода в верхней и нижней части компенсатора;
 S – толщина стенки компенсатора

Рис. 1. Геометрические характеристики линзового компенсатора круглого сечения

В первом блоке формализуются исходные данные для расчета. Они включают в себя следующие параметры:

1. Геометрические конструктивные характеристики компенсатора, в том числе, расчетный диаметр d ; высоту (вылет) волны компенсатора h ; радиус тороидального перехода в верхней и нижней частях компенсатора r ; толщину стенки компенсатора S .

2. Марку стали, из которой изготавливается компенсатор.

3. Температуру внутренней стенки компенсатора.

Второй блок программы представляет собой определение обобщенной функциональной зависимости для геометрических конструктивных характеристик компенсатора в виде следующей функции [9]:

$$R_C = f(d/h, S/h, r/h). \quad (1)$$

Третий блок предназначен для определения численного значения модуля упругости материала E_t из которого изготавливается компенсатор. В основу реализации этого блока программы положено определение значений модулей упругости E_t для различных сталей в зависимости от температуры стенки металла и марки стали (табл. 1) [8, 9].

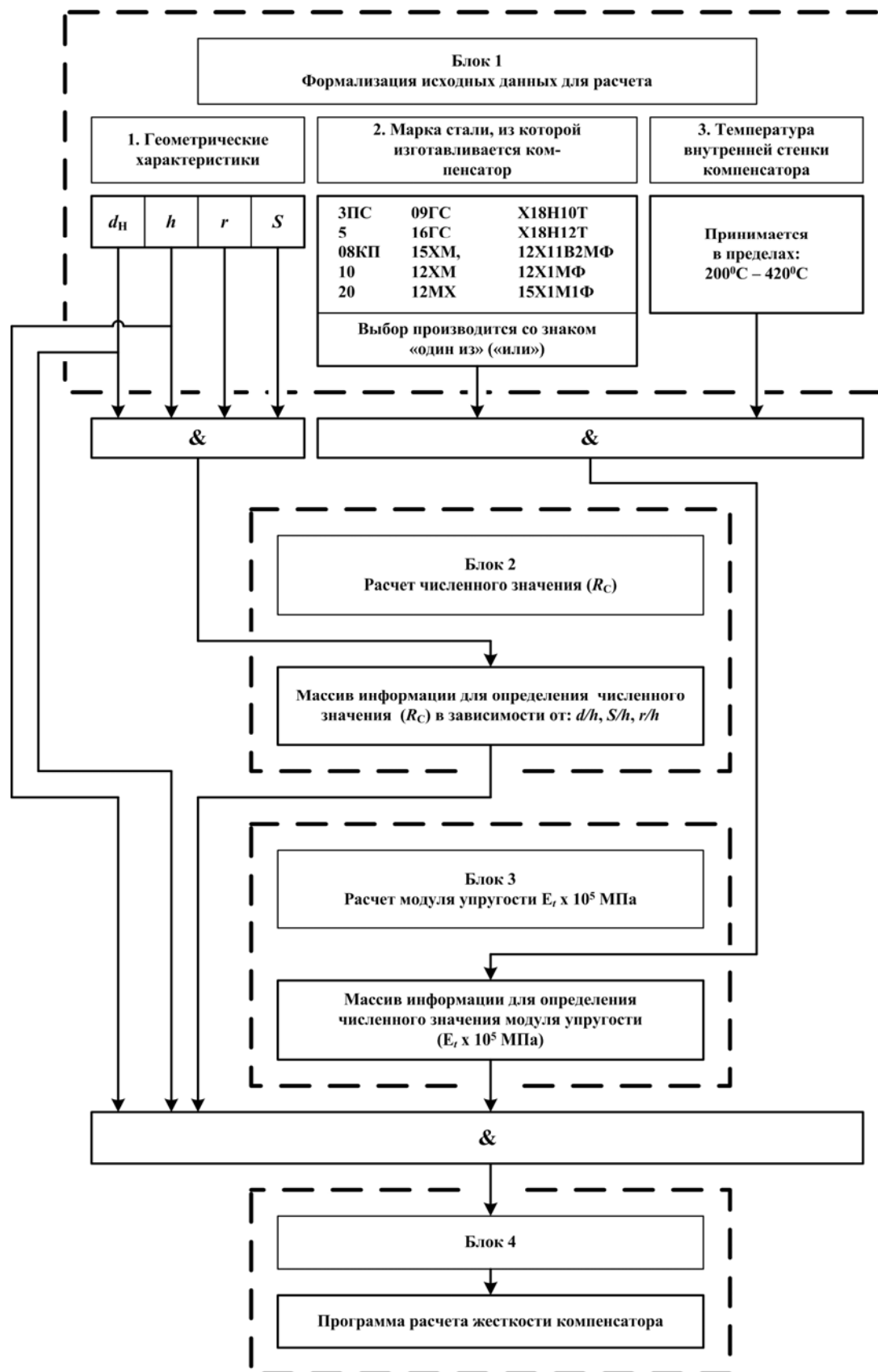


Рис. 2. Логическая блок-схема программы расчета жесткости линзовых компенсаторов круглого сечения

