



005052478

На правах рукописи

Александр Грайр Каренович

**РАЗРАБОТКА МЕТОДА ВЫДЕЛЕНИЯ ВЛИЯЮЩИХ
НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА ВОЗМУЩЕНИЙ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ
ДЛЯ СОЗДАНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ
СРЕДСТВ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

Специальность

05.11.17 – Приборы, системы и изделия медицинского назначения

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

0 4 ОКТ 2012

Новочеркасск 2012

Работа выполнена на кафедре «Информационные и измерительные системы и технологии» ФБГОУ ВПО «Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт)»

Научный руководитель: - доктор технических наук,
профессор Н.И. Горбатенко
(ЮРГТУ (НПИ), г.Новочеркасск)

Официальные оппоненты: - доктор технических наук,
профессор Н.Н. Чернов
(ТТИ ЮФУ, г.Таганрог)

- кандидат технических наук,
доцент А.В. Литвин
(ДГТУ, г.Ростов-на-Дону)

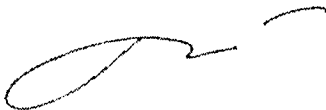
Ведущее предприятие: Федеральное государственное
унитарное предприятие
«Научно-исследовательский
институт специальных
информационно-измерительных
систем», г. Ростов-на-Дону

Защита состоится « 27 » сентября 2012 г. в 14²⁰ ч. на заседании диссертационного Совета Д212.208.23 при Южном федеральном университете по адресу: 347928, г. Таганрог, ул.Шевченко, 2., ауд.Е-306.

С диссертацией можно ознакомиться зональной библиотеке Южного федерального университета

Автореферат разослан «27» 09 2012 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



И.Б. Старченко

Актуальность проблемы. Человек в процессе своей жизни подвергается влиянию гелио-метеорологических и геофизических факторов. Одним из таких факторов является геомагнитное поле (ГМП), возмущения которого оказывают большое влияние как на больных, так и на практически здоровых людей.

Во время геомагнитных возмущений (ГВ) возрастает вероятность возникновения проблем с сердечно-сосудистой системой, изменяется чувствительность к медикаментозным воздействиям. В дни усиления солнечной активности возрастает как нижнее, так и верхнее артериальное давление, увеличивается свертываемость крови. Число нарушений сердечного ритма во время магнитной бури (МБ) увеличивается в 2,5 раза в состоянии покоя и в 1,5 раза при физической нагрузке. Число инфарктов миокарда возрастает на (13-14)%, а инсультов головного мозга на 7%, наблюдается уменьшение вариабельности как у больных, так и у клинически здоровых людей до (22-26)% по сравнению со спокойными в геомагнитном отношении днями. Количество несчастных случаев и травматизма во время МБ увеличивается в 1,5 раза. Также установлена сильная корреляция геомагнитной активности с числом ошибок в работе операторов диспетчерских служб, водителей автотранспорта, машинистов железных дорог. Достоверно выявлено влияние ГВ на выделения таких гормонов, как кортизол, дофамин, норадреналин, мелатонин.

Для прогнозирования МБ используются результаты измерения параметров ГВ наземными службами наблюдения за Солнцем и космическими аппаратами, работающими в земной магнитосфере. Достоверность известных способов прогнозирования МБ составляет около 20%. Для составления прогноза анализируется выброс коронарного вещества, ритмы вариации солнечной активности, движение солнечного ветра, направления межпланетного магнитного поля. Но породят ли перечисленные факторы масштабные вариации магнитосферы Земли остается неизвестным до наступления возмущений. В этой связи создание портативных технических средств оценки и прогнозирования ГМП в бытовых условиях, позволяющих людям, чувствительным к геомагнитным воздействиям, принимать необходимые меры является весьма актуальным.

Работа выполнена в соответствии с приоритетным направлением развития науки, технологий и техники РФ «Информационно-телекоммуникационные системы» (утверждено указом Президента РФ от 30.03.02 г. и переутверждено 21.05.06 г.); с научным направлением Южно-Российского государственного технического университета (НПИ) «Теория и принципы построения информационно-измерительных систем и систем управления» (утверждено решением ученого совета университета от 25.01.03 г. и переутверждено 01.03.06 г.).

Цель работы. Разработка метода и устройства оценки и прогнозирования влияющих на организм человека геомагнитных возмущений. Для достижения поставленной цели в рамках диссертационной работы решались следующие основные задачи по разработке:

- математической модели регулярных вариаций ГМП;
- метода выделения влияющих на организм человека возмущений ГМП на

основе разработанной математической модели регулярных вариаций ГМП;
 – структур, алгоритмов функционирования устройства оценки и прогнозирования состояния ГМП;
 – системы оценки и прогнозирования состояния ГМП, реализующей предложенный метод и позволяющей получать информацию о возмущениях ГМП, оказывающих негативное влияние на здоровье метеочувствительных людей.

Методы исследований: методы теории измерений, статистического анализа, теории вероятности, математического моделирования с использованием лицензированных пакетов прикладных программ *STATISTICA*, *MATLAB*, *MathCAD*, *LabVIEW*, *Micro-Cap*.

Научная новизна работы, состоит в следующем:

1 Предложен новый метод оценки состояния ГМП, который основан на выделении возмущений ГМП с использованием математической модели солнечно-суточных вариаций ГМП.

2 Разработана математическая модель солнечно-суточных вариаций ГМП на основе быстрого преобразования Фурье, описывающая изменение напряженности ГМП в течение суток.

3 Разработана математическая модель солнечно-суточных вариаций ГМП с использованием ортогональных полиномов Чебышева.

4 Предложен и разработан метод прогнозирования состояния ГМП, заключающийся в определении функции плотности вероятности нормального распределения и расчета вероятности отнесения прогнозного значения к тому или иному уровню возмущенности по формуле Байеса.

Обоснованность и достоверность научных положений и выводов подтверждаются корректностью допущений, принимаемых при математическом моделировании и при разработке устройств; согласованием теоретических положений с результатами экспериментальных исследований; непротиворечивостью предложенных моделей, критическим обсуждением основных результатов работы с ведущими специалистами в области моделирования и магнитоизмерительной и медицинской техники.

Практическая значимость работы

Разработана информационно-измерительная система оценки и прогнозирования состояния ГМП, реализующая предложенный выше метод. Система регистрирует северную и восточную составляющие вектора напряженности магнитного поля Земли, рассчитывает горизонтальную составляющую и на основе заданного алгоритма осуществляет прогнозирование состояния ГМП. Данная система позволяет медицинским организациям, службам ЧС, а также непосредственно населению получать ценную информацию о возмущенности ГМП с целью уменьшения количества несчастных случаев, минимизации негативных последствий и планирования работ.

