

СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ПАРАМЕТРОВ НЕРВНО-МЫШЕЧНОЙ СИСТЕМЫ ЖЕНЩИН В УСЛОВИЯХ ЛОКАЛЬНОГО ХОЛОДОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

КОЗУПИЦА Г.С.¹, БЕЛОЩЕНКО Д.В.², АЛИЕВ А.А.², ПАХОМОВ А.А.³

¹Центр медицины и валеологии «ЛИТТЛ», ул. Гагарина, д.18, Самара, 443079, Россия

²БУ ВО Ханты-Мансийского автономного округа – Югры «Сургутский государственный университет», ул. Ленина, 1, Сургут, 628400, Россия

³ГБОУ СОШ №2 "ОЦ" с. Кинель-Черкассы, ул. Московская, д. 2 «Е» Самарская область, Кинель-Черкасский район, с. Кинель-Черкассы, 446351, Россия

В рамках новой теории хаоса-самоорганизации демонстрируются существенные различия в хаотической динамике микродвижений конечности человека, а именно тремора, у группы девушек в разные сезоны года до и после локального холодного воздействия. Показано непрерывное хаотическое изменение статистических функций распределения параметров нервно-мышечной системы человека, в виде треморограмм, на примере амплитудно-частотных характеристик и координат $x_i = x_i(t)$. Была обнаружена сезонная динамика параметров тремора, т.к. были получены статистически значимые различия параметров треморограмм без какого-либо воздействия и с локальным холодным воздействием, причем в связанных выборках (в эксперименте участвовали одни и те же люди в осенний и весенний периоды года).

Ключевые слова: тремор, локальное холодное воздействие, адаптация.

STUDY ON SEASONAL DYNAMICS OF NEURO-MUSCULAR SYSTEM IN RESPOND TO LOCAL COLD EXPOSURE IN WOMEN

KOZUPITSA G.S.¹, BELOSHCHENKO D.V.², ALIEVA.A.², PAKHOMOV A.A.³

¹Center of medicine and valueology of "LITTL", Gagarin St., 18, Samara, 443079, Russia

²Surgut state University, Lenin pr., 1, Surgut, 628400, Russia

³General-education School, Kinel-Cherkasy, Moskovskaya St., 2 "E" Samara region, Kinel-Cherkassky, 446351, Russia

Within new theory of chaos-self-organization the significant differences has been revealed in chaotic dynamics of limb micro-movements of person namely, a tremor, at group of girls in different seasons of the year before and after local cold exposure. It has been demonstrated the continuous chaotic change in statistical distribution functions of neuromuscular system parameters of person on the example of the amplitude-frequency characteristics and coordinates $x_i = x_i(t)$ of tremorogramms. A seasonal dynamics of parameters of the tremor has been discovered; so that statistically significant differences were obtained in the frequency response parameters of tremorogramms without and with local cold exposure and associated samples (the experiment involved same people during autumn and spring periods of the year).

Key words: tremor, local cold exposure, adaptation.

Введение. Проблема изучения влияния особых климатоэкологических факторов северных территорий на формирование адаптационных возможностей организма и здоровье человека в целом является весьма актуальной уже несколько последних десятилетий для жителей Югры. Население северных территорий Российской Федерации резко возрастает по численности, идет активное освоение полезных ископаемых и территорий в целом и в этой связи большие массы трудового населе-

ния (и их семьи) вынуждены, прежде всего, адаптироваться к холоду, особенно в зимний период года, когда организм жителей Севера находится в состоянии экологического напряжения. Это связано с необходимостью поддерживать биохимический и температурный гомеостаз на должном уровне [1,11]. В связи с этим, изменения, возникающие в различных системах организма, так или иначе сказываются на параметрах двигательной системы,

которая, обеспечивает всю жизнедеятельность организма человека как единого целого.