Таблица 1

Численное значение модуля упругости для углеродистых и нержавеющей сталей в зависимости от температуры стенки металла

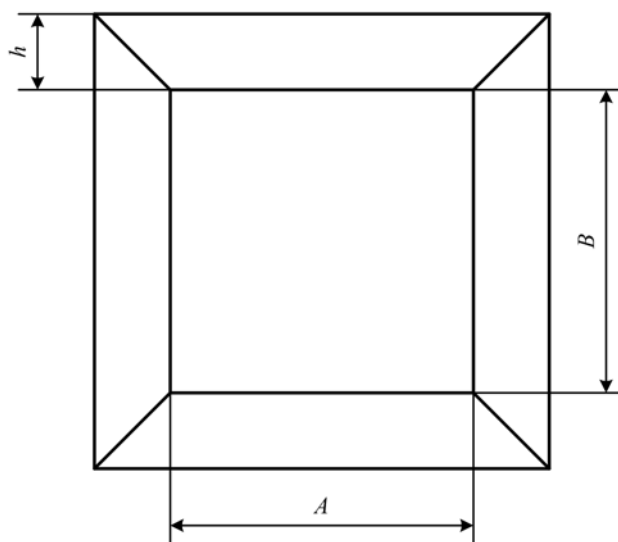
Марка сталей	Численное значение модуля упругости, $E_t \times 10^5$, МПа	
	численное значение температуры, °С	
	200	420
ЗПС, 5, 08КП, 10, 20	1,96	1,766
Ст 09ГС, 16ГС, 15ХМ, 12ХМ, 12МХ, 12Х1МФ, 15Х1М1Ф	2,04	1,864
Х18Н10Т, Х18Н12Т, 12Х11В2МФ	1,94	1,714

Четвертый блок программы представляет собой определение численного значения жесткости C компенсатора круглого сечения на основании расчетных величин, полученных в предыдущих трех блоках.

Жесткость линзовых компенсаторов круглого сечения в общем виде представляет собой следующую функциональную зависимость [9]:

$$C = f(R_c, E_t). \quad (2)$$

Программа расчета жесткости линзовых компенсаторов прямоугольного сечения (рис. 3) состоит из трех блоков, представленных на рис. 4.



A, B – размеры проходного сечения

Рис. 3. Геометрические характеристики линзового компенсатора прямоугольного сечения