Кроме того, разработан ряд программных продуктов, обеспечивающих: выделение возмущений ГМП, построение математической модели на основе ортогональных полиномов Чебышева, определение количества значимых

слагаемых в уравнении модели регулярных вариаций ГМП, краткосрочное прогнозирование состояния ГМП.

Внедрение результатов работы

Результаты работы используются (получен ряд актов внедрений) в научно-исследовательской деятельности и в учебном процессе ЮРГТУ (НПИ) (г.Новочеркасск), в СП ООО «А-мобайл» (г.Сухум), ООО «Стальмаркет» (г.Краснодар).

Основные положения, выносимые на защиту:

- метод выделения влияющих на здоровье человека возмущений ГМП;
- математические модели регулярных составляющих ГМП;
- результаты теоретических и экспериментальных исследований оценки и прогнозирования состояния ГМП;
- структуры, алгоритмы, конструктивные и схемотехнические решения информационно-измерительной системы оценки и прогнозирования влияющих на организм человека возмущений ГМП.

Апробация работы. Основные положения и научные результаты исследований докладывались на научно-технических конференциях и семинарах. В том числе: «Мехатроника. Современное состояние и тенденции развития» (г. Новочеркасск, 2009 г.); 59-я науч.-техн. конф. профессорско-преподават. состава, науч. работников, аспирантов и студентов ЮРГТУ(НПИ) «Результаты исследований 2010» (г. Новочеркасск, 2010 г.); XI Междунар. науч.-практ. конф. «Моделирование. Теория, методы и средства» (г.Новочеркасск, 2011-2012гг.); 24 Междунар. науч.-практ. конф. «Математические методы в технике и технологиях» (г.Пенза, г.Киев, 2011 г.); «Студенческая научная весна» (г. Новочеркасск, 2009-2011 г.г.); Всероссийская научная школа «Микроэлектронные информационно-управляющие системы и комплексы» (г. Новочеркасск, 2011 г.); Микропроцессорные, аналоговые и цифровые системы: проектирование и схемотехника, теория и вопросы применения (г. Новочеркасск, 2012 г.); Методы и алгоритмы прикладной математики в технике, медицине и экономике (г. Новочеркасск, 2012 г.); на научных семинарах кафедры «Информационные и измерительные системы и технологии» ЮРГТУ (НПИ).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 24 печатные работы, в том числе 3 статьи в рецензируемых научных журналах, входящих в перечень ВАК и 4 свидетельства о регистрации программного продукта.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 128 наименований и приложений. Общий объем работы 204 страницы, включая 45 страниц приложений, 87 иллюстраций и 33 таблиц.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ СОКРАЩЕНИЙ

ГМП – геомагнитное поле; ГВ – геомагнитные возмущения; МПЗ – магнитное поле Земли; ГБ – геомагнитная буря; ПГМП – переменное геомагнитное поле; ССВ – солнечно-суточные вариации; ГГМП – горизонтальная компонента геомагнитного поля; ММ – математическая модель; МП – магнитное поле; АЦП –

аналого-цифровой преобразователь; УИ – устройство измерения; УОП – устройство оценки и прогнозирования.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, изложены цели и задачи диссертационной работы, научная новизна и практическая ценность.

В первой главе «Анализ влияния геомагнитного поля на организм человека и постановка задачи исследования» осуществлен обзор и анализ методов и устройств измерения напряженности магнитного поля Земли. Выполнен обзор литературных и библиографических источников по ключевым моментам диссертационной работы. Рассмотрены механизмы и особенности влияния ГМП на организм человека, определены основные «группы риска». Проанализированы существующие на данный момент технические средства оценки и прогнозирования ГБ.

Геомагнитное поле непрерывно регистрируют на магнитных обсерваториях постоянно действующей глобальной сети и на спутниках (рисунок 1). Получение и публикация геомагнитной информации осуществляется посредством мировых центров по сбору и обработке геомагнитной информации, которые получают данные от международных служб космической погоды и центров по сбору первичной информации. Наиболее распространенными средствами оценки и прогнозирования состояния ГМП являются устройства оптического наблюдения



Рисунок 1 – Глобальная сеть регистрации ГМП

облака или области сжатия в солнечном ветре; большая и продолжительная южная компонента межпланетного МП; траектория движения магнитного облака должна оказаться вблизи магнитосферы Земли и вступить с ней во взаимодействие. Каждое из этих условий возникает с некоторой вероятностью, а достоверность прогноза, основанного на сопоставлении солнечных явлений магнитным бурям, составляет около 20 %. Неотъемлемой частью мониторинга состояния ГМП являются устройства регистрации геомагнитного поля (УРГМП). Они осуществляют измерение напряженности МПЗ и определяют его состояние. Геомагнитные бури приводят к резкому изменению всех элементов земного магнетизма и оказывает негативное влияние на здоровье людей.

Таким образом, существует необходимость в разработке новых методов и устройств оценки и прогнозирования ГБ, способных оповещать население и специализированные организации о наступлении бури для принятия необходимых мер. Учитывая это, сформулированы задачи исследования и определены пути ее решения.

Во второй главе «Теоретический анализ составляющих ГМП и разработка метода прогнозирования его возмущений» предложен метод оценки и прогнозирования состояния ГМП, основанный на выделении возмущений ГМП посредством ММ регулярных составляющих МПЗ. Напряжённость МПЗ H можно представить, как сумму магнитных полей, имеющих различные причины возникновения:

$$H = H_0 + H_m + H_a + H_u + H_{11} + H_1 + H_d + H_c + H_r + H_{ед} \quad (1)$$

где H_0 – напряжённость МП, создаваемого однородным намагничиванием земного шара; H_m – напряжённость материкового МП, связанного с неоднородностями строения внутренних слоёв; H_a – напряжённость аномального МП, обусловленного намагниченностью верхних слоёв земной коры; H_u – вековые вариации МП; H_{11} – 11-летние вариации МП, связанные с 11-летним периодом солнечной активности; H_1 – годовые вариации МП, обусловленные изменением оси вращения Земли; H_d – лунно-суточные вариации МП, связанные с положением Луны по отношению к горизонту; H_c – солнечно-суточные вариации МП, зависящие от положением горизонта к Солнцу; H_r – рекуррентные возмущения МП, связанные с 27-дневным периодом обращения Солнца; $H_{ед}$ – сдвиги возмущения МП, связанные с кратковременными вспышками на Солнце. Из анализа выражения (1) видно, что все составляющие напряженности H , кроме последнего, носят регулярный характер. И только последнее слагаемое $H_{ед}$ описывает возмущения МПЗ. Причем $(H_0 + H_m + H_u)$ образуют постоянное ГМП, неизменное во времени. Слагаемые $H_u, H_{11}, H_1, H_d, H_c$ и H_r описывают ПГМП.

