

МАШИНОСТРОЕНИЕ

Д. И. Чернявский, Д. Д. Чернявский

Исследование упругопластического изгиба листовой заготовки различной толщины при ее гибке с учетом эффекта пружинения

В работе проводится анализ технологического процесса гибки листовой заготовки для формообразования деталей из листового металла и профилей. Анализ проведен на основе прочностных расчетов упругопластического изгиба металлической пластины. При прессовании такой пластины на практике наблюдается эффект пружинения, когда изогнутая заготовка изменяет свою форму под действием остаточных упругих деформаций при окончании технологического процесса прессования. Для компенсации эффекта пружинения необходимо определять величины упругих и пластических деформаций в листовой заготовке. В работе рассмотрена методика расчёта данных величин на основе имеющихся экспериментальных работ. Сделаны выводы и приведены практические рекомендации, которые можно использовать в процессе настройки технологических параметров прессования листовых заготовок.

Ключевые слова: листовые металлические заготовки, упругие и пластические деформации, энергия формирования упругих и пластических деформаций, технологические параметры прессования, эффект пружинения.

В. Ю. Юрков, Е. Ю. Долгова, М. А. Чижик

Геометрическая модель прогнозирования свойств систем с интервальными параметрами

Описывается интервальный подход к геометрическому моделированию сложных многопараметрических систем с неопределенными, взаимно зависимыми и разнотипными параметрами. Информационный базис систем предполагается неполным, а получение полного информационного базиса связано с технологическими трудностями. Параметры системы могут быть непрерывными, дискретными и условными. Геометрическая модель строится в виде матрицы, каждый элемент которой соответствует определенному состоянию системы. Каждое состояние описывается интервальной функцией, связывающее непрерывные входные и выходные параметры. Множество интервальных функций образует дискретное семейство непрерывных поверхностей в дискретном пространстве параметров. Описанный подход и алгоритм моделирования применен к построению модели прогнозирования свойств драпируемости тканей. В качестве примера построена интервальная модель зависимости показателя драпируемости от таких характеристик ткани, как вид нити, вид переплетения, сырьевой состав и поверхностная плотность.

Ключевые слова: геометрическая модель, интервальный анализ, прогнозирование, текстильные материалы, драпируемость.

Е. С. Гебель, А. Ю. Попов, И. Н. Дроздов

Привод подачи режущего инструмента фрезерного станка для обработки вафельного фона

В работе описан привод подачи режущего инструмента специального металлообрабатывающего станка. На основе анализа технологии фрезерования заданного регулярного рисунка вафельного фона и особенностей работы оборудования предложено заменить традиционную шарикоподшипниковую передачу в составе привода подачи режущего инструмента на плоский совмещенный кривошипно-ползунный механизм. Геометрические параметры рычажного передаточного механизма рассчитаны в соответствии с известными размерами регулярного рисунка ячейки и рекомендованным значением угла передачи движения. Анализ кинематических и силовых характеристик рычажного механизма, позволил обосновать технические характеристики электродвигателя. Для реализации требуемого трапецеидального закона изменения скорости выходного звена решена обратная задача кинематики, получены численные

значения мгновенной угловой скорости входного кривошипа и импульсные управляющие сигналы на серводвигатель.

Ключевые слова: привод подачи, кривошипно-ползунный механизм, закон движения, «особые» положения, сервопривод, система управления.

И. Ю. Лесняк, З. Н. Соколовский, М. А. Фёдорова, С. В. Гавриленко, А. Ю. Казаков.
Проблема оценки выносливости элементов корпуса низколетящих орбитальных объектов

В работе анализируется вопрос расчета выносливости корпуса низколетящих орбитальных объектов от циклической температурной знакопеременной деформации за пределами закона Гука. Констатируется практическое отсутствие методики прямого расчета. Предлагается косвенный расчет на базе имеющихся экспериментальных данных по механическим испытаниям образцов с параметром «напряжение» и алгоритм перехода от фактических деформаций к эквивалентным напряжениям. Методика расчета базируется на использовании существующей экспериментальной кривой усталости при симметричном цикле изгиба, результатах статических испытаний на растяжение при экстремальных температурах цикла и обобщении известной информации о закономерностях изменения параметров выносливости рассматриваемого материала применительно к условиям циклической температурной знакопеременной деформации циклической температурной знакопеременной деформации. Адекватность методики проверяется на примере разгерметизации корпуса орбитального модуля «Заря» международной космической станции, изготовленного из сплава АМгб после ≈ 120000 циклов знакопеременного температурного нагружения. Отличие расчетной и фактической выносливости сплава АМгб находится в пределах естественного разброса в 20 % при испытаниях на усталость.

