

M. V. Tyulkin, Post-graduate, Perm National Research Polytechnic University

I. V. Kapper, Perm Printing Factory (branch) of the Federal State Unitary Enterprise "GOZNAK"

E. L. Krotova, PhD (Physics and Mathematics), Associate Professor, Perm National Research Polytechnic University

L. N. Krotov, DSc (Physics and Mathematics), Professor, Perm National Research Polytechnic University

Development of Architecture and Organization of Information Flows in Comet-Servers for Web-Applications Based on COMET Model with Interaction Scheme "WebSocket Streaming". Models of Comet-Server Architecture

The paper describes two basic models of Comet-Server architecture, a simple single-threaded model and multi-threaded model with distributed functions. In addition, each version of the architecture is analyzed in terms of the possible non-uniformly distributed load operation due to possible active DDOS attacks.

Key words: program architecture, high-rate application, information exchange, computational flow, Comet-server, server socket, socket, Berkeley sockets, client-server application.

УДК 681.5:621.315.5:621.311

А. Л. Ахтулов, доктор технических наук, профессор, Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия, Омск

Л. Н. Ахтулова, кандидат технических наук, доцент, Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия, Омск

Н. Н. Петухова, аспирант, Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия, Омск

С. И. Смирнов, кандидат физико-математических наук, доцент, докторант, филиал «Тобольский индустриальный институт» Тюменского нефтегазового университета

АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ СВОЙСТВ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКА С РАЗМЫТЫМ ФАЗОВЫМ ПЕРЕХОДОМ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ САПР СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Данная статья посвящена разработке систем автоматизации проектирования на основе свойств сегнетоэлектриков в области фазовых переходов. Рассматривается задача создания модели исследования сегнетоэлектрических материалов для выявления их параметров и возможного использования в качестве компонентов при проектировании систем электропитания.

Ключевые слова: система автоматизации проектирования, сегнетоэлектрики, размытый фазовый переход, энергосистема, детализация.

В работе [1] авторы показали, что применение систем автоматизации проектирования (САПР) при производстве элементов энергетических систем позволяет создавать оптимальные и эффективные составы этих систем. Одним из элементов энергетических систем являются выпрямители, предназначенные прежде всего для питания нагрузок постоянным током, а через инверторные преобразователи – для электроснабжения потребителей первой категории.

Наиболее распространенным элементом выпрямителя является конденсаторный фильтр, материалы для изготовления которого должны иметь резко выраженные нелинейные электрические свойства. Такими свойствами обладают сегнетоэлектрики, представляющие собой твердые растворы.

Одной из основных характеристик сегнетоэлектриков является коэффициент нелинейности, равный отношению максимального значения диэлектрической проницаемости при некоторой максимальной для данного материала напряженности электрического поля к начальному значению диэлектрической проницаемости.

Значения коэффициентов нелинейности в переменном поле варьируются в широком диапазоне (4...50). При увеличении приложенного напряжения

диэлектрическая проницаемость, а следовательно, и электрическая емкость возрастают, а затем, после достижения максимума, снижаются, что является основным свойством вариконды, для которого электрическая емкость и коэффициент линейности сильно зависят от температуры.

Высокие нелинейные свойства позволяют применять вариконды для умножения частоты, стабилизации тока и напряжения, а также для преобразования синусоидального напряжения в импульсное, усиления электрической мощности и т. д.

В работе [2] исследованы основные свойства сегнетоэлектриков на основе пирониобата кадмия $Cd_2Nb_2O_7$, танталата калия-лития $K_{0,9}Li_{0,1}TaO_3$, германата свинца $Pb_3Ge_3O_{11}$ и магнониобата свинца $Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O_3$.