Для использования предложенного выше метода необходимо разработать ММ регулярных составляющих ГМП. На рисунке 2 приведена обобщенная схема применения ММ.

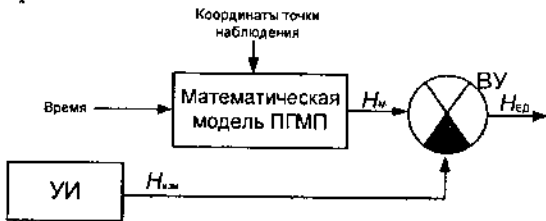


Рисунок 2 – Схема определения $H_{ед}$ с помощью математической модели ПГМП

Входными параметрами модели являются время и координаты точки наблюдения. Таким образом, каждому моменту времени в модели соответствует определенное значение напряженности H_M для заданного места наблюдения.

Устройство измерения (УИ) осуществляет регистрацию напряженности $H_{изм}$ МПЗ. Вычитающее устройство (ВУ) на основании полученных с модели H_M и с УИ $H_{изм}$ выделяет единичные возмущения $H_{ед}$. Для реализации схемы, приведенной на рисунке 2 была разработана ММ ПГМП.

При этом рассматривался временной ряд напряженности H , ПГМП. Согласно выражению (1) он описывается аддитивной моделью и имеет структуру:

$$H_t = H_{TK} + H_C + H_{SS} + H_{\zeta_t},$$

где $H_{TK} + H_C$ – тренд-циклическая составляющая; H_{SS} – сезонная составляющая; H_{ζ_t} – случайная составляющая.

Вековые, годовые и одиннадцатилетние вариации представлены в модели как тренд-циклические компоненты, солнечно-суточные вариации, лунно-суточные вариации и рекуррентные возмущения представлены как сезонные составляющие. Возмущения ГМП, в которых и заключены ГБ – случайная компонента. На первом этапе к исходным данным ПГМП был применен спектральный анализ. Он показал, что в ПГМП из всех перечисленных компонент наибольший вклад вносят лишь ССВ, с периодом 24 часа.

Пусть p – период последовательности H_{SS} , так что $H_{SS} = H_{SS+tp}$ для всякого t . Необходимо оценить H_{SS} по наблюдениям напряженности ГМП H_t . Обозначим через \hat{H}_t скользящее среднее с периодом p , построенное по ряду H_t . Для упрощения обозначений начнем нумерацию величин \hat{H}_t с единицы, так что ряд из скользящих средних есть: $\hat{H}_1, \hat{H}_2, \dots, \hat{H}_N$. Соответственно изменим нумерацию исходного ряда так, чтобы величине \hat{H}_t соответствовал член H_t . При этом приходится отбросить целую часть от деления $[p/2]$ первых членов ряда, для которых значения \hat{H}_t не определены. Предположим, что $k = (m+1)p$, где m – положительное целое число. При этом общая длина N исходного ряда равна $N = (m+2)p$.

Для каждого сезона i , $1 \leq i \leq p$, рассмотрим все относящиеся к нему разности: $H(t_i) - \hat{H}(t_i), H(t_{i+p}) - \hat{H}(t_{i+p}), \dots, H(t_{i+mp}) - \hat{H}(t_{i+mp})$.

Каждое из этих отклонений H_t от \hat{H}_t можно рассматривать как результат влияния сезонных изменений. Усреднение этих разностей дает нам оценку сезонной компоненты H_{SS} :

$$H_{SS} = \frac{1}{m+1} \sum_{t=1}^{m+1} H_{t+ip} - \hat{H}_{t+ip}, \text{ для } i = 1 \dots p.$$

Скорректированная оценка сезонной составляющей \hat{H}_{SS}^* определяется по формуле:

$$\hat{H}_{SS}^* = H_{SS} - \frac{1}{p} \sum_{i=1}^p H_{SS}, \text{ для } i = 1 \dots p$$

На основании исходных данных напряженности H , ПГМП (статистика 13 лет) были выделены ССВ для каждого месяца каждого года, а затем усреднены по соответствующему месяцу. Для определения меры взаимосвязи выделенных ССВ

ГМП между собой по формуле (2) были рассчитаны коэффициенты парной корреляции r .

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (H_{ic} - H_{cpc}) \cdot (H_{id} - H_{cpd})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (H_{ic} - H_{cpc})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (H_{id} - H_{cpd})^2}}, \quad (2)$$

где H_{ic}, H_{id} – i -е значение сравниваемых временных рядов, $i=1,2,\dots,n$; H_{cpc}, H_{cpd} – среднее значение временных рядов.

Рассчитанные значения r лежат в пределах 0,7–0,9, что говорит о сильной взаимосвязи между месяцами всего года.

При помощи кластерного (рисунок 3) и факторного (метод главных компонент) (рисунок 4) анализов выделенные ССВ ГМП были разделены на три обособленные группы (рисунок 3). Главные компоненты упорядочиваются в соответствии со значимостью, затем используется критерий восстановления характеристик и малозначимые компоненты отбрасываются. Использование метода главных компонент позволило сократить количество кривых (рисунок 5), с помощью которых можно описать изменения ССВ ГМП в течение года, что обеспечивает оптимальную классификацию ССВ ГМП.