В настоящей работе изучались признаки статистических различий выборок параметров *треморограмм* (ТМГ) путем проверки выборок ТМГ на статистическое совпадение. Использовались методы, которые позволяли обнаруживать изменения (или сходство) получаемых выборок ТМГ и функционального состояния организма человека в целом, находящегося в различных экологических условиях. Подчеркивается, что изучение *функционального состояния организма* (ФСО) человека, проживающего в условиях Севера РФ, представляет особый интерес именно в рамках *теории хаоса-самоорганизации* (ТХС). Именно эта теория позволяет прогнозировать возможные изменения ФСО и получать важную информацию о текущей динамике исследуемых функций организма [1-5,8-12]. Такая проверка выполнялась вместе с проверкой эффекта Еськова-Зинченко применительно к ТМГ, когда отсутствует статистическая устойчивость выборки ТМГ даже у одного испытуемого [6-9,17-19]. Цель настоящей работы – исследование динамики изменения параметров *нервно-мышечной системы* (НМС) у группы девушек на примере *амплитудно-частотных характеристик* (АЧХ) и координат $x_i=x_i(t)$ *треморограмм* в осенний и весенний периоды года до и после локального холодового воздействия. Это представляет особый научно-практический интерес для оценки механизмов адаптации и для понимания принципов функционирования сложных систем, систем третьего типа, *complexity* [1-7,15-19].

Объект и методы исследования. В настоящих исследованиях объектом для наблюдения являлись испытуемые – молодые девушки в возрасте 22-х лет, которые подвергались локальному холодовому воздействию. Регистрация ТМГ проводилась по стандартной методике: изначально испытуемые находились в положении сидя с вытянутыми руками вдоль туловища в относительно комфортных условиях при полном отсутствии какой-либо нагрузки на мускулатуру. Испытуемому закреплялась очень легкая металлическая пластинка размером 5 на 5 см на указательном пальце руки, после чего он удерживал палец в

статическом положении приподнятым над токовихревым датчиком (расстоянием 1-2 мм).

В течение 5 секунд по 3 раза записывались показания датчика. Каждый испытуемый проходил эксперимент дважды: в расслабленном состоянии без какого-либо воздействия и с гипотермическим (локальным холодным) воздействием. Конечность испытуемого помещалась в емкость с талой водой при $t = +3\text{ }^{\circ}\text{C} - (+4\text{ }^{\circ}\text{C})$ и находилась там в течение 1 минуты после чего снимались показатели. Показатели снимались в осенний и весенний периоды года. Всего было исследовано 15 человек, которые проживали на Севере более 20 лет, на предмет состояния их *нервно-мышечной системы* (НМС) в условиях гипотермии.

Обследование испытуемых производилось неинвазивными методами и соответствовало этическим нормам Хельсинской декларации (2000 г.). Работа выполнялась в рамках плана научных исследований лаборатории «Функциональные системы организма человека на Севере» при БУ ВО «Сургутский государственный университет ХМАО-Югры». Критерии включения в исследование: возраст испытуемых 20-22 года; отсутствие жалоб на состояние здоровья в период проведения обследований; наличие информированного согласия на участие в исследовании. Критерии исключения: болезнь учащегося в период обследования.

Информация о состоянии параметров произвольных микродвижений конечностей человека была получена с помощью прибора «Тремограф», который обеспечивает регистрацию кинематограмм (движения пальцев руки в заданном режиме). В основе работы устройства лежат токовихревые датчики с блоками усилителей, фильтров, которые подключаются к блоку 16-ти канального аналого-цифрового преобразователя и позволяют прецизионно (до 0,01 мм) определять координату $x=x(t)$ положения конечности с пластинкой в пространстве по отношению к регистратору (токовихревому датчику) [4-6].

Регистрация сигналов смещения конечности $x_1=x(t)$ и их обработка (получение производной от x_1 , т.е. $x_2=dx_1/dt$) осуществлялась с использованием запатентованной программы (№ 2000610599 от 2000 г.), обеспечивающей получение спектральных характеристик и их анализ в фазовом пространстве состояний с

использованием *быстрого преобразования Фурье* (БПФ) и *Wavelett* – анализа (Моррета) для представления непериодических сигналов в виде непрерывной функции $x=x(t)$ и анализа амплитудно-частотных и фазовых характеристик сигнала.

Статистическая обработка данных производилась при помощи следующих программных пакетов: «*Excel MS Office-2010*» и «*Statistica10*». Анализ соответствия вида распределения полученных данных закону нормального распределения производился на основе вычисления критерия Шапиро-Уилка (для выборок $n < 50$). Критерий Шапиро-Уилка является наиболее эффективным, так как он обладает большей мощностью по сравнению с альтернативными критериями проверки нормальности. Поскольку дискретные значения тремора имеют распределение, отличное от нормального, все данные представлены в виде медианы и интерпроцентильного размаха. Ввиду несоответствия эмпирического распределения теоретическому закону распределения дальнейшие исследования зависимостей производились методами непараметрической статистики [1-6].