Кристаллы магнониобата свинца $Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O_3$ характеризуются размытым фазовым переходом со средней температурой Кюри $T_0^{cp} \gg 270$ К (температура Кюри сегнетоэлектрического перехода $T_c = 273 \pm 3$ К). В параэлектрической фазе ($T_a \approx 600$ К) кристаллы имеют кубическую симметрию (точечная группа O_h). Симметрия сегнетоэлектрической фазы точно не установлена. По данным комбинационного рассеяния света, симметрия по-

лярной фазы тетрагональная, однако тетрагональные искажения слабые, поэтому физические свойства кристаллов магнониобата свинца в широком интервале температур с хорошей точностью удается объяснить в рамках кубической структуры перовскита. Ионы Mg^{2+} и Nb^{5+} неравномерно распределены в центрах октаэдров, образованных ионами кислорода, что, вероятно, и приводит к разлитою фазового перехода.

Неравномерность распределения по образцу ионов магния и ниобия подтверждается в работах, в которых установлено, что упорядочение распределения, проведенное посредством высокотемпературного отжига, значительно уменьшает область размытого фазового перехода. Для размытого фазового перехода характерно сосуществование различных фаз в широком диапазоне температур, обусловленное близостью величин свободной энергии двух фаз. При приближении к температуре фазового перехода из параэлектрической фазы новая фаза зарождается в виде кластеров – малых полярных областей с хаотическими направлениями поляризации. Из экспериментов по интегральному рассеянию света удалось определить размеры кластеров $\approx (5...7) \cdot 10^{-7}$ м. Отсутствие существенного изменения формы индикаторного рассеяния в интервале температур 20...360 °С, по мнению авторов, свидетельствует о неизменности размеров кластеров в этом диапазоне температур, однако концентрация сегнетофазы при приближении к T_c увеличивается.

Диэлектрические свойства магнониобата свинца в работах [3–6] исследовались очень подробно. В этих работах отмечается дисперсия диэлектрической проницаемости в области высоких температур при увеличении частоты измерительного поля. Величина при этом значительно падает. В работах проведено измерение диэлектрической проницаемости под действием внешнего электрического поля. Оказалось, что максимум в присутствии поля смещается в сторону низких температур и уменьшается.

Следует отметить, что на первой стадии исследований магнониобата свинца предполагалось, что сегнетоэлектрическая фаза в нем появляется вблизи средней точки Кюри. В последнее время появились работы, в которых предполагается, что зародыши сегнетофазы появляются при температурах, значительно превышающих T . При температурах, на несколько сот градусов превышающих T , происходит появление и плавное увеличение по мере охлаждения доли сегнетофазы, которое проявляется в отклонении от обычных температурных зависимостей различных физических свойств пирониобата кадмия.

В работах [3–6] проведено измерение температурных зависимостей показателя преломления пирониобата кадмия в диапазоне температур 80...870 К (рис. 1). По экспериментальным значениям скоростей упругих волн были рассчитаны упругие постоянные C_{11} , C_{12} , C_{44} (рис. 2), $C = (C_{11} - C_{12}) / 2$, фактор Коши $K = C_{12} / C_{44}$, $A = C_{11} - C_{12} - C_{44}$ (рис. 3). При расчетах учитывались кубическая симметрия *PNM* для $T > T_0$, плотность кристалла $\rho = 8,12 \cdot 10^3$ кг/м³.

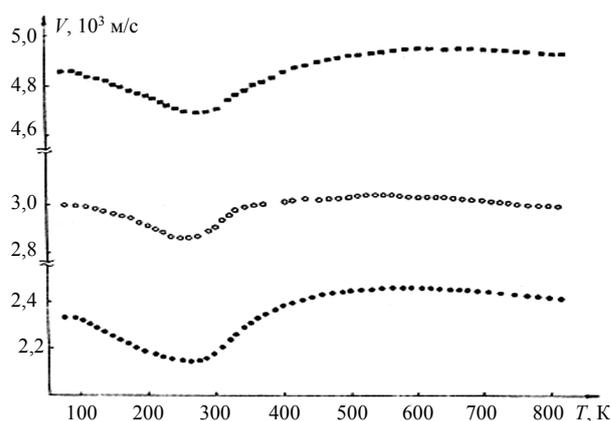


Рис. 1. Температурная зависимость коэффициента скоростей упругих волн магнониобата свинца: ■ – продольная волна; ○ – быстрая поперечная волна; ● – медленная поперечная волна