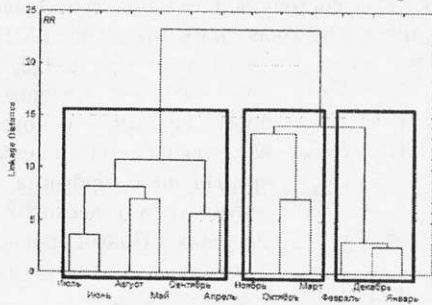


Рисунок 3 – Кластеризация ССВ ГМП, в результате получены три обособленные группы

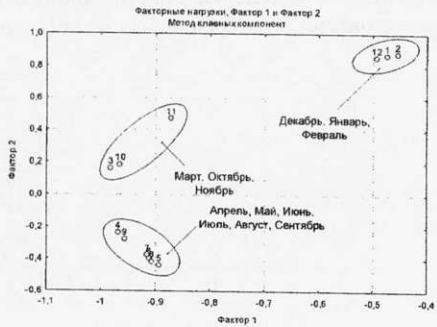


Рисунок 4 – Классификация ССВ ГМП

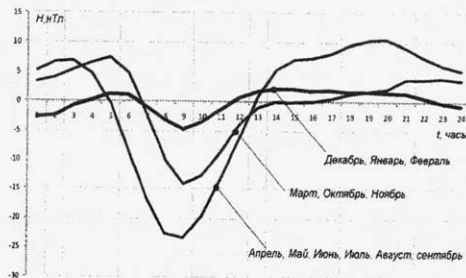


Рисунок 5 – Изменение ССВ ГМП в течение года

К первой группе относятся ССВ в декабре, январе, феврале, ко второй – в апреле, в мае, в июне, в июле, в августе, к третьей – в марте, в октябре и в ноябре. В качестве меры расстояния использовалось евклидово расстояние RR , определяемое по формуле:

$$RR = \sqrt{\sum_i (H_{ic} + H_{id})^2},$$

где c и d – порядковый номер месяца, $c, d=1\dots 12$.

Минимальный коэффициент парной корреляции при уровне значимости $\alpha=5\%$ в пределах первой группы составил 0,97, второй – 0,98, а третьей – 0,92.

Проводились исследования по оценке степени взаимосвязи полученных групп фактическим значениям ГМП в магнитоспокойные дни (К-индекс не более 2) на статистике 14 лет. Коэффициент парной корреляции при уровне значимости $\alpha=5\%$ лежит в диапазоне 0,9–0,98.

Разработан алгоритм краткосрочного прогнозирования состояния ГМП. Он реализуется с помощью формул (3)–(6):

$$H'_{\Sigma 1} = \frac{1}{\tau \cdot n} \cdot \sum_{i=t-n, t-1}^0 H_i, \quad (3)$$

$$H'_{\Sigma 2} = \frac{1}{\tau} \cdot \sum_{i=t+4n+1, t-1}^t H_i, \quad (4)$$

$$H'_{1P\Sigma} = \alpha \cdot H'_{\Sigma 2} + (1-\alpha) \cdot H'_{\Sigma 1}, \quad (5)$$

$$H'_{1P\Sigma} = H'_{1P\Sigma} \cdot (\tau+1) - \sum_{i=t-1, t-1}^0 H'_{1P\Sigma}, \quad (6)$$

где α – параметр сглаживания; τ – горизонт прогнозирования; n – период формирования прогноза; H'_{1P} – прогноз на τ шагов; t – время. На рисунке 6 приведено пояснение краткосрочного прогноза состояния ГМП при $\tau=3$. Было установлено, что среднеквадратическая ошибка краткосрочного прогноза ГМП

достигается при $\alpha=0,2$, и при $n \leq 5$. Алгоритм прогнозирования основан на взвешенной оценке предыдущего прогноза и текущего фактического значения. Новый прогноз получается в результате корректировки предыдущего прогноза с учетом его ошибки.

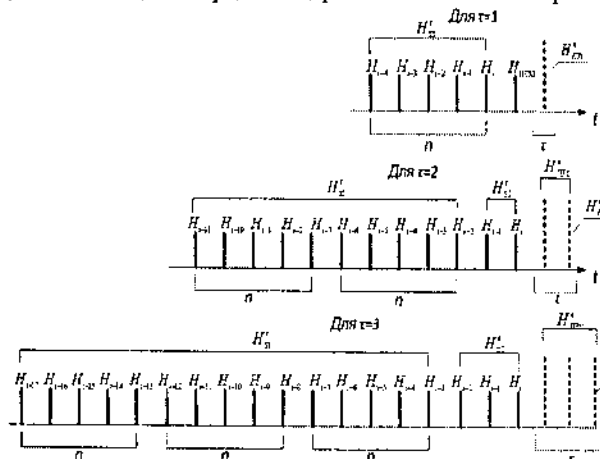
Алгоритм работает следующим образом.

1) Вычисляем по формуле (3) $H'_{\Sigma 1}$ – среднее значение напряженности на интервале $\tau \cdot n$.

Рисунок 6 – Схема алгоритма краткосрочного прогнозирования состояния ГМП

2) При $\tau=1$ прогноз осуществляется по формуле (5), где $H'_{\Sigma 2} = H_{\text{факт}}$. Начиная с $\tau=2$, $H'_{\Sigma 2}$ рассчитывается по формуле (4).

3) Затем $H'_{\Sigma 2}$ принимается за фактическое значение и по формуле (5) строится предварительный прогноз $H'_{1P\Sigma}$ на основе $H'_{\Sigma 1}$ и $H'_{\Sigma 2}$.



4) Зная предыдущее прогнозное значение $H_{(t_{i-1})}$, рассчитывается прогноз $H'_{i\tau}$ на τ -й шаг.

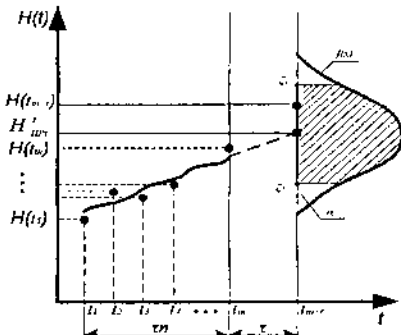


Рисунок 7 – Схема алгоритма краткосрочного прогнозирования ГМП

Величина доверительного интервала $I(\zeta_1, \zeta_2)$ для рассчитанных $P(B_i)$ определялась по формулам (7) и (8):

$$\xi_1 = P(B_i) - t_{\eta} \sqrt{\frac{P(B_i) \cdot (1 - P(B_i))}{n}}, \quad (7)$$

$$\xi_2 = P(B_i) + t_{\eta} \sqrt{\frac{P(B_i) \cdot (1 - P(B_i))}{n}}. \quad (8)$$

Для отнесения прогнозного значения к i -й градации возмущенности ГМП используется вероятностный метод, заключающийся в том, что вероятность попадания прогнозного значения в i -ую группу рассчитывается по формуле Байеса (9):

$$P_d(B_i) = \frac{P(B_i) \cdot P_{B_i}(A)}{P(B_1) \cdot P_{B_1}(A) + P(B_2) \cdot P_{B_2}(A) + \dots + P(B_n) \cdot P_{B_n}(A)}, \quad (9)$$

где $P(B_i)$ – априорная вероятность гипотезы; $P_{B_i}(A)$ – условная вероятность события A при выполнении гипотезы $P(B_i)$. Условная вероятность рассчитывается по формуле (10):

$$P_{B_i}(A) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \int_{k_{r1}}^{k_{r2}} e^{-\frac{(H_{i\tau} - x)^2}{2\sigma^2}} dx, \quad (10)$$

где σ – среднеквадратическое отклонение, k_{r1} и k_{r2} – нижняя и верхняя границы i -й градации возмущенности ГМП.

