

УДК 612.17+612.821

ОЦЕНКА ПСИХИЧЕСКОГО НАПРЯЖЕНИЯ ОПЕРАТОРА НА ЭМОЦИОНАЛЬНО ЗНАЧИМЫЕ СИТУАЦИИ

Чайковский И. А.¹, Кальниш В. В.², Кривова О. А.³,
Козак Л. М.³, Выровой Ю. С.¹, Фролов Ю. А.¹

¹Институт кибернетики имени В. М. Глушкова НАН Украины, г. Киев

²ГУ «Институт медицины труда НАМН Украины», г. Киев

³Международный научно-учебный центр информационных технологий и систем
НАН и МОН Украины, г. Киев

Введение. Исследование variability ритма сердца (BPC) имеет важное значение не только для оценки функционального состояния организма, но и для диагностики эмоциональных реакций. Проблемным вопросом остается отсутствие однозначного соответствия между изменениями показателей BPC и эмоциональных реакций. К тому же в научной практике анализа BPC нет единой точки зрения относительно перечня показателей-индикаторов BPC, рекомендованных для классификации и распознавания эмоциональных реакций.

Цель исследования. Определение набора информативных показателей BPC, которые можно использовать в качестве объективного критерия оценки эмоциональной реакции операторов. (На эмоционально окрашенные видеоклипы).

Материалы и методы исследования. Для анализа субъективной составляющей эмоциональных реакций операторов (29) на три тестовых видеоклипа (положительный, отрицательный, нейтральный из базы данных FilmStim) были применены психофизиологические методики. Объективную составляющую исследовали с помощью ЭКГ мониторинга на основании расчета 48 показателей BPC, полученных временным, спектральным, а также геометрическим и нелинейным методами анализа. Статистический анализ проводили с использованием пакета STATISTICA 10. Для анализа влияния видеоклипов на исследуемые показатели применили многомерный дисперсионный анализ (MANOVA).

Результаты. По результатам MANOVA и апостериорным сравнениям обнаружено, что два показателя психофизиологических тестов и показатели BPC (средний RR интервал, SI, LF, MF) были статистически значимыми (Уилкса Lambda = 0,525, F = 4306, p < 0,001), оценка влияния фактора $\eta^2 = 0,22$. Для переменных с негауссовым распределением (Si, LF) результаты проверяли по критериям Тест Манна-Уитни. Поэтапный дискриминантный анализ проводили для выявления информативного набора признаков, которые приводят к повышению эффективности классификации эмоциональных реакций. В целом средняя точность классификации 4 состояний операторов достигала 95,68 %.

Выводы. Разработана методика статистического анализа субъективных и объективных компонентов реакции операторов на стимулы различной эмоциональной окраски. Методика включает применение многомерных методов: дисперсионного и линейного дискриминантного анализа. Было показано, что показатели BPC (среднее значение RR интервалов, индекс напряжения регуляторных систем, мощность спектра в среднем и длинном диапазоне) и некоторые другие показатели геометрического и нелинейных методов анализа ритма сердца (pNN50, ND, SampEn, LSY) можно обоснованно считать физиологическими маркерами эмоциональных реакций. Анализ variability ритма сердца дает возможность с высокой вероятностью определять эмоциональное состояние обследуемого.

Ключевые слова: variability ритма сердца, эмоционально значимые ситуации, дисперсионный анализ, линейный дискриминантный анализ

Введение

Объективная диагностика отклика организма человека-оператора на разнообразные изменения окружающей среды на основании анализа различных физиологических сигналов является интенсивно развивающейся областью научных исследований. Особенно много внимания в последние годы иссле-

дователи уделяют эмоциональной сфере. Надо сказать, что до сего времени не существует общепринятого определения понятия «эмоция». Нам наиболее удачным кажется определение эмоции как процесса, интегрально отражающего субъективное оценочное отношение к существующим или возможным ситуациям с точки зрения благоприятного

(позитивные эмоции) или неблагоприятного (негативные эмоции) влияния этих ситуаций на выживание индивида [1].