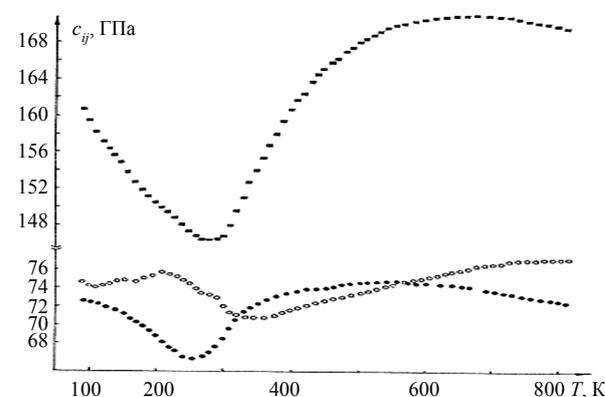


Рис. 2. Температурная зависимость упругих модулей магнониобата свинца: ■ – C_{11} ; ○ – C_{12} ; ● – C_{44}

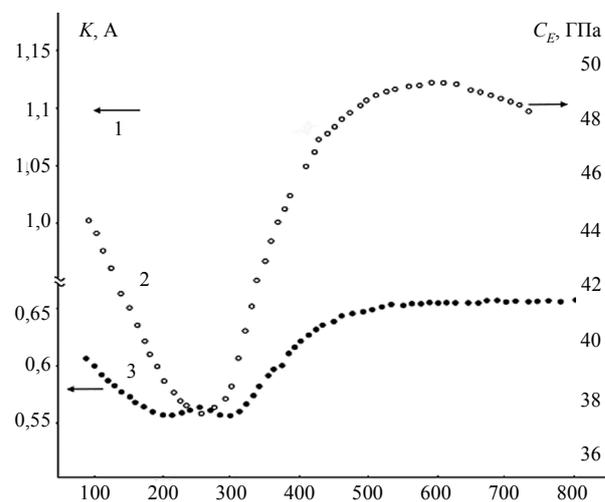


Рис. 3. Температурные зависимости: ○ – упругого модуля $C_E = (C_{11} - C_{12})/2$; ● – фактора упругой анизотропии $A = (C_{11} - C_{12})/2C_{44}$ магнониобата свинца

Следует отметить, что упругие постоянные C_{11} , рассчитанные из скоростей волн, распространяющихся вдоль направления, и скорости продольной волны, распространяющейся вдоль направления кристаллов, имеют одинаковую температурную зависи-

мость и согласуются по величине в пределах погрешности абсолютных измерений C_{11} .

Тот же вывод можно сделать и для упругих постоянных C_{44} , вычисленных из скоростей быстрой поперечной волны. Значения упругих постоянных C_{11} , C_{12} и C_{44} оказались совпадающими в пределах погрешностей измерений со значениями, полученными в работе [4].

Разные температуры точки перегиба для разных типов упругих волн обусловлены, по-видимому, анизотропией электрострикционных постоянных. По мере охлаждения кристалла от T_d до T_0 увеличивается локальная поляризация P_d , и, как следствие, уменьшаются упругие постоянные PNM . Представляется интересным проследить эволюцию упругой анизотропии при приближении к T_0 . Однако поверхности скоростей слабо меняются при изменении температуры от T_d до T_0 .

Для температур, меньших T_0 , нельзя использовать упругие постоянные кубического кристалла (C_{11} , C_{12} , C_{44}), а можно анализировать лишь скорости упругих волн. Расчет для фазового перехода I рода предсказывает в отсутствие поля E зависимость квадрата скорости V упругих волн от температуры в виде

$$\rho V^2 = C_{ij}(T) = C_{ij}^0 - A(T_0 - T)^n, \quad (1)$$

где $A = \delta^2/2\beta$ в случае электрострикционной связи; $n = -0,5$.