После расчета по формулам (7) – (10) выбирается градация возмущенности, вероятность которого максимальна, и делается вывод о прогнозируемом состоянии ГМП на τ -й шаг. Полученная оценка сохраняется даже после реального уменьшения амплитуды возмущений в течение времени mT , где T – период главной

Точность прогноза η оцениваем величиной доверительного интервала $I(\zeta_1, \zeta_2)$ (рисунок 7) для заданной вероятности его осуществления $P(B_i)$. Достоверность – оценка вероятности осуществления прогноза в заданном доверительном интервале, т.е. $P(\zeta_1 < H(t_{i+\tau}) < \zeta_2)$. Вероятность $P(B_i)$ определяем как частоту события A_i в n независимых опытах, где i – количество градаций возмущенности ГМП, $i = 1, 2, \dots, 7$. Были вычислены $P(B_i)$, которые составили: $P(B_1) = 0,11$, $P(B_2) = 0,619$, $P(B_3) = 0,13$, $P(B_4) = 0,08$, $P(B_5) = 0,04$, $P(B_6) = 0,02$, $P(B_7) = 0,001$

фазы бури, m – число, $m=1..p$. Это необходимо для эффективного прогноза наложенных друг на друга ГБ, следующих одна за другой.

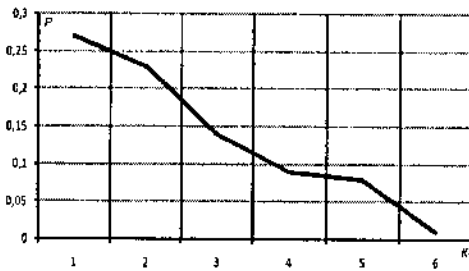


Рисунок 8 – Зависимость вероятности повторения ГБ от кратности их появления

Среднесрочный прогноз состояния ГМП основан на 27-дневной повторяемости ГБ. Рассчитаны вероятности кратной повторяемости K_{ii} на статистике 14 лет. Полученная зависимость приведена на рисунке 8.

Проведен анализ распределения плотности вероятности ошибки прогнозирования. Рассчитаны

параметры полученного распределения. Результаты позволяют определять ошибки прогнозирования ГБ первого и второго рода.

Разработана информационно-измерительная система оценки и прогнозирования состояния ГМП, реализующая описанный выше метод (рисунок 9).

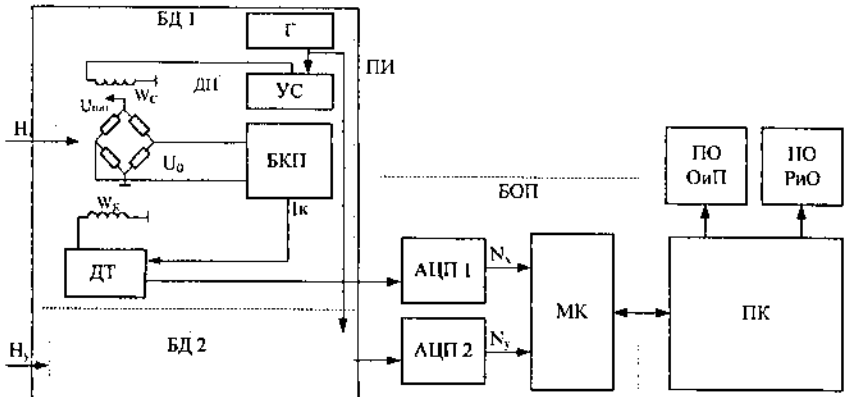


Рисунок 9 – Структурная схема системы оценки и прогнозирования состояния ГМП

На рисунке 9 БД1, БД2 – блоки датчиков, имеющих одинаковые структуры; ПИ – плата измерения; H_x , H_y – северная и восточная составляющие вектора напряженности МПЗ; I_K – ток компенсации; ДП – датчик поля, содержащий магниторезистивный мост, обмотку компенсации W_K и катушку сброса W_C ; Г – генератор импульсов сброса; УС – усилитель сброса; ДТ – датчик тока; БКП – блок компенсации поля; МК – микроконтроллер; БОП – блок оцифровки и передачи; ПК – персональный компьютер; ПО ОиП – программное обеспечение оценки и прогнозирования; ПО РиО – программное обеспечение регистрации и отображения. Система оценки и прогнозирования работает следующим образом.

При воздействии ГМП на магниторезистивный мост в ДП на его выходе появляется напряжение U_0 , которое поступает на БКП. Усилитель сброса создает размагничивающие импульсы тока в катушке сброса $W_{СБ}$ магнитоизмерительного преобразователя. В БКП происходит преобразование напряжения в компенсирующий ток, который, проходя через ДТ поступает на компенсирующую обмотку W_K . В результате чего суммарное магнитное поле, создаваемое ГМП и током в компенсирующей обмотки, стремится к нулю, а напряжение на ДТ пропорционально измеряемому МП. Аналого-цифровой преобразователь формирует из полученного напряжения цифровой код (N_x и N_y), который передается на МК. МК передает цифровой код с обоих каналов в ПК, где происходит вычисление ГМП H по следующему выражению:

$$H = \sqrt{(H_x)^2 + (H_y)^2}.$$

В ПО ОнП, а также ПО РиО осуществляется оценка, прогнозирование и отображение состояния ГМП с применением предложенного метода. Вся полученная и обработанная информация накапливается в памяти ПК.

В третьей главе «Разработка математических моделей регулярных составляющих геомагнитного поля» с помощью спектрального анализа были получены математические модели изменения напряженности H_i ГМП в зависимости от времени суток t . Целью анализа является разложение ряда на функции синусов и косинусов различных частот, для определения тех, появление которых особенно существенно и значимо.

В общем виде нелинейное уравнение регрессии может быть представлено:

$$H_i = \sum_{i=1}^m (a_i \cdot \cos(2\pi \cdot \gamma_k) \cdot t + b_i \cdot \sin(2\pi \cdot \gamma_k) \cdot t),$$

где a_j, b_j – коэффициенты регрессии модели Фурье; γ_k – частота циклов за единицу времени.