Для оценки значимости различия показателей в зависимых выборках (до и после локального холодого воздействия внутри одной группы) применялся непараметрический критерий Вилкоксона с поправкой Бонферрони (для оценки справедливости нулевой гипотезы). За достоверные принимали различия при значениях $p < 0,05$ [1-4]. Были рассчитаны матрицы (15×15) парных сравнений выборок параметров ТМГ для 15-ти девушек до и после локального холодого воздействия в разные сезоны года. Устанавливалась закономерность изменения числа «совпадений» пар выборок k , получаемых параметров ТМГ у испытуемых.

Результаты исследований и их обсуждение. В результате обработки временной развертки сигнала тремора (анализ спектра периодических биомеханических показателей человека) с помощью программы «*Charts3*» были получены амплитудно-частотные характеристики ТМГ в осенний и весенний периоды года *до* и *после* гипотермического (локального холодого) воздействия. С помощью этой программы нами был выполнен амплитудно-частотный анализ и зафиксированы значения

амплитуд в условных единицах (у.е.) от 0 до 50 Гц. через каждые 0,2 Гц. Таким образом, для каждого испытуемого было получено всего 500 значений амплитуд (до и после охлаждения).

Затем с помощью пакета прикладных программ «*Excel MS Office-2010*» было выполнено усреднение параметров тремора (АЧХ) на каждой частоте (от 0 до 50 Гц) путем суперпозиции для 15-ти человек в каждой группе исследования (в осенний и весенний периоды). Далее для каждой группы исследования по медианам амплитуд параметров треморограмм были построены АЧХ до и после локального холодого воздействия. Так как параметры тремора наиболее информативны в диапазоне до 15 Гц, для анализа АЧХ был выбран диапазон до 25 Гц, т.е. получено 250 значений амплитуд по 125 частотам в диапазоне от 0 до 25 Гц. Для построения общей динамики АЧХ были использованы медианы (рис.1), поскольку дискретные значения тремора имеют распределение, отличное от нормального (тип распределения определяли с помощью критерия Шапиро-Уилка).

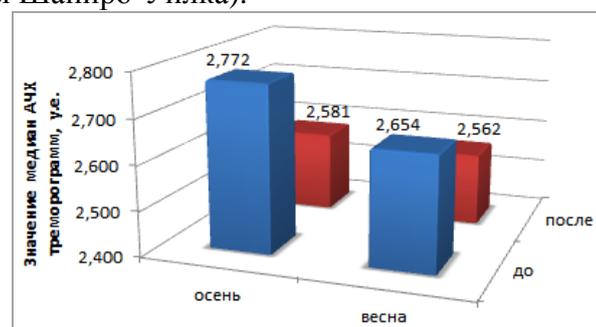


Рис.1. Динамика (249 значений) медиан АЧХ треморограмм группы испытуемых в осенний и весенний периоды года до и после локального холодого воздействия

Согласно рис. 1 следует отметить, что у группы испытуемых в осенний и весенний периоды года после локального холодого воздействия наблюдается уменьшение значений медиан АЧХ параметров треморограмм на 0,191 у.е. в осенний период (со значения $Me=2,772$ у.е. до $Me=2,581$ у.е.), и на 0,092 у.е. в весенний период (до воздействия $Me=2,654$ у.е., а после $Me=2,562$ у.е.). Это доказывает статистическую неустойчивость ТМГ и может говорить об ответной реакции нервно-мышечной системы на холод у молодых девушек (Югры). Также группа испытуемых в

весенний период года характеризуется уменьшением значения медианы до воздействия весной относительно осеннего периода на 0,118 у.е. (осенью $Me=2,772$ у.е., весной $Me=2,654$ у.е.) одновременно значение медианы после воздействия весной уменьшается на 0,019 у.е. (осенью $Me=2,581$, у.е., весной $Me=2,562$ у.е.), т.е. охлаждение всегда дает снижение Me , но в разные сезоны различным образом.