При экстраполяции значений C_{ij}^0 от температур $T > T_d$, где наблюдается линейный спад с температурой, ненаблюдаемый ход зависимости ρV^2 соответствует формуле (1) с $n = -0,25 \pm 0,02$ и $T = 273$ К. Отклонение от теоретической величины $n = -0,5$ можно объяснить некоторой произвольностью выбора значений C , а также необходимостью учитывать в термодинамическом потенциале, описывающем систему членов более высоких степеней, чем электрострикционные. Можно предложить следующую картину проявления размытого фазового перехода в акустических свойствах магнитообата свинца. В области температур $T > T_d \approx 650$ К кристалл является параэлектриком, и его упругие свойства соответствуют обычным для диэлектриков фоновым процессам. При температуре T_d начинают возникать мелкие области, в которых существует некоторая локальная поляризация P_d , увеличивающаяся по мере приближения температуры к температуре фазового перехода. Ориентация этой локальной поляризации может быть произвольна, поскольку из-за квадратичной связи поляризации с деформацией упругие волны не чувствуют знака P_d и начинают уменьшать свою скорость, начиная с T_d . Из-за того что поляризация P_d появляется постепенно и плавно нарастает, акустические аномалии проявляются не в виде скачков, как для обычного фазового перехода, а затянута на широкую область температур вплоть до $T_0 = 273$ К, т. е. больше чем на 350 К.

По мере понижения температуры до T_0 происходит насыщение величины локальной поляризации P_d , и, как следствие, скорости всех типов упругих волн достигают своих минимальных значений. В сегнетоэлектрической фазе происходит рост скоростей упругих волн по закону $\rho V^2 = A(T_0 - T)^{0,25}$.

Наибольшее отличие от 1 коэффициент Коши имеет в области фазового перехода (рис. 3), т. е. в этой области упругие свойства PNM заметней вклад вносят нецентральные силы. При низких температурах коэффициент Коши слабо отличается от единицы, и поэтому температуру Дебая можно вычислять по упрощенным формулам [6].

Температурные зависимости модулей Юнга E , сдвигового модуля G в диапазоне 78...240 К и объемного модуля $K = C_{11} + 2C_{12} / 3$ в диапазоне 80...240 К приведены на рис. 4. Как видно из рис. 4, для модуля K при 80...300 К применима линейная аппроксимация [5].

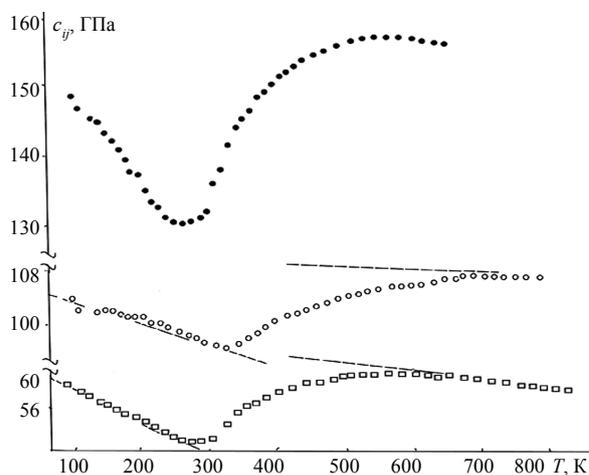


Рис. 4. Температурная зависимость изотропных упругих модулей магнитообата свинца: ● – модуль Юнга; ○ – объемный модуль; □ – сдвиговый модуль

Таким образом, поведение изотропных упругих модулей тесным образом связано с относительной концентрацией сегнетоэлектрической и параэлектрической фаз в кристалле магнитообата свинца. Численные расчеты температурной зависимости концентрации v сегнетофазы были проведены в [6]. Использовалось корреляционное приближение при допущении слабых флуктуаций (т. е. малого различия C_i^c и C_i^n при заданной температуре T), а также упругой изотропии сегнетокластера и параэлектрического окружения.