В результате спектрального анализа были получены ММ для выделенных в главе 2 ССВ ГМП. Таким образом, модель изменения напряженности ССВ ГМП $H_{\text{зим}}$ в декабре, январе и феврале имеет вид:

$$H(t)_{\text{зим}} = -0,7 \sin(2\pi \cdot 0,042t) + 1,79 \sin(2\pi \cdot 0,083t) - 1,42 \cos(2\pi \cdot 0,125t)$$

В марте, октябре, ноябре ССВ ГМП $H_{\text{осн}}$ описывается:

$$H(t)_{\text{осн}} = 5,43 \cos(2\pi \cdot 0,042t) + 4,32 \sin(2\pi \cdot 0,083t)$$

В апреле, мае, июне, июле, августе и сентябре ССВ ГМП $H_{\text{лет}}$ описываются уравнением:

$$H(t)_{\text{лет}} = 6,26 \sin(2\pi \cdot 0,042t) - 7,32 \sin(2\pi \cdot 0,042t) + 8,65 \cos(2\pi \cdot 0,083t)$$

Проведена проверка значимости полученных коэффициентов уравнения регрессии при помощи t -критерия Стьюдента, незначимые коэффициенты были отсеяны. Проведена проверка адекватности всех трех моделей экспериментальным данным с применением критерия Фишера.

Построена ММ изменения напряженности ССВ ГМП H_i в течение суток с использованием ортогональных полиномов Чебышева, позволяющих значительно упростить вычисления, так как при каждом повышении степени полинома, добавление новых слагаемых не изменяет вычисленных ранее коэффициентов:

$$H = \alpha_0 \psi_0(x) + \alpha_1 \psi_1(x) + \dots + \alpha_n \psi_n(x),$$

где $\psi_0(x) = 1$ – полином нулевого порядка; $\psi_1(x) = (x + \beta_1) \cdot \psi_0(x) + \gamma_1$ – полином первого порядка; $\psi_2(x) = (x + \beta_2) \cdot \psi_1(x) + \gamma_2$ – полином второго порядка; $\psi_{n+1}(x) = (x + \beta_{n+1}) \cdot \psi_n(x) + \gamma_{n+1} \psi_{n-1}(x)$ – полином n -го порядка;

$\beta_{n+1} = -\frac{\sum x_i [\psi_n(x_i)]^2}{\sum [\psi_n(x_i)]^2}$, $\gamma_{n+1} = -\frac{\sum x_i \psi_{n-1}(x_i) \psi_n(x_i)}{\sum [\psi_{n-1}(x_i)]^2}$, $\alpha_i = \frac{\sum H_i \psi_n(x_i)}{\sum [\psi_n(x_i)]^2}$ – коэффициенты связи.

Были проведены исследования необходимой и достаточной степени применяемого полинома Чебышева для аппроксимации графика изменения напряженности магнитного поля H в течение суток.

Было установлено, что выделенные посредством разработанных ММ возмущения ГМП $H_{\text{ВОЗМ}}$ имеют нормальный закон распределения.

Четвертая глава «Разработка и исследование информационно-измерительной системы оценки и прогнозирования влияющих на организм человека возмущений геомагнитного поля» посвящена созданию системы, реализующей обобщенную структурную схему, предложенную в главе 2, а также предложенный метод выделения влияющих на организм человека возмущений ГМП. В состав системы входят: двухкомпонентный датчик, который регистрирует северную H_x и восточную компоненты H_y вектора напряженности магнитного поля Земли, со встроенными катушкой компенсации и катушкой сброса; блок компенсации поля; генератор и усилитель импульсов сброса; датчик тока; плата сбора информации Е-24; состоящая из измерительного блока с четырьмя 24-разрядными АЦП и 8-ми битным процессором *AVR* фирмы *ATMEL*; персональный компьютер.

Внешний вид разработанной системы приведен на рисунке 10. В качестве

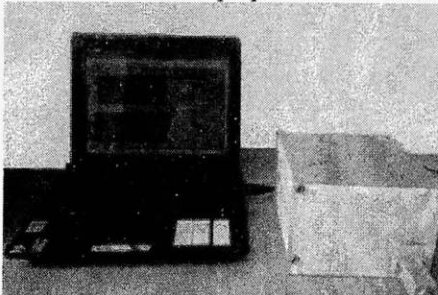


Рисунок 10 – ИИС оценки и прогнозирования состояния ГМП

датчиков магнитного поля использованы магниторезистивные преобразователи *KMZ52* фирмы *Phillips*. Оцифровка сигнала с платы измерения осуществляется посредством модуля Е-24 фирмы *L-Card*. Связь аппаратной части с компьютером осуществляется через интерфейс *RS-232*. На персональном компьютере в среде графического программирования *Labview* реализовано программное обеспечение

для обработки данных и отображения результатов. В программном обеспечении реализованы: расчет ГМП, выделение возмущений посредством предложенного метода, оценка текущего уровня геомагнитной активности по амплитуде возмущений, определение уровня ГБ, краткосрочный и среднесрочный прогнозы, расчет ошибок прогнозирования, определение точности и достоверности прогноза, сохранение результатов измерений и обработки с привязкой к местному времени, отображение всех рассчитанных параметров на экране персонального компьютера.

Основные технические характеристики: количество одновременно измеряемых проекций магнитного поля: 2; диапазон измеряемого магнитного поля: ± 200 мкТл; погрешность измерения: не более ± 4 %; количество градаций возмущенности магнитного поля Земли: 7; потребляемая мощность платы измерения: 1,5 Вт.

Все проведенные исследования экспериментально подтвердили высокую эффективность применения предложенной модели и разработанной системы для оценки и прогнозирования состояния ГМП.

Проведены клинические испытания разработанной системы. Установлено, что для более 60 % пациентов с заболеваниями сердечно-сосудистыми наблюдается зависимость их состояния от параметров ГМП.

Разработанное устройство принято к внедрению в учебный процесс кафедры «Информационные и измерительные системы и технологии», в СП ООО «А-мобайл» (г.Сухум), ООО «Стальмаркет» (г.Краснодар).

Разработан ряд программных продуктов, предназначенных для обработки результатов измерений и последующего прогнозирования.