Для выявления различий средних значений рангов медиан АЧХ треморограмм группы испытуемых в осенний и весенний периоды года до и после локального холодого воздействия (попарное сравнение 249 значений АЧХ ТМГ у 15-ти девушек в группе) использовался непараметрический критерий Вилкоксона (*WilcoxonSignedRanksTest*) (табл. 1).

Таблица 1

Уровни значимости для попарных сравнений медиан АЧХ треморограмм группы испытуемых до и после локального холодого воздействия в осенний и весенний периоды года с помощью непараметрического критерия Вилкоксона (*Wilcoxon-SignedRanksTest*)

Попарные сравнения ме-	<i>N</i>	<i>T</i>	<i>Z</i>	<i>p</i> -
Осень до-после воздей-	249	5647	8,715	0,000
Весна до-после	249	9881	4,994	0,000
Осень до-Весна до	249	5951	8,448	0,000
Осень после - Весна по-	249	15164	0,350	0,726

*Примечание: *T* - сумма положительных и отрицательных рангов; Наименьшая из двух сумм (независимо от знака) используется для расчета величины *Z*, по которой рассчитывается уровень значимости критерия; *p*- достигнутый уровень значимости при попарном сравнении с помощью критерия Вилкоксона (критический уровень значимости принят равным $p<0,05$)

Анализ табл. 1 показал, что для АЧХ параметров тремора статистически значимыми были различия при сравнении медиан в осенний период года до $Me=2,772$ у.е. и после $Me=2,581$ у.е., и в весенний период до $Me=2,654$ у.е. и после $Me=2,562$ у.е. локального холодого воздействия, т.к. значения критерия Вилкоксона составляют: $T=5647$, $Z=8,715$, $p=0,000$ и $T=9881$, $Z=4,994$ и $p=0,000$ соответственно. При сравнении медиан АЧХ параметров тремора осенью и весной после локального холодого воздействия между собой статистически значимых различий обнаружено не было, о чем свидетельствуют значения критерия Вилкоксона, которые со-

ставляют: $T=15164,0,350$ и $p=0,726$. Также критерий Вилкоксона показал статистически значимые различия в медианах АЧХ треморограмм при сравнении осеннего и весеннего периодов до локального холодого воздействия между собой ($T=5951$, $Z=8,448$ и $p=0,000$). В целом, полученные результаты являются важной характеристикой адаптационных закономерностей поведения хаотической динамики ТМГ у испытуемых [1-7].

Далее представлен статистический анализ динамики параметров треморограмм (для 15 девушек в координатах $x_i=x_i(t)$ – положение пальца по отношению к датчику) группы испытуемых в осенний и весенний периоды года до и после локального холодого воздействия. С помощью анализатора сигналов были получены 500 значений координат $x_i=x_i(t)$ – положение пальца по отношению к датчику для каждого из 15-ти испытуемых и представлен их анализ с помощью различных методов.

Для построения динамики значений координат $x_i=x_i(t)$ треморограмм в осенний и весенний периоды года в группе испытуемых (15 человек) до и после локального холодого воздействия были использованы значения медиан, поскольку дискретные значения треморограмм имеют распределение, отличное от нормального (тип распределения определяли с помощью критерия Шапиро-Уилка) (рис. 2). Дальнейшие исследования зависимостей производились методами непараметрической статистики (табл.2).

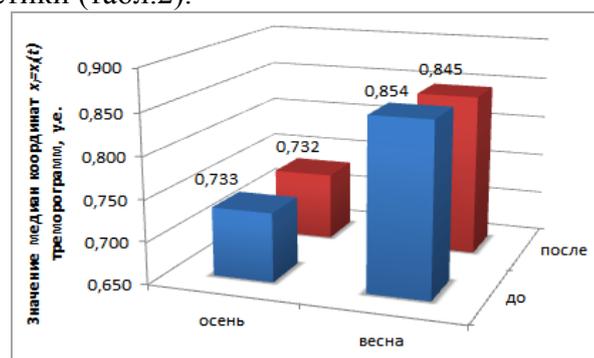


Рис.2. Динамика значений медиан координат $x_i=x_i(t)$ параметров треморограмм группы испытуемых в осенний и весенний периоды года до и после локального холодого воздействия (суперпозиция 15 человек)

Согласно рис. 2 следует отметить, что у группы испытуемых в осенний и весенний периоды года наблюдается незначительное