Концентрация сегнетофазы может быть рассчитана из экспериментально измеренной температурной зависимости объемного упругого модуля K^3 [6]. Результаты расчетов показаны на рис. 5.

Следует отметить, что расчеты концентрации [6], полученные в так называемом вирпальном разложении и по методу самосогласования, согласуются с вычислениями по [4].

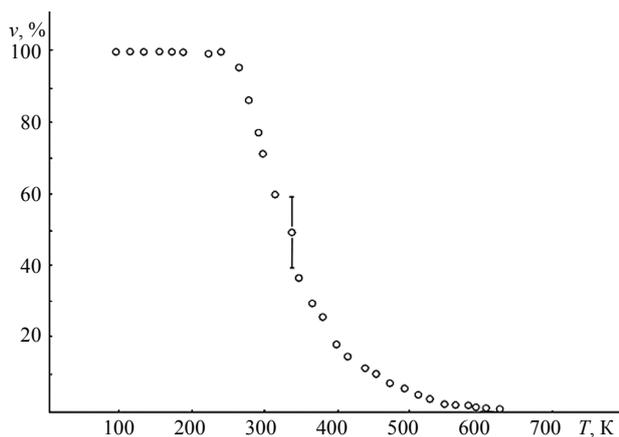


Рис. 5. Температурная зависимость концентрации сегнетоэлектрической фазы кристалла магнониобата свинца

Таким образом, в области температур между T_d и T_0 концентрация v сегнетоэлектрической фазы плавно меняется от 0 % при $T < T_d$ до 100 % при $T < T_0$.

При измерении температурной зависимости скорости звука в постоянном поле E прикладывавось к образцу при $T = 400$ К, а затем измерения скорости проводились при охлаждении кристалла в присутствии поля E . Результаты измерений представлены на рис. 6.

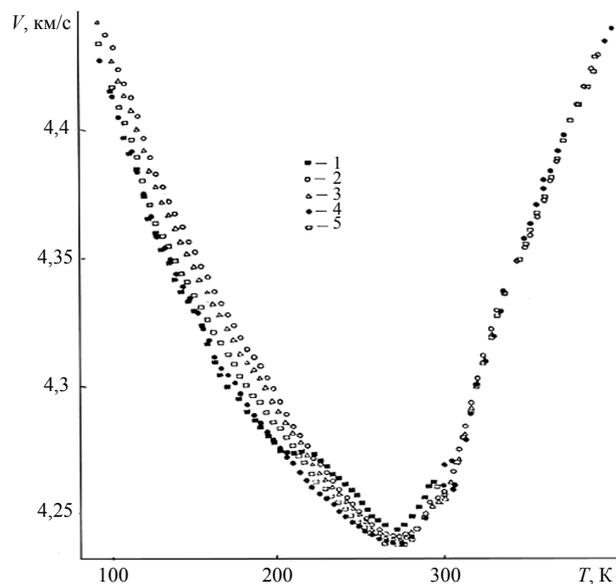


Рис. 6. Температурная зависимость скорости упругих волн магнониобата свинца: 1 – нагревание без поля предварительно поляризованного в поле $E = 6$ кВ/см кристалла; 2, 3, 4, 5 – охлаждение кристалла в полях $E = 0, 2, 4, 6$ кВ/см

Выше температуры $T = 400$ К электрическое поле не оказывает влияние на величину скорости продольной упругой волны в кристалле PNM . При охлаждении кристалла до $T = 340$ К увеличение электрического поля увеличивает скорость V_L . В точке $T = 340$ К поле E не влияет на скорость продольных упругих волн. Ниже этой температуры увеличение поля E приводит к уменьшению скорости звука.

В интервале температур $266 \text{ К} < T < 316 \text{ К}$ поле E действует двояко на V_L . При малых полях $0 < E < 4$ кВ/см увеличение поля приводит к уменьшению скорости, а при $E > 4$ кВ/см при увеличении E скорость увеличивается. Ниже температуры $T = 296$ К и вплоть до $T = 78$ К увеличение внешнего электрического поля ведет к уменьшению скорости звука в PMN . Результаты измерения представлены на рис. 6. Характерные зависимости $V(E)$ при фиксированной температуре представлены на рис. 7.