Ключевые слова: оценка выносливости, цикл температур, деформация, трещины, нагружение.

А. В. Князев, Ю. Ю. Черемухина

Разработка показателей оценки эффективности системы мониторинга процесса разработки документов по стандартизации с применением информационных технологий

В статье приведены результаты разработки показателей системы мониторинга процесса разработки документов по стандартизации. Неотъемлемой частью управления процессом разработки документов по стандартизации является система мониторинга. Система мониторинга позволяет отслеживать и контролировать ключевые показатели процесса разработки документов по стандартизации. Также применение системы мониторинга делает возможным формирование референтной базы для анализа причин отклонений значений показателей. При этом важной задачей является оценка результативности системы мониторинга и математическое обоснование показателя оценки эффективности системы мониторинга, учитывающего ошибки при реализации процесса мониторинга.

Ключевые слова: информационные технологии, система мониторинга, контроль процесса, показатели, разработка стандартов, управление качеством.

В. С. Пономарева, О. В. Хомутская

Исследование технологии производства как фактора, влияющего на время цикла сборки изделия

В настоящее время организация отечественного серийного выпуска высокотехнологичных изделий требует больших временных затрат. Это связано, с одной стороны, с перестройкой логистических цепочек с иностранными поставщиками, с другой, с выстраиванием взаимодействия кооперации внутри страны. Сроки реализации перспективных производственных проектов, например, в космической отрасли, по-прежнему исчисляются годами, что заставляет предприятия задумываться о смене подходов, в первую очередь, к своей работе – в таком случае сокращение времени собственного производственного цикла является одним из главных способов повлиять на длительные сроки. Как правило, при анализе организации серийного производства начинают с окончательной сборки, которая задаёт такт работы всем остальным участкам, изготавливающим составные части.

При оценке эффективности организации сборочного производства необходимо определить критерий и факторы. За критерий эффективности принимается время цикла сборки изделия. Факторы, влияющие на критерий, требуют определения степени значимости и понимания их взаимного влияния друг на друга.

Целью исследования является разработка единой системы факторов, влияющих на время цикла сборки изделия, и основанный на этой системе способ оценки эффективности организации сборочного производства. В рамках настоящей статьи исследуется технология производства как фактор, влияющий на время цикла сборки изделия.

Ключевые слова: технологический процесс, технология производства, серийное производство, производственный цикл, сборка изделия, потери, время такта.

Д. Н. Журавлев, А. И. Боровков

Разработка методики учета температурной зависимости свойств материалов при моделировании изнашивания быстровращающейся опорной пары типа «игла-подпятник»

Опорная пара трения является важным узлом некоторых классов промышленного оборудования; на номинальных режимах работы скорость относительного вращения контактных поверхностей может достигать 103 оборотов в секунду, при этом время работы может измеряться годами; в таких условиях необходимо принимать во внимание изнашивание контактных поверхностей; в данной работе предложена методика моделирования износа в условиях сухого трения быстровращающейся опорной пары трения с учетом изменения свойств материалов вследствие нагрева поверхности, основанная на решении износоконтактной задачи в стационарной постановке с использованием закона Арчарда; продемонстрировано влияние учета зависимости свойств материалов от температуры при моделировании процесса изнашивания.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, метод конечных элементов, трение, износ, игла-подпятник, свойства материалов.

ЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Л. А. Паюк, Н. А. Воронина, А. Д. Умурзакова, Е. Е. Лазуткина, К. В. Хацевский

Система управления микроклиматом тепличного комплекса на базе нечёткой логики

Работа посвящена разработке и исследованию автоматической системы управления микроклиматом тепличного комплекса пятого поколения, которая построена на основе аппарата нечеткой логики и позволяет автоматизировать процессы управления с использованием последних разработок в этой области. В ходе работы уточнено понятие «микроклимат тепличного комплекса» для региона зоны рискованного земледелия при выращивании крупноплодной земляники в закрытом грунте.