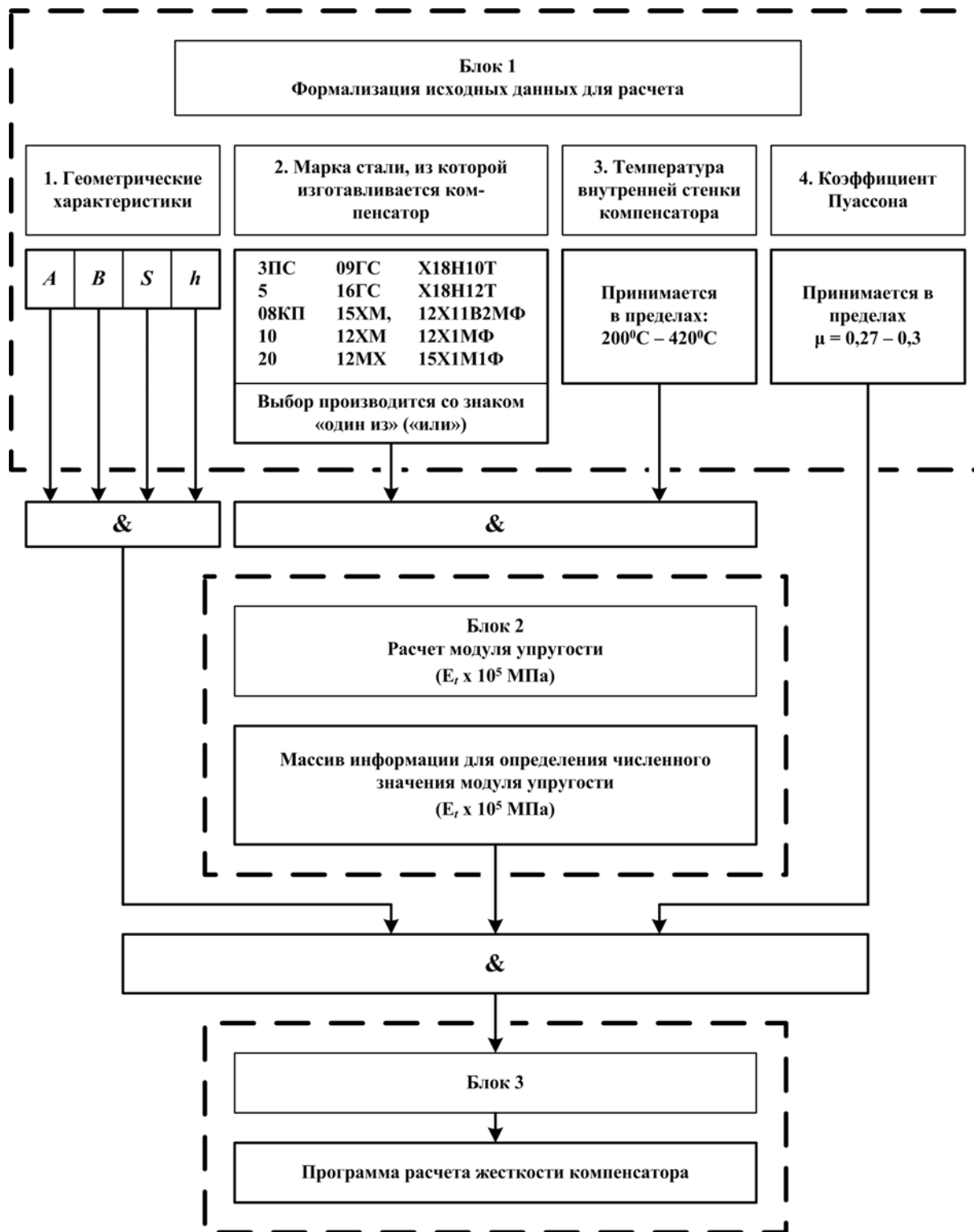


Рис. 4. Логическая блок-схема программы расчета жесткости линзовых компенсаторов прямоугольного сечения

В первом блоке формализуются исходные данные для расчета. Они включают в себя следующие параметры:

1. Геометрические конструктивные характеристики компенсатора, в том числе размеры прямоугольного сечения A , B ; длину линзы h ; толщину стенки компенсатора S .
2. Температуру внутренней стенки компенсатора t .
3. Коэффициента Пуассона μ .

Второй блок программы предназначен для определения модуля упругости E_t при расчетной температуре t [6, 7].

Третий блок программы представляет собой определение численного значения жесткости C компенсатора прямоугольного сечения на основании расчетных величин, полученных в предыдущих двух блоках [7].

Жесткость линзовых компенсаторов прямоугольного сечения представляет собой следующую функциональную зависимость [7]:

$$C = f(A, B, h, S, E, \mu). \quad (3)$$

Разработанные комплексы программ, которые являются открытыми системами, можно применять при выполнении расчетов линзовых компенсаторов для различных трубопроводных систем энергетических объектов. Они показали высокую точность при выполнении таких расчетов на ряде котлостроительных предприятий в Украине и России.

Список литературы: 1. *Есарев В.И.* Компенсаторы для трубопроводов электростанций / В.И. Есарев. – М.: Энергоатомиздат, 1981. – 253 с. 2. *Говядко Г.М.* Компенсаторы для трубопроводов / Г.М. Говядко, В.И. Есарев, В.Д. Дубчак. – Справочник. С-Пб.: Энергоатомиздат, 1993. – 160 с. 3. *Есарев В.И.* Применение линзовых компенсаторов на давление 2,5 МПа / В.И. Есарев. // Энергетическое строительство. – 1985. – № 8. – С. 12-16. 4. *Анкирский Б.М.* О несущей способности линзовых компенсаторов при малоцикловом нагружении / Б.М. Анкирский // Химическое и нефтяное машиностроение. – 1972. – № 4. – С. 14-19. 5. *Скворцов А.А.* Компенсаторы температурных удлинений трубопроводов / А.А. Скворцов // Энергетическое строительство. – 1979. – № 6. – С. 3-8. 6. *Шейнман Е.В.* Пылегазовоздухопроводы для тепловых электростанций / Е.В. Шейнман – Л.: Энергия, 1972. – 234 с. 7. *Есарев В.И.* О жесткости прямоугольных линзовых компенсаторов газозовоздухопроводов ТЭС / В.И. Есарев // Энергетическое строительство. – 1984. – № 9. – С. 5-8. 8. СТ СЭВ 4351-83 Компенсаторы сильфонные и линзовые. Методы расчета на прочность. 9. ГОСТ 30780-2002. Компенсаторы сильфонные и линзовые. Методы расчета на прочность. Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. – Минск, 2002.

© Ефимов А.В., Каверцев В.Л., Гаркуша Т.А., Нализко О.В., 2010
Поступила в редколлегию 11.02.10