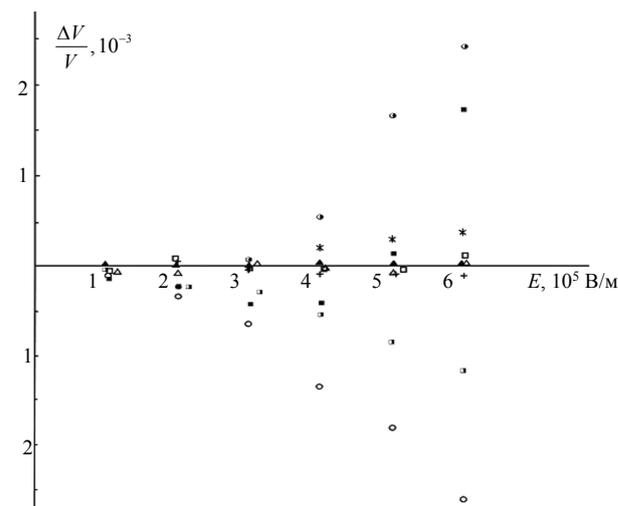


Рис. 7. Зависимость относительного изменения скорости продольных упругих волн от величины электрического поля для разных температур: \blacktriangle – 132,5 К; $+$ – 146,5 К; \circ – 204,5 К; \bullet – 245 К; \diamond – 268 К; $*$ – 297 К; \circ – 300,5 К; \blacksquare – 303 К; \square – 312 К; \triangle – 336,7 К; \square – 402 К

Выше температуры 400 К электрическое поле не оказывает влияние на скорость распространения упругих волн в PNM . При $340 \text{ К} < T < 400 \text{ К}$ увеличение поля приводит к увеличению V_L . При температуре 340 К поле E не влияет на скорость продольных упругих волн. Далее при уменьшении температуры увеличение электрического поля вызывает уменьшение скорости. При $260 \text{ К} < T < 312 \text{ К}$ поля $0 < E < 4$ кВ/см приводят к уменьшению скорости, а большие поля увеличивают скорость. При дальнейшем охлаждении увеличение поля влечет за собой уменьшение скорости.

Таким образом, влияние электрического поля на V_L в обоих экспериментах качественно совпадает. Различие заключается в том, что при измерениях в фиксированном поле в сегнетоэлектрической фазе максимальное влияние E на V_L оказывается при $T = 160$ К, а при дальнейшем охлаждении влияние несколько ослабевает. При фиксированной температуре максимальное влияние поля E на V_L приходится на $T = 200 \dots 220$ К, а в дальнейшем влияние ослабевает, и при $T \leq 135$ К поле E уже не влияет на скорость распространения упругих волн в кристалле, охлажденном в нулевом поле. Это связано с особенностями доменной структуры PMN . Поэтому максимальное влияние электрического поля E на

скорость V_L в образце, охлажденном в нулевом поле, оказывается при $T = 200...220$ К. Отсутствие влияния поля на V_L ниже 135 К объясняется, видимо, тем, что при этих температурах подвижность доменов настолько мала, что использование напряженности поля $E = 6$ кВ / см недостаточно для поворачивания доменов.

Значения коэффициента V_L для разных температур представлены на рис. 8. Из рисунка хорошо видно, что результаты измерения $A(T)$ и $A(E)$ качественно хорошо согласуются между собой при температурах $T \leq 220$ К.