уменьшение значения медиан координат $x_i=x_i(t)$ параметров треморограмм после локального холодого воздействия: в осенний период на 0,001 у.е. (со значения $Me=0,733$ у.е. до $Me=0,732$ у.е.), в весенний период на 0,009 у.е. (до воздействия $Me=0,854$ у.е., а после $Me=0,845$ у.е.). Группа испытуемых в весенний период года характеризуется высокими значениями медианы до локального холодого воздействия относительно осеннего периода на 0,121 у.е. (осенью $Me=0,733$ у.е., весной $Me=0,854$ у.е.), а после весной выше, чем в осенний период на 0,113 у.е. (осенью $Me=0,732$, у.е., весной $Me=0,845$ у.е.), что может быть связано со сменой сезонов года и некоторым снижением способности организма к сопротивляемости внешним воздействиям.

Таблица 2

Уровни значимости для попарных сравнений значения медиан координат $x_i=x_i(t)$ параметров треморограмм группы испытуемых до и после локального холодого воздействия в осенний и весенний периоды года с помощью непараметрического критерия Вилкоксона (*Wilcoxon Signed Ranks Test*)

Попарные сравнения медиан	N	T	Z	p-
Осень до-после	15	49	0,624	0,532
Весна до-после	15	56	0,227	0,820
Осень до-Весна до	15	3	3,237	0,001
Осень после - Весна после	15	9	2,896	0,003

*Примечание: T - сумма положительных и отрицательных рангов; Наименьшая из двух сумм (независимо от знака) используется для расчета величины Z, по которой рассчитывается уровень значимости критерия; p- достигнутый уровень значимости при попарном сравнении с помощью критерия Вилкоксона (критический уровень значимости принят равным $p<0,05$)

Анализ табл. 2 показал, что для параметра тремора статистически значимыми были различия при сравнении медиан до воздействия осенью $Me=0,733$ у.е. и до воздействия в весенний период $Me=0,854$ у.е., т.к. значения критерия Вилкоксона составляют: $T=3$, $Z=3.237$ и $p=0,001$. А также различия после локального холодого воздействия в осенний $Me=0,732$ у.е. и весенний периоды $Me=0,845$ у.е. (значения критерия Вилкоксона составляют: $T=9$, $Z=2.896$ и $p=0,003$). Однако при анализе координат не было получено статистически значимых различий при действии локального охлаждения.

Заключение

Тремор является характерным примером хаотической динамики поведения параметров любой сложной биосистемы. Параметры тремора ($x_1(t)$, $x_2(t)$, и $x_3(t)$), демонстрируют неповторимую динамику, которую невозможно изучать в рамках традиционной науки, т.е. детерминизма или стохастики. Функции распределения непрерывно изменяются у каждого испытуемого, а значит, любые статистические результаты имеют ежесекундный (для тремора) характер изменения (хаотического).

Расчёт амплитудно-частотные характеристики и координат $x_i=x_i(t)$ параметров треморограмм у разных испытуемых (группы девушек) в осенний и весенний периоды года демонстрирует определенную статистическую закономерность: образуются выборки с непараметрическими распределениями, которые существенно отличаются в зависимости от состояния испытуемого. Тремор конечности до локального холодого воздействия отличается от тремора конечности после локального холодого воздействия. Степень этого отличия может задаваться критерием Шапиро-Уилка (чем он меньше, тем отличие больше).

Полученные результаты подтверждают наличие сезонной динамики параметров тремора, т.к. статистически значимые различия были получены при различных анализах данных: при анализе АЧХ тремора (249 значений) (табл.1) и при анализе 500 значений координат $x_i=x_i(t)$ – положение пальца по отношению к датчику (табл. 2) для 15-ти девушек, причем в связанных выборках (в эксперименте участвовали одни и те же люди в разные сезоны года).