Ключевые слова: микроклимат тепличного хозяйства, аппарат нечёткой логики, зашторивание, проветривание, капельный полив, досветка, автоматическое управление.

В. Т. Сидорова, С. В. Волков, А. И. Орлов

Метод оптимизации размещения компенсирующих и симметрирующих устройств в электрических сетях низкого напряжения

В работе исследованы особенности оптимизации режимов электрической сети низкого напряжения для энергоэффективной электропередачи. Основными особенностями данных сетей являются высокие значения коэффициента несимметрии напряжения по нулевой последовательности и несоответствие значений напряжений необходимым требованиям. Поэтому в качестве мер улучшения перечисленных параметров сети выбраны симметрирование нагрузок по фазам и компенсация реактивной мощности. Одним из главных факторов эффективного решения данной задачи является определение точек симметрирования нагрузок и компенсации реактивной мощности, а также необходимой мощности используемых устройств. Для решения многокритериальной задачи определения точек подключения устройств, проведён анализ

существующих целевых функций. В результате предложена целевая функция, включающая в себя приведенные затраты, потери напряжения и коэффициент несимметрии напряжения по нулевой последовательности. При решении задачи оптимизации с помощью предложенной целевой функции значения напряжения и коэффициента несимметрии напряжения по нулевой последовательности в точках присоединения потребителей будут находиться в необходимых пределах. Приводятся результаты исследования оптимизационной функции на примере модельной сети. Расчеты проводились в два этапа: поиск сенсорных узлов, затем их исследование на оптимальность. Все расчеты проведены в среде MATLAB с учетом потерь напряжения и мощности. Согласно полученным результатам в исследуемой сети потери мощности с использованием предложенной целевой функции могут быть уменьшены до 19 % от исходных потерь и получена значительная экономия финансовых средств.

Ключевые слова: многокритериальная оптимизация, симметрирование нагрузок, компенсация реактивной мощности, несимметрия напряжений, качество электроэнергии, потери электроэнергии.

Д. Ю. Руди, А. И. Антонов, А. А. Руппель, Е. Ю. Руппель, Т. В. Шитик

Применение методологической базы исследования для определения кондуктивной низкочастотной электромагнитной помехи по коэффициенту n -й гармонической составляющей напряжения

С помощью методологической базы исследования (основ теории вероятности и математической статистики) произведена обработка проведенного эксперимента на объекте исследования. Данным объектом является механический цех ЗАО «СибгазСтройдеталь», который занимается обеспечением нужд газовой, нефтяной и энергетической отраслей промышленности. В данной работе углубленно изучен вопрос об определении кондуктивной низкочастотной электромагнитной помехи по коэффициенту n -й гармонической составляющей напряжения ($KU(n)$). Гармонические искажения являются постоянным явлением в электрических сетях. Высшие гармоники оказывают негативное влияние на электрическую сеть, в том числе и на электропотребителей (снижение срока службы, производительности и т.д.). Проблема несинусоидальности напряжений изучается довольно давно и результаты, полученные в ходе этих исследований, подтверждают наличие большого количества повреждений у потребителей электроэнергии, которые находятся в эксплуатации. Определена вероятность возникновения кондуктивной низкочастотной электромагнитной помехи по $KU(n)$ на полигоне исследования. В работе проводится анализ результатов, полученных с помощью проведенного исследования. По результатам анализа приведены соответствующие выводы.

Ключевые слова: электромагнитная совместимость, высшие гармоники, кондуктивная помеха, математическая статистика и теория вероятностей, коэффициент n -й гармонической составляющей напряжения.

Д. А. Давыдов, М. А. Холмов, К. И. Никитин, М. Я. Клецель

Способ построения защиты линии с применением стандарта МЭК 61850 на примере микропроцессорного терминала Seram серии 1000+

В статье рассматривается вариант архитектуры реализации логической защиты линии на основании внедрения современных технологий. Большими темпами в мире развивалась идея разработки и внедрения цифровых подстанций, ядром которой является применение стандарта МЭК 61850. Данный стандарт в подстанциях способствует реализации новых способов защит электроустановок. В данной статье рассматривается способ построения защиты линии с применением метода логической селективности, а в качестве основных терминалов рассматриваются устройства Seram серии 1000+, как одни из наиболее обширно распространенных устройств в электроэнергетической отрасли Российской Федерации, поддерживающих стандарт МЭК 61850.

Ключевые слова: цифровая подстанция, МЭК 61850, защита линии, децентрализованная релейная защита, логическая селективность, микропроцессорная релейная защита, локальная сеть подстанции, токовая защита.

ЭЛЕКТРОНИКА, ФОТОНИКА, ПРИБОРОСТРОЕНИЕ И СВЯЗЬ

С. В. Бирюков, А. В. Тюкин, Л. В. Тюкина

Разработка нового метода измерения напряженности электрического поля на основе сдвоенного электроиндукционного датчика

Предлагается новый метод измерения напряженности электрического поля. В основу метода положен метод измерения по среднему значению, в котором используется сдвоенный электроиндукционный сферический датчик. Использование сдвоенного датчика для реализации метода позволило расширить функциональные возможности метода по среднему значению. Метод измерения по среднему значению предполагает одновременное измерение двух значений напряженности E_1 и E_2 в одной точке электрического поля с противоположными по знаку погрешностями. Как показала теория построения нового метода по двум значениям напряженностей можно определить не только результат измерения как среднее из них, так и оценить погрешность результата измерений и ориентировочно определить расстояние до источника поля. Для определения расстояния до источника поля вводится коэффициент отношения двух найденных напряженностей в каждой точке поля, по которому находится эмпирическая зависимость относительного расстояния до источника поля. Относительное расстояние представляет собой соотношение между радиусом сферического датчика и расстоянием до источника поля. Определяя по этой зависимости относительное расстояние в каждой точке измерений и подставляя его в известное выражение для погрешности, определяют погрешность результата в точке измерений. Через относительное расстояние определяют и расстояние до источника поля. Таким образом, новый метод измерения позволяет повысить точность измерения напряженности электрического поля, определить погрешность результата измерений и расстояние до источника поля.

Ключевые слова: метод измерения, электроиндукционный датчик, сдвоенный датчик, электрическое поле, погрешность измерения, расстояние до источника поля.

И. В. Богачков

Определение разновидностей оптических волокон и ранняя диагностика их физического состояния на основе анализа характеристик рассеяния Мандельштама–Бриллюэна

В этой работе представлены результаты исследований возможностей автоматизации обработки данных измерений, полученных от бриллюэновского оптического рефлектометра, световодов, содержащих различные виды одномодовых оптических волокон. Анализируя параметры рассеяния Мандельштама – Бриллюэна, полученных из данных бриллюэновских рефлектограмм, возможно осуществлять классификацию оптических волокон в исследуемых оптических кабелях телекоммуникационных систем, а также оценивать изменение бриллюэновского частотного сдвига и определять степень продольного натяжения оптических волокон. Начальные значения бриллюэновского частотного сдвига и спектр рассеяния Мандельштама – Бриллюэна для каждой разновидности оптических волокон отличаются. Представлены разработанные программы для автоматизированной обработки бриллюэновских рефлектограмм. С помощью анализа уровня обратно отражённого сигнала можно выделить фактор, оказавший преимущественное влияние на параметры сигнала рассеяния Мандельштама – Бриллюэна в исследуемых участках оптических волокон, и компенсировать влияние температурных изменений в графиках распределения продольного натяжения. Это позволяет построить график распределения продольного натяжения вдоль световода, вызванного именно механическими воздействиями на оптические волокна. Сделаны выводы о точности оценок, полученных по различным алгоритмам, на основании накопленного опыта по работе с представленными программами.

Ключевые слова: оптическое волокно, натяжение волокон, бриллюэновская рефлектометрия, спектр рассеяния Мандельштама – Бриллюэна, профиль бриллюэновского спектра.

В. И. Глухов, Л. Г. Варепо

Единая система отсчета геометрических характеристик размерных элементов деталей. Часть II. Геометрические характеристики цилиндрических элементов деталей

Единой системой отсчета геометрических характеристик детали является декартова прямоугольная система координат, которую материализуют комплекты конструкторских баз, ограничивающих деталь шести степеней свободы: три линейных и три угловых. В стандартах ISO на допуски геометрических характеристик системы координат не применяются. В связи с этим актуальны исследования в области повышения точности деталей за счет введения линейных и угловых координат элементов деталей.