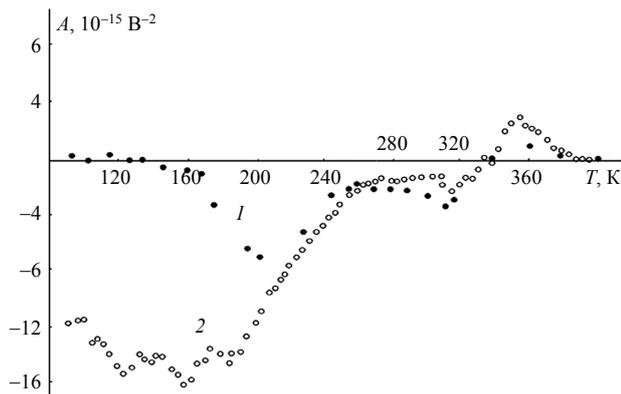


Рис. 8. Температурная зависимость коэффициента A аппроксимации $\Delta V/V = AE^2 + B$ экспериментальных данных по относительному изменению скорости продольных упругих волн от поля E в магнониобате свинца: 1 – $\Delta V/V(E)$ при $T = \text{const}$; 2 – $\Delta V/V(T)$ при $E = \text{const}$

Таким образом представляет интерес изучение электроакустических свойств особого класса сегне-

тоэлектриков – кристаллов с различным фазовым переходом – с целью получения дополнительной информации о природе перехода в таких соединениях для оценки влияния их основных свойств на характеристики элементов объектов электроснабжения. При создании базы данных САПР, в которую будут занесены основные характеристики сегнетоэлектриков, появляются возможности подбора более эффективных результатов работы таких элементов энергетических систем, как, например, варикондов.

Библиографические ссылки

1. Постановка задачи синтеза принципиальных схем промышленного электроснабжения средствами современных САПР / А. Л. Ахтулов, Л. Н. Ахтулова, Е. Н. Леонов, С. И. Смирнов // Вестник ИжГТУ. – 2011. – № 1(49). – С. 110–113.
2. Смирнов С. И. Исследование электроакустических свойств сегнетоэлектриков в области фазовых переходов : дис. ... канд. физ.-мат. наук: 01.04.07 / Смирнов Сергей Иванович. – Ленинград, 1986. – 173 с.
3. Ахтулов А. Л. Методология построения и практическое применение системы автоматизации проектирования машин // Вестник СибАДИ. – 2005. – Вып. 3. – С. 14–29.
4. Смирнов С. И., Поспелова Ю. К., Осипов Д. А. Сегнетоэлектрический переход в $\text{SrTiO}_3 - \text{PbMq}_{1/3}\text{Nb}_{2/3}\text{O}_3$ // Инновации. Интеллект. Культура : Материалы XVII Всерос. науч.-практич. конф. молодых ученых и студентов (Тюмень, 20 ноября 2009 г.). – Тюмень : Изд-во «Нефтегазовый университет», 2009. – С. 99–101.
5. Смоленский Г. А., Юшин Н. К., Смирнов С. И. Акустические свойства кристалла магнониобата свинца – сегнетоэлектрика с размытым фазовым переходом // ФТТ. – 1985. – Т. 27. – С. 801.
6. Упругая и диэлектрическая релаксация в сегнетоэлектриках с размытым фазовым переходом / Н. К. Юшин [и др.] // ФТТ. – 1987. – Т. 29. – С. 2947.

A. L. Akhtulov, DSc in Engineering, Professor, Siberian State Automobile and Highway Academy, Omsk

L. N. Akhtulova, PhD in Engineering, Associate Professor, Siberian State Automobile and Highway Academy, Omsk

N. N. Petukhova, Post-graduate, Siberian State Automobile and Highway Academy, Omsk

S. I. Smirnov, PhD in Engineering, Associate Professor, Tobolsk Industrial Institute, Branch of Tyumen State Oil and Gas University

Algorithm of Evaluating the Influence of Ferroelectric Properties with Dim Phase Transition When Solving CAD Problems of Power Supply Systems

The paper is devoted to the development of CAD systems based on phase transition properties of ferroelectric. The problem of creating a model of ferroelectric material investigations is considered to reveal parameters of these materials and their possible application as components when designing power supply systems.

Key words: CAD system, ferroelectrics, dim phase transition, power supply system, detailed elaboration.