Литература

1. Баженова А.Е., Башкатова Ю.В., Живаева Н.В. Хаотическая динамика ФСО человека на СЕВЕРЕ в условиях физической нагрузки // Тула, 2016. – 318 с.
2. Еськов В.В. Математическое моделирование гомеостаза и эволюции complexity. – Тула: Издательство ТулГУ, 2016. – 372 с.
3. Еськов В.М., Филатова О.Е., Хадарцева К.А., Еськов В.В. Универсальность понятия «гомеостаз» // Клиническая медицина и фармакология. – 2015. – № 4 (4). – С. 29-33.
4. Еськов В.М., Полухин В.В., Филатова Д.Ю., Эльман К.А., Глазова О.А. Гомео-

- статические системы не могут описываться стохастическим или детерминированным хаосом // Вестник новых медицинских технологий. – 2015. – Т. 22, № 4. – С. 28-33.
5. Еськов В.М., Хадарцев А.А., Филатова О.Е., Филатов М.А. Живые системы (complexity) с позиций теории хаоса – самоорганизации // Вестник новых медицинских технологий. – 2015. – Т. 22, № 3. – С. 25-32.
 6. Еськов В.М., Хадарцев А.А., Еськов В.В., Филатов М.А. Хаотический подход в новой интерпретации гомеостаза // Клиническая медицина и фармакология. – 2016. – Т. 2, № 3. – С. 47-51.
 7. Еськов В.М., Гудков А.Б., Баженова А.Е., Козупица Г.С. Характеристика параметров тремора у женщин с различной физической нагрузкой в условиях севера России // Экология человека. – 2017. – № 1. – С. 38-42.
 8. Еськов В.М., Галкин В.А., Филатова О.Е. Конец определенности: хаос гомеостатических систем / под ред. Хадарцева А.А., Розенберга Г.С. Тула: изд-во Тульское производственное полиграфическое объединение, 2017. – 596 с.
 9. Зилов В.Г., Еськов В.М., Хадарцев А.А., Еськов В.В. Экспериментальное подтверждение эффекта «Повторение без повторения» Н.А. Бернштейна // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. – 2017. – № 1. – С. 4-9.
 10. Зинченко Ю.П., Еськов В.М., Еськов В.В. Понятие эволюции Гленсдорфа-Пригожина и проблема гомеостатического регулирования в психофизиологии // Вестник Московского университета. Серия 14: Психология. – 2016. – № 1. – С.3-24.
 11. Русак С. Н., Еськов В. В., Молягов Д. И., Филатова О. Е. Годовая динамика погодноклиматических факторов и здоровье населения Ханты-Мансийского автономного округа // Экология человека. – 2013. – № 11. – С. 19-24.
 12. Betelin V.B., Eskov V.M., Galkin V.A. and Gavrilenko T.V. Stochastic Volatility in the Dynamics of Complex Homeostatic Systems // Doklady Mathematics. – 2017. – Vol. 95, No. 1, pp. 92-94.
 13. Eskov V.M., Eskov V.V., Filatova O.E., Khadartsev A.A., Sinenko, D.V. Neurocomputational identification of order parameters in gerontology // Advances in Gerontology. – 2016. – Vol. 6 (1). Pp. 24-28.
 14. Eskov V.M., Eskov V.V., Vochmina J.V., Gavrilenko T.V. The evolution of the chaotic dynamics of collective modes as a method for the behavioral description of living systems // Moscow University Physics Bulletin. – 2016. – Vol. 71 (2). Pp. 143-154.
 15. Eskov V.M., Eskov V.V., Gavrilenko T.V. and Vochmina Yu.V. Formalization of the Effect of “Repetition without Repetition” Discovered by N.A. Bernshtein // Biophysics. – 2017. – Vol. 62, No. 1, pp. 143-150.
 16. Eskov V.M., Bazhenova A.E., Vochmina U.V., Filatov M.A., Piyashenko L.K. N.A. Bernstein hypothesis in the Description of chaotic dynamics of involuntary movements of person // Russian Journal of Biomechanics. – 2017. – Vol. 21, No. 1, pp. 14-23.
 17. Khadartsev A.A., Nesmeyanov A.A., Eskov V.M., Filatov M.A., Pab W. Fundamentals of chaos and self-organization theory in sports // Integrative medicine international. – 2017. – Vol. 4. – С.57-65.
 18. Vokhmina Y.V., Eskov V.M., Gavrilenko T.V., Filatova O.E. Medical and biological measurements: measuring order parameters based on neural network technologies // Measurement Techniques. – 2015. – Vol. 58, (4). Pp. 65-68.
 19. Vokhmina Y.V., Eskov V.M., Gavrilenko T.V., Filatova O.E. Measuring Order Parameters Based on Neural Network Technologies // Measurement Techniques. – 2015. – Vol. 58 (4). Pp. 462-466.