В работе представлена вторая часть статьи «Единая система отсчета геометрических характеристик размерных элементов деталей», которая посвящена рассмотрению геометрических характеристик цилиндрических элементов деталей. Показано, что базами цилиндрических элементов являются оси цилиндров максимума материала, способные ограничивать четыре, две и одну степеней свободы детали в зависимости от функционального назначения элемента. Точность координирующих размеров следует задавать симметричными допусками на линейные и угловые координаты элементов.

Ключевые слова: геометрические характеристики, цилиндрические элементы деталей, системы координат детали, конструкторские базы, исполнительные элементы, информативность элементов, линейные и угловые координаты.

В. Ш. Сулаберидзе, А. А. Неклюдова

Анализ стабильности и вариативности метрологической характеристики (коэффициента преобразования) вискозиметров стеклянных капиллярных эталонных

Приведены результаты определения стабильности и вариативности основной характеристики вискозиметров стеклянных капиллярных эталонных – коэффициента преобразования путем анализа совокупности данных по вискозиметрам, имеющим разные диаметры измерительного капилляра. Показано, что средние значения по выборке отличаются от средних значений по кривым симметричного нормального распределения в пределах 2–4 %, а также соответствия статистик нормальному закону распределения с помощью обратной стандартной функции и гистограмм, демонстрирующих степень соответствия выборочного распределения теоретическому.

Ключевые слова: STATISTICA, вискозиметр стеклянный капиллярный, коэффициент преобразования, выборка, гистограмма, нормальный закон распределения, средние значения.

М. И. Бойчук

Исследование кварцевых резонаторов в миниатюрных металлокерамических корпусах с целью дальнейшего применения в термокомпенсированных генераторах

В эпоху развития интеллектуальных информационных технологий, систем обработки и передачи сигналов, навигационных систем и ракетостроения к источникам опорных колебаний предъявляются все более жесточенные требования. Большое значение приобретают малые габаритные размеры, малое время выхода на частоту после подачи электропитания, рабочий температурный диапазон и относительный уход частоты в интервале рабочих температур.

Частота на выходе генератора во многом зависит от влияния климатических, механических и специальных факторов. Наиболее дестабилизирующим фактором является изменение температуры

окружающей среды. Исходя из этого, обеспечение температурной стабильности частоты в широком диапазоне является актуальной задачей.

Для стабилизации частоты генераторов в радиотехнике, как правило, применяются кварцевые резонаторы. Кварц относится к группе пьезоэлектриков – анизотропных диэлектриков, в которых наблюдаются прямой и обратный пьезоэффекты. Использование кварцевых резонаторов в электрогенераторах позволяет гарантировать нам высокую стабильность частоты без усложнения схемы [1].

На предприятии АО «ЛИТ-ФОНОН» была создана технологическая цепочка, позволяющая произвести кварцевый резонатор в миниатюрном металлокерамическом корпусе с применением только российских комплектующих. Созданные кварцевые резонаторы в дальнейшем планируется применять в составе термокомпенсированных генераторов. Однако на первом этапе необходимо было провести анализ характеристик созданных изделий, а также возможность поддерживать стабильность частоты $\pm 1 \cdot 10^{-7}$ в широком интервале температур от минус 60 °С до + 85 °С [2].

Проведенное исследование позволило выявить ряд недостатков, препятствующих получению стабильности частоты термокомпенсированных генераторов $\pm 1 \cdot 10^{-7}$. В частности, уход частоты кварцевых резонаторов в миниатюрных металлокерамических корпусах со временем эксплуатации при максимальной рабочей температуре +85 °С превышает значения $\pm 1 \cdot 10^{-7}$, т.е. потребуется дополнительная подстройка генераторов в процессе эксплуатации. Кроме того, некоторые российские комплектующие не оптимально подошли к созданному на базе АО «ЛИТ-ФОНОН» технологическому процессу, что в будущем для создания кварцевых резонаторов может существенно повлиять на выход годных. Стоит также отметить, что измерительная установка имеет погрешность измерения $\pm 5 \cdot 10^{-7}$. Такой разброс не позволил оценить стабильность частоты кварцевых резонаторов с необходимой точностью.

Ключевые слова: кварц, генератор, резонатор, термокомпенсация, металлокерамический корпус, кристаллический элемент, угол среза, стабильность частоты.

А. Н. Ляшук, П. И. Пузырёв, С. А. Завьялов

Разработка и исследование структуры цифрового измерителя частоты для системы мгновенного измерения частоты

В статье предложен новый способ измерения частоты на основе однобитного аналого-цифрового преобразователя. В отличие от известного способа измерения частоты с использованием линии задержки разработанная структурная схема измерителя, реализующая предложенный способ позволяет избавиться от линий задержки для измерения частоты в широком диапазоне частот и резко сократить массогабаритные параметры всего измерителя при интегральной реализации. В отличие от других известных цифровых измерителей, данные о которых имеются в печатных источниках, предложенный способ позволяет повысить точность измерения частоты в широком диапазоне частот.

Ключевые слова: мгновенное измерение частоты, однобитное аналого-цифровое преобразование, линия задержки, фазовращатель, микросхема мгновенного измерения частоты.

Е. С. Климанова

Определение модуля деформации бинарного композита с помощью искусственной нейронной сети

Действующие методики статистической обработки результатов определений характеристик основаны на гипотезе о нормальном характере их распределения. Результаты статистической обработки 153 лабораторных определений модуля деформации бинарного композита «песок-гранулы вспененного полистирола» эту гипотезу не подтвердили. Для решения возникшей проблемы было решено использовать искусственную нейронную сеть. Таким образом, в качестве объекта исследований был выбран модуль деформации бинарного композита. Применение

искусственной нейронной сети для определения модуля деформации бинарного композита было выбрано в качестве предмета исследования. Цель выполненных исследований – определение модуля деформации бинарного композита с помощью искусственной нейронной сети. Основные задачи исследования – определение модуля деформации бинарного композита с различным процентным содержанием гранул вспененного полистирола, разработка искусственной нейронной сети и регрессионного уравнения для определения модуля деформации бинарного композита и последующий сравнительный анализ результатов их использования. Результаты лабораторных испытаний образцов бинарного композита позволили обучить заранее разработанную искусственную нейронную сеть. По результатам тестирования обученной искусственной нейронной сетью было установлено, что при доверительной вероятности $P = 95\%$ абсолютное значение относительной погрешности определения модуля деформации бинарного композита составило $\delta = 0,0857$, а значение коэффициента детерминации – $R^2 = 0,5641$. В то же время, при использовании регрессионного уравнения $R^2 = 0,0857$. Выполненные исследования подтвердили возможность и преимущество использования искусственной нейронной сети для определения модуля деформации бинарного композита.

Ключевые слова: относительная погрешность определения характеристики, коэффициент детерминации, регрессионное уравнение, искусственная нейронная сеть, песок, гранулы вспененного полистирола.

Д. Ю. Кутовой, Р. И. Ганиев, М. Л. Шустрова, В. Б. Явкин, В. А. Фафурин

Экспериментальное исследование применимости методик определения коэффициента сжимаемости природного газа в области низких температур

В работе представлены результаты экспериментального исследования, направленного на оценку применимости методик расчета коэффициента сжимаемости природного газа AGA8-DC 92 (ГОСТ 30319.2-96), AGA8 Report Detail (ГОСТ 30319.3-2015), GERG-2004, GERG-2008, NX19, GERG-91, ISO 20765-1 (ГОСТ Р 8.662-2009), а также модифицированного уравнения ГСССД МР 118-05 (Умеренно сжатые газовые смеси) и ГСССД МР 113-03 (Влажный нефтяной газ) в диапазоне температур от 220 до 250 К (от минус 50,15 до минус 20,15 °С). Показано, что для AGA8-DC 92, AGA8 Report Detail, GERG-2004/2008, ISO 20765-1 (ГОСТ Р 8.662-2009), ГСССД МР 113-03 отклонение расчетных значений коэффициента сжимаемости от экспериментальных находится в пределах 0,1 %, что подтверждает возможность их применения в качестве расчетных методик в указанном диапазоне температур. Результаты, полученные в рамках настоящего исследования, обладают высокой значимостью для расходомерии, в частности, обеспечивают повышение точности процедуры приведения объема природного газа к стандартным условиям при низких температурах.

Ключевые слова: коэффициент сжимаемости, расход природного газа, AGA8, GERG-2004, GERG-2008, методика расчета, низкие температуры.