Разработанная информационно-измерительная система может быть использована в качестве дополнительного модуля в системах оценки функционального состояния организма человека.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1 На основании проведенного обзора и анализа установлено влияние ГМП на организм человека и малая эффективность прогнозов ГБ, существующих в настоящее время. Показано, что перспективным направлением повышения достоверности прогноза ГБ является его осуществление на основе измерения и обработки параметров вектора напряженности МПЗ. Установлена необходимость разработки методов прогнозирования ГМП и портативных устройств, позволяющих людям, чувствительным к геомагнитным воздействиям, и специализированным медицинским организациям, заблаговременно получать информацию о наступлении ГБ и принимать необходимые меры.

2 Предложен и разработан новый метод оценки состояния ГМП, основанный на выделении возмущений ГМП посредством математической модели ССВ ГМП. Возмущения ГМП определяются как разность между измеренным значением ГМП и значением напряженности, полученной с помощью математической модели. Это позволяет осуществлять оценку и

последующий прогноз состояния ГМП, основываясь только на измерении напряженности МНЗ.

3 Построены и исследованы математические модели регулярных вариаций ГМП. Установлено, что ССВ ГГМН имеют сильную зависимость от времени года. Поэтому математическая модель изменения ССВ ГГМН в течение календарного года может быть построена на основе системы из трех уравнений. Первое уравнение описывает январь, февраль, декабрь, второе – март, октябрь, ноябрь, а третье – апрель, май, июнь, июль, август и сентябрь. Разработанные математические модели описывают с высокой степенью корреляции ССВ и позволяют реализовать предложенный метод выделения возмущений ГМП.

4 Разработаны алгоритмы и созданы программы, позволяющие по выделенным возмущениям ГМП осуществлять краткосрочный прогноз (до 3 часов) состояния ГМП.

5 Разработаны структурная, функциональная, принципиальная схемы, алгоритмы и программы функционирования информационно-измерительной системы оценки и прогнозирования состояния ГМП, реализующего предложенный метод выделения влияющих на организм человека возмущений ГМП посредством математической модели регулярных вариаций ГМП.

6 Разработана информационно-измерительная система медицинского назначения, предназначенная для оценки и прогнозирования состояния ГМП в бытовых условиях. В нем реализован метод выделения возмущений ГМП посредством математической модели регулярных составляющих и алгоритмы прогнозирования активности ГМП. Устройство обеспечивает измерение напряженности ГМП с погрешностью не более $\pm 4\%$ и позволяет людям, чувствительным к геомагнитным возмущениям, а также медицинским и др. учреждениям получать информацию о зарождении ГБ и принимать необходимые меры.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в журналах, входящих в Перечень ВАК

1 **Алексаян Г.К.** Влияние геомагнитного поля на элементы мехатронных систем / Г.К.Алексаян, М.В. Ланкин, В.И. Дубров, А.Г. Толстокожин // Известия вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 2009. – Спец. выпуск: Мехатроника. Современное состояние и тенденции развития.– С. 177-179.

2 **Алексаян Г.К.** Разработка математической модели активности магнитного поля Земли / Г.К.Алексаян, М.В. Ланкин, В.И. Дубров, А.Г. Толстокожин // Известия вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 2009. – Спец. выпуск. – С.41-46.

3 **Алексаян Г.К.** Разработка метода выделения влияющих на организм человека возмущений геомагнитного поля / Г.К.Алексаян // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 3; URL: www.science-education.ru/103-6125 (дата обращения: 03.05.2012).

Статьи в других изданиях и тезисы докладов на конференциях

4 **Александрян Г.К.** Разработка математической модели прогнозирования геомагнитного поля / Г.К.Александрян, М.В. Ланкин, В.И.Дубров, А.Г. Толстокожин // Студенческая научная весна – 2009: Сборник научных трудов аспирантов и студентов ЮРГТУ(НПИ) / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). – Новочеркасск: ЮРГТУ, 2009. – С. 165-166.

5 **Александрян Г.К.** Анализ изменения суточных вариаций геомагнитного поля в течение года / Г.К.Александрян // Результаты исследований – 2010: материалы 59-ой научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных работников, аспирантов и студентов ЮРГТУ (НПИ) // Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). – Новочеркасск: ЮРГТУ, 2010. – С. 231-233.

6 **Александрян Г.К.** Математическая модель суточных вариаций геомагнитного поля на основе быстрого преобразования Фурье / Г.К.Александрян // Студенческая научная весна – 2010: Сборник научных трудов аспирантов и студентов ЮРГТУ(НПИ) // Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). – Новочеркасск: ЮРГТУ, 2010. – С. 184-185.

7 **Александрян Г.К.** Определение частотных составляющих солнечно-суточных вариаций геомагнитного поля / Г.К.Александрян // Математические методы в технике и технологиях - ММТТ-24 : сб. тр. XXIV Междунар. науч. конф. : в 10 т. / Сарат. гос. техн. ун-т - Пенза : Пенз. гос. технол. акад., 2011. - Т. 7. Секц. 11 : Информатизация и моделирование технических систем и процессов. - С. 142-143.

8 **Маркарян Н.Р.** Калибровка мобильного устройства прогнозирования геомагнитных возмущений / Н.Р.Маркарян, М.В.Ланкин, Г.К.Александрян // Микроэлектронные информационно-управляющие системы и комплексы : сб. тез. и статей Всерос. науч. шк., Новочеркасск, 5-7 сент.2011г. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ) - Новочеркасск : ЛИК, 2011. - С. 72-73.

9 **Александрян Г.К.** Разработка метода прогнозирования геомагнитного поля / Г.К.Александрян, М.В.Ланкин, Н.Р.Маркарян, М.В.Кондыбенко // Микроэлектронные информационно-управляющие системы и комплексы : сб. тез. и статей Всерос. науч. шк., Новочеркасск, 5-7 сент. 2011г. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ) - Новочеркасск : ЛИК, 2011. - С. 29-32.

10 **Александрян Г.К.** Программа построения математической модели регулярных вариаций геомагнитного поля с использованием ортогональных полиномов Чебышева / Г.К.Александрян, М.В. Ланкин // Микроэлектронные информационно-управляющие системы и комплексы : сб. тез. и статей Всерос. науч. шк., Новочеркасск, 5-7 сент.2011г. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ) - Новочеркасск : ЛИК, 2011. - С. 27-29.

11 **Александрян Г.К.** Кластерный анализ вариаций горизонтальной составляющей геомагнитного поля / Г.К.Александрян // Микроэлектронные информационно-управляющие системы и комплексы : сб. тез. и статей Всерос. науч. шк., Новочеркасск, 5-7 сент.2011г. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ) - Новочеркасск : ЛИК, 2011. - С. 25-26.