Эмоции направлены на подготовку организма к определенной деятельности и реализуются, главным образом, через вегетативную нервную систему. Оценка реакции на стимулы, вызывающие позитивные или негативные эмоции, особенно важна в практике медицины труда, так как позволяет оптимизировать психическую нагрузку, возникающую в процессе трудовой деятельности.

Методы объективной оценки изменений эмоционального состояния можно условно разделить на 2 группы – прямые, связанные непосредственно с оценкой процессов, происходящих в центральной нервной системе, и косвенные, основанные на оценке функционирования вегетативной нервной системы. К первой группе относятся относительно методически сложные методы – электроэнцефалография, магнитоэнцефалография и функциональный МРТ. Вторая группа, прежде всего, представлена методом анализа вариабельности ритма сердца (ВРС).

Характеристики ВРС широко применяются для оценки функционального состояния в медицине труда и спортивной медицине, а также в клинической кардиологии [2]. Несколько последних десятилетий исследователи пытаются использовать ВРС в качестве индикатора реакции на различные раздражители (ментальные, стрессовые, эмоциональные) [3–5]. Собраны доказательства того, что сильные эмоции отражаются в паттернах сердечного ритма, при этом положительные и отрицательные эмоции могут оказывать различное влияние на изменчивость ритма сердца [6]. Исследователям удавалось классифицировать основные эмоциональные состояния по показателям ВРС [7, 8] и по другим физиологическим переменным [9]. Все же вопрос о наличии однозначного соответствия между изменениями регистрируемых показателей ВРС и различными эмоциональными состояниями до последнего времени остается не до конца решенным [10].

Установлено, что некоторые из показателей ВРС могут быть чувствительными индикаторами стрессовых и эмоциональных реакций. Реакция на эмоционально-стрессовый раздражитель является индивидуальной и зависит от возраста, пола, социальных факторов, ментального здоровья [10–12]. При анализе реакций на групповом уровне не всегда удавалось выявить значимые взаимосвязи между показателями ВРС и эмоциональными реакциями.

Результаты, полученные в разных исследованиях при воздействии эмоциональных нагрузок разного рода (аудио, визуальных и других тестовых стимулах), варьируют, их трудно сравнивать из-за различия в методиках. Однако в целом, несомненно, что существуют убедительные экспериментальные и теоретические доказательства, представленные в обзорах, что показатели ВРС являются объективной мерой способности мозга организовывать эмоциональную реакцию и быть маркером индивидуальных различий способности человека к регуляции эмоциональных реакций [13, 14]. Важным является вопрос о характере стимула, вызывающего эмоциональный отклик. В большинстве работ, посвященных этой теме, используется так называемый «self-recall», заключающийся в том, что инструктор просит испытуемого вспомнить и снова мысленно «пережить» какие-либо жизненные ситуации, вызывавшие ранее у испытуемого различные эмоции (страх, разочарование или, напротив, радость, удовлетворение). Такой метод, на наш взгляд, имеет существенные недостатки, поскольку не стандартизирован, чрезвычайно субъективен, полностью зависит от личного опыта испытуемого, его понимания смысла инструкции и желания сотрудничать.

В то же время имеется несколько обширных баз видеоклипов, представляющих собой эпизоды эмоционально окрашенных событий. Все эти эпизоды хорошо верифицированы в рамках масштабных психологических исследований с точки зрения характера и интенсивности вызываемых ими эмоций. По нашему мнению, такие стимулы вызывают эмоции более естественным образом, следовательно, они более приближены к характеристикам психической нагрузки, возникающей в реальной жизни, в том числе в процессе трудовой деятельности. Такие базы видеоклипов использовались в ряде психологических исследований [10].

Анализ уровня вызванных таким образом эмоций, как правило, осуществляется с помощью анкетных методов. Такая субъективная оценка не всегда точна и имеет качественный характер. Поэтому целесообразно внедрить в практику исследований эмоциональных состояний количественные методы, основанные на углубленном анализе ВРС.

Цель исследования – разработка метода оценки эмоционального отклика на основе анализа ВРС, пригодного для его экспресс-анализа непосредственно на рабочем месте.

Материалы и методы исследования

В качестве обучающей выборки были обследованы 29 здоровых добровольцев (средний возраст (27 ± 5) лет, 15 мужчин, 14 женщин), каждому из которых на экране ноутбука последовательно были показаны три аудиовизуальных клипа длительностью 7–8 мин. Использовали базу верифицированных видеоклипов FilmStim [15]. Видеоклипы, оказывающие эмоциональное воздействие, демонстрировали поэтапно в очередности: позитивно, негативно и нейтрально окрашенные. На каждом этапе исследования испытуемые оценивали свое эмоциональное состояние. Для этого использовали тест дифференциальной самооценки функционального состояния САН (самочувствие, активность, настроение), методики «Градусник», «Маски» [16].

На всех этапах регистрировали ЭКГ в 3 отведениях с помощью системы холтеровского мониторинга ECGpro (IMESC, Киев). Анализ ВРС проводили с использованием оригинального пакета программ. Рассчитывали статистические характеристики RR интервалов, показатели, полученные методами спектрального анализа, графу сердечного ритма, нелинейной динамики. Детально методика исследования изложена в предыдущих работах [17, 18]. Всего было проанализировано 48 показателей ВРС и три показателя самооценки эмоционального состояния

Кроме того, с целью определения типологических особенностей личности каждому испытуемому перед просмотром видеоклипов было проведено характерологическое тестирование по методике Смирнова «Исследование психологической структуры темперамента», а также анкетирование по методу Шмишека-Леонгарда «Акцентуации характера и темперамента».

Для тестирования разработанного интегрального показателя использовали экзаменационную выборку, состоящую из 50 испытуемых (средний возраст (25 ± 4) лет, 23 мужчины, 27 женщин).

Задачи исследования определили выбор комплекса методов сравнительного анализа: дисперсионный, дискриминантный, кластерный, корреляционный. Статистический анализ выполняли с использованием пакета Statistica 10. Во всех процедурах статистического анализа рассчитывали достигнутый уровень значимости $p < 0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение

На первом этапе исследований проводили стандартизацию данных для исключения влияния размерности и диапазона изменений исследованных показателей. С помощью критерия Колмогорова-Смирнова осуществляли проверку нормального распределения признаков. Из дальнейшего анализа был исключен показатель «Маски», который является категориальной переменной.

На следующем шаге сравнивали средние значения показателей выборок массива на разных этапах исследования. Группирующим фактором были этапы исследования (N), соответствующие исходному состоянию (*фон*) и предъявляемым видеоклипам сильной положительной (*полож.*), отрицательной (*негат.*) и нейтральной эмоциональной окраски (*нейтр.*).

Для дальнейшего анализа с помощью процедуры MANOVA необходимо гарантировать однородность дисперсий переменных в группах.

Результаты однофакторного дисперсионного анализа показали статистически значимое влияние группирующего фактора ($p < 0,001$). Процедура определения наиболее информативных показателей, которые характеризуют эмоциональное состояние операторов, состояла в отборе показателей, имеющих статистически значимые различия средних значений на разных этапах исследования. Показано, что межгрупповая изменчивость была значимо больше внутргрупповой вариации для показателей САН, Градусник, HR, *Average x*, *SI*, *LF*, *MF* ($p < 0,001$).

Установлено также, что тестовые воздействия более всего повлияли на показатели самооценки: Градусник (влиянием фактора объясняется 30,6 % дисперсии) и САН (21,4 %). Для каждого из показателей ВРС (*Average x*, *SI*, *LF*, *MF*) величину эффекта влияния можно оценить как среднюю (7–8 %). Изменения каждого из этих показателей ВРС под воздействием просмотра видеоклипов сопоставимы по величине, а суммарный эффект влияния просмотра видеоклипов на показатели ВРС можно оценить, как значительный (более 20 %).

Для детализации выявленных общих различий в средних значениях показателей на всех этапах исследования был проведен апостериорный анализ, который дал возможность выяснить, на каких именно этапах и какие показатели различаются.

Проводили сравнение средних значений каждого из набора шести информативных показателей по вариантам парного сопоставления этапов исследования.

Установлено, что существуют высоко значимые различия показателя САН между этапом «отрицательный видеоклип» и всеми другими этапами. Среднее значение этого показателя значимо ниже ($p < 0,01$) при отрицательном стимуле, чем при положительном видеоклипе. В исходном состоянии и при нейтральном стимуле уровни САН не отличаются.

Парные сравнения средних значений показателя самооценки Градусник свидетельствуют о значимых различиях ($p < 0,01$) на всех этапах, за исключением исходного состояния и при нейтральном стимуле.

Показатель среднего значения RR интервалов высоко значимо ($p < 0,01$) отличается между парами: с одной стороны — исходное состояние, с другой — сильно эмоционально окрашенные видеоклипы. Недостоверны различия пар: положительный-отрицательный видеоклип, исходное состояние-нейтральный видеоклип.

Для показателя SI значимы различия ($p < 0,005$) между парой исходное состояние-положительный стимул (индекс выше при положительном стимуле).

Среднее значение показателя LF значимо выше ($p < 0,005$) при положительном стимуле, чем в исходном состоянии и при просмотре нейтрального видеоклипа.

Средние значения показателя MF на всех этапах исследования высоко значимо отличаются от среднего в исходном состоянии ($p < 0,005$). Не достоверны различия между средними значениями MF при отрицательном и положительном стимулах.

В таблице 1 приведены средние значения и стандартные отклонения показателей самооценки и ВРС, значимо отличающихся на разных этапах исследования.

На рисунках 1–2 представлены средние стандартизованные значения информативных показателей на разных этапах исследования, полученные в результате проведения однофакторного дисперсионного анализа.

Показатель САН, представляющий собой суммарную оценку самочувствия, активности и настроения, при отрицательно окрашенном видеоклипе значительно меньше, чем на всех других этапах. Уровень показателя самооценки «Градусник» при просмотре положительно окрашенного видеоклипа ниже, чем при отрицательно окрашенном видеостимуле. Необходимо отметить, что шкала теста Градусник устроена так, что увеличению абсолютного значения этого показателя соответствует большая выраженность соответствующего эмоционального состояния.

Таким образом, с помощью показателей самооценки эмоционального состояния можно хорошо различить субъективную реакцию операторов на тестовые положительно и отрицательно окрашенные видеоклипы. Не достоверны различия самооценок в исходном состоянии и при нейтрально окрашенном видеоклипе.

Информативными для выявления объективной реакции операторов на видео стимулы различной эмоциональной окраски являются изменения показателей ВРС: среднее значение длительности RR интервалов (ЧСС), индекс напряжения (SI), мощность спектра в длинном диапазоне (LF), мощность спектра в среднем диапазоне (MF). Реакция на

Таблица 1

Средние и стандартные отклонения информативных показателей в исходном состоянии и при предъявлении видео стимулов, $M \pm m$

Показатель	Этап исследования (N)			
	исходное состояние	положительные эмоции	негативные эмоции	нейтральные эмоции
САН, у. е.	5,38 ± 0,73	5,41 ± 0,90	4,37 ± 1,10	5,43±0,6
Градусник, у. е.	43,70 ± 16,23	32,70 ± 14,05	62,90 ± 22,20	43,0±12,58
HR, уд/мин	83,62 ± 10,70	75,70 ± 8,60	76,40 ± 9,30	79,70 ± 10,20
Average x, мс	0,743 ± 0,090	0,809 ± 0,090	0,804 ± 0,103	0,770 ± 0,104
SI, у. е.	120,00 ± 102,80	67,10 ± 56,10	74,50 ± 54,48	97,00 ± 71,90
LF, Гц	1256,1 ± 766,3	2127,9 ± 1620,4	1702,7 ± 1436,1	1278,2 ± 906,3
M, Гц	0,061 ± 0,030	0,043 ± 0,021	0,041 ± 0,023	0,046 ± 0,019

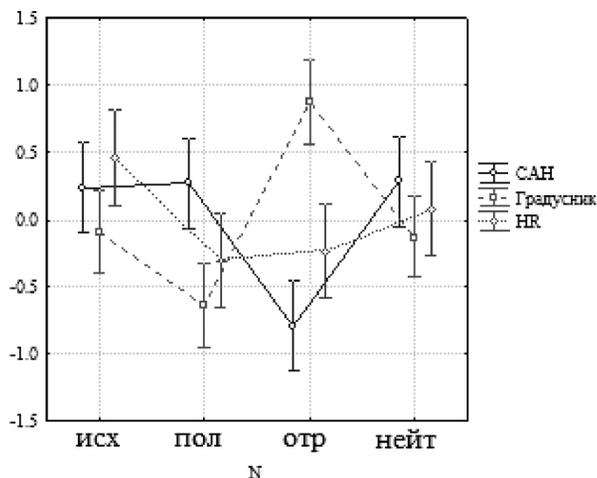


Рис. 1. Средние значения самооценки эмоционального состояния (CAH, Градусник) и частоты сердечных сокращений (HR)

видео стимулы сильной (положительной и отрицательной) окраски проявляется в увеличении среднего значения RR интервалов, снижении *SI*, уменьшении *MF* и увеличении *LF* (рис. 2). Отметим, что сдвиги показателей ВРС более выражены при просмотре положительно окрашенного видеоклипа.

Дополнительно проведен уточняющий анализ различий переменных Градусник и *SI*, для которых нарушено условие однородности групповых дисперсий. Для этого применяли непараметрические тесты сравнения.

Результат применения теста Краскела-Уоллиса ($p < 0,001$) для показателя Градусник подтверждает ранее сделанный вывод о различиях этого показателя на всех этапах исследования, кроме этапов фонового состояния и нейтрально окрашенного видеоклипа.

Для проверки различий между различными этапами исследования использовали критерий тест Манна-Уитни для показателей Градусник и *SI*. Здесь необходимо отметить, что результаты этого теста также подтверждают достоверное уменьшение ($p < 0,05$) степени напряжения (*SI*) при просмотре положительного видеоклипа, подтвердились также выводы относительно показателя самооценки Градусник.

Данный анализ показал, что источником общей изменчивости является варибельность показателей каждого из операторов на разных этапах исследования. Поэтому необходимо исследовать отдельное влияние этих двух факторов: индивидуального (*nom*) и фактора эмоционально окрашенных стимулов (*N*).

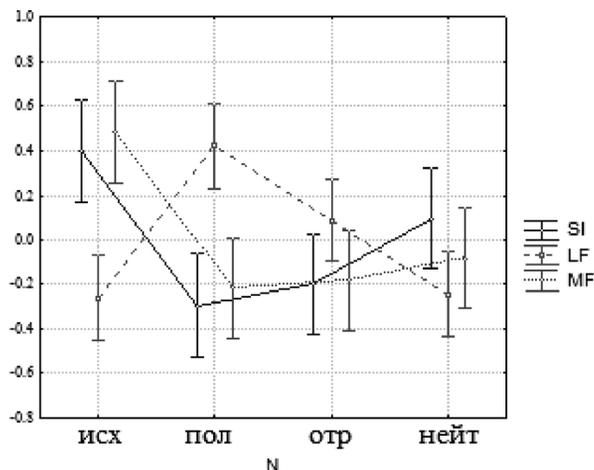


Рис. 2. Изменения средних значений показателей *SI*, *LF*, *MF* на разных этапах исследования

При помощи двукторного дисперсионного анализа проверяли гипотезу о различиях средних по двум указанным группирующим факторам. Предполагали независимость анализируемых факторов. Установлено, что вариативность, обусловленная фактором предъявления видеоклипов, и индивидуальные различия между испытуемыми являются более выраженными, чем случайные различия. Кроме того, различия средних значений шести информативных показателей по группирующему фактору *nom* значительно больше ($W_{nom} = 0,0020$, $p < 0,001$), чем различие по фактору *N* ($W_N = 0,149$, $p < 0,001$). Влияние фактора «просмотр видеоклипов» на изменчивость информативных показателей составляет 44 % от общей дисперсии. Эффект индивидуальных различий составляет 65 % варибельности, обусловленной неучтенными факторами. Иными словами, средние значения индивидуальных показателей больше отличаются между собой, чем средние значения всей группы операторов на разных этапах исследования. Это указывает на неоднородность группы из 29 операторов и необходимость выделить типологические группы.

Для этого был применен пошаговый дискриминантный анализ. Цель применения этого вида анализа — найти линейные комбинации признаков (дискриминантные функции), по которым можно с высокой вероятностью сказать к какой группировке (исход, положительный, отрицательный, нейтральный) принадлежит каждый объект.

Условия выбора наиболее разделяющих показателей при пошаговом отборе: вперед на значение

критерия Фишера — для включения переменной $F > 2,5$; для исключения $F < 0,01$. Предварительно исключали избыточные переменные с низкой толерантностью (мера мультиколлинеарности), которая определяется как $toler = 1 - R_i^2$, где R_i — коэффициент множественной корреляции i -ой переменной со всеми другими. Чем меньше толерантность переменной, тем меньшую дополнительную информацию она несет. Условие отбора переменных по толерантности: $toler > 0,01$. В результате было отобрано 10 переменных: САН, Градусник, *Average x*, *PNN50*, *SI*, *LF*, *SampEn*, *LSY*, *ND*, *F3n*.

В таблице 2 представлена матрица классификации 4 состояний операторов в ходе исследования, где для каждого этапа указаны: процент правильно классифицированных наблюдений, их число, в скобках индивидуальные номера оператора в случае ошибки распознавания эмоционального состояния.

На рисунке 3 представлена диаграмма рассеяния значений канонических дискриминантных функций каждого испытуемого. Метками обозначены группы, соответствующие разным состояниям операторов или этапам исследования. Как видно из рисунка 3, все 4 группировки состояний достаточно хорошо разделяются, особенно велико расстояние между исходным состоянием и состоянием при просмотре отрицательного видеоклипа, немногим меньше — между исходным состоянием и состоянием при просмотре положительно видеоклипа.

Различия средних значений трех дискриминантных функций высоко значимы. В качестве статистики критерия значимости канонической корреляции использовали тест Лямбда Уилкса. Практически все различия между состояниями (81,3 % изменчивости) определяются двумя дискриминантными функциями. У первой дискриминантной функции (F1) самое низкое значение Лямбда Уилкса (0,0312), что свидетельствует о ее наибольшей разделяющей способности.

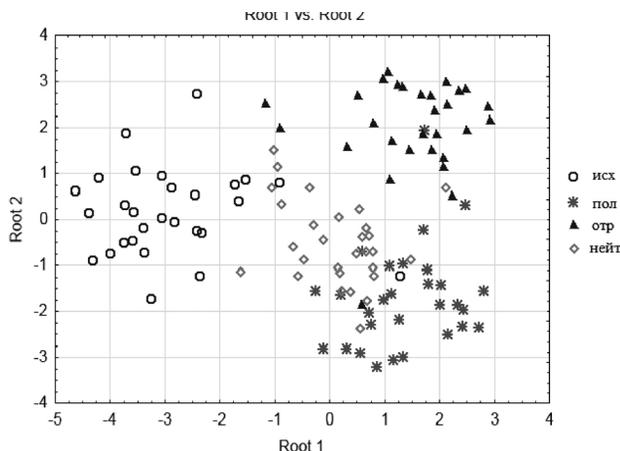


Рис. 3. Скатерограмма значений канонических дискриминантных функций для каждого испытуемого на разных этапах исследования

Если из набора 10 показателей исключить субъективные показатели самооценки эмоционального состояния САН и Градусник, то результаты классификации этапов исследования несколько ухудшились, но по-прежнему остаются высокими (табл. 3).

Интересно отметить, что дискриминантный анализ, проведенный при использовании только 2 показателей самооценки (САН и Градусник), показал правильную классификацию для положительного стимула в 82,7 % случаев и отрицательного — 86,2 %, а для исходного состояния и при просмотре нейтрального видеоклипа точность классификации оказалась низкой (27,5 % и 59,5 % соответственно).

Результаты классификации по информативным