12 **Маркарян Н.Р.** Система для калибровки мобильного устройства прогнозирования геомагнитных бурь / Н.Р.Маркарян, М.В.Ланкин, Г.К.Александрян //

Студенческая научная весна - 2011 : материалы регион. науч.-техн. конф. студент аспирантов и молодых ученых вузов Ростовской области / Юж.-Рос. гос. техн. ун (НПИ) - Новочеркасск : ЮРГТУ, 2011. - С. 188-189.

13 **Александрян Г.К.** Спектральный анализ Фурье временных рядов годов вариаций геомагнитного поля / Г.К. Александрян // Моделирование. Теория, методы средства : материалы XI Междунар. науч.-практ. конф., Новочеркасск, 31 марта 20 г. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ) - Новочеркасск : ЮРГТУ, 2011. - С. 34-36.

14 **Александрян Г.К.** Определение структуры математической моде горизонтальной составляющей геомагнитного поля / Г.К.Александрян, М.В. Ланкин, Бертрам // Моделирование. Теория, методы и средства : материалы XI Междунар. науч.-практ. конф., Новочеркасск, 31 марта 2011 г. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ) Новочеркасск : ЮРГТУ, 2011. - С. 31-36.

15 **Александрян Г.К.** Исследование возмущений геомагнитного поля магнитоспокойные дни / Г.К. Александрян // Моделирование. Теория, методы средства : материалы XI Междунар. науч.-практ. конф., г. Новочеркасск, 27 февра 2012 г. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). – Новочеркасск: ЛИК, 2012. – С. 4-6.

16 **Александрян Г.К.** Разработка информационно-измерительной систем непрерывного мониторинга геомагнитного поля / Г.К. Александрян, Ю.Р. Кривченко // Моделирование. Теория, методы и средства : материалы XI Междунар. науч.-практ. конф., г. Новочеркасск, 27 февраля 2012 г. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). Новочеркасск: ЛИК, 2012. – С. 6-8.

17 **Александрян Г.К.** Разработка математической модели краткосрочно прогнозирования геомагнитного поля методом экспоненциального сглаживания / Г. Александрян, Ю.Р. Кривченко // Моделирование. Теория, методы и средства материалы XI Междунар. науч.-практ. конф., г. Новочеркасск, 27 февраля 2012 г. Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). – Новочеркасск: ЛИК, 2012. – С. 11-12.

18 **Александрян Г.К.** Определение начальных параметров математической модели краткосрочного прогноза состояния геомагнитного поля / Г.К. Александрян, Н.Р. Маркарян // Методы и алгоритмы прикладной математики в технике, медицине и экономике: материалы XII Междунар. науч.-практ. конф., г. Новочеркасск, 12 апр. 2012 г. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). – Новочеркасск: ЮРГТУ(НПИ), 2012. – С. 4-6.

19 **Александрян Г.К.** Факторный анализ солнечно-суточных вариаций горизонтальной составляющей геомагнитного поля / Г.К. Александрян // Методы и алгоритмы прикладной математики в технике, медицине и экономике: материалы XII Междунар. науч.-практ. конф., г. Новочеркасск, 12 апр. 2012 г. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). – Новочеркасск: ЮРГТУ(НПИ), 2012. – С. 7-9.

20 **Александрян Г.К.** Информационно-измерительная система оценки и прогнозирования влияющих на организм человека возмущений геомагнитного поля / Г.К. Александрян, Ю.Р. Кривченко // Микропроцессорные, аналоговые и цифровые системы: проектирование и схемотехника, теория и вопросы применения: материалы XII Междунар. науч.-практ. конф., г. Новочеркасск, 22 апр. 2012 г. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). – Новочеркасск: ЮРГТУ(НПИ), 2012. – С.4-7 с.

21 Свид. об. оф. рег. прогн. для ЭВМ Российская Федерация Выделение регулярных вариаций геомагнитного поля (GMP 1.0) / Г.К. Алексанян, Н.И. Горбатенко [и др.]; Роспатент. – № 2012611370; заявл. 27.02.2012.

22 Свид. об. оф. рег. прогн. для ЭВМ Российская Федерация. Построение математической модели регулярных вариаций геомагнитного поля (MAT_GMP 1.0) / Г.К. Алексанян, Н.И. Горбатенко [и др.]; Роспатент. –№ 2012611337;заявл. 27.02.2012.

23 Свид. об. оф. рег. прогн. для ЭВМ Российская Федерация Определение количества значимых слагаемы уравнения модели (SLAG_MOD 1.0) / Г.К. Алексанян, Н.И. Горбатенко [и др.]; Роспатент. – № 2012611384; заявл. 27.02.2012.

24 Свид. об. оф. рег. прогн. для ЭВМ Российская Федерация Программа краткосрочного прогнозирования активности геомагнитного поля (FORC_GMP 1.0) / Г.К. Алексанян, Н.И. Горбатенко [и др.]; Роспатент. –№ 2012611382;заявл. 27.02.2012.

Личный вклад автора в опубликованных в соавторстве работах: [1] – анализ влияние геомагнитного поля на технические системы; [2] – идея применения метода сезонной декомпозиции к данным геомагнитного поля, проведение экспериментальных исследований; [4] – идея построения структурной схемы; [8] – разработка структурной схемы системы; [10] –разработка структурной схемы; [9] –идея метода прогнозирования; [10] – идея использования полиномов Чебышева, разработка алгоритма; [12] – проведение исследований; [14] –идея применения кластерного анализа, проведение экспериментальных исследований; [16] – разработка структурной, функциональной схемы системы, выбор магнитоизмерительного преобразователя; [17] – разработка математической модели, проведение исследований; [18] –проведение исследований; [20] – разработка информационно-измерительной системы; [21–24] – разработка алгоритма и написание листинга программ.

Александян Грайр Каренович

**РАЗРАБОТКА МЕТОДА ВЫДЕЛЕНИЯ ВЛИЯЮЩИХ НА ОРГАНИЗМ
ЧЕЛОВЕКА ВОЗМУЩЕНИЙ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ДЛЯ СОЗДАНИЯ
ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ МЕДИЦИНСКОГО
НАЗНАЧЕНИЯ**

Автореферат

Подписано в печать 08.08.2012.

Формат 60×84 ¹/₁₆ Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 1,0. Уч.-изд. л. 1,6. Тираж 110 экз. Заказ №48-5146.

Южно-Российский государственный технический университет
(Новочеркасский политехнический институт)

Адрес университета:

346428, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132.

Отпечатано в ИД «Политехник»

346400, г. Новочеркасск, ул. Первомайская, 166. тел. 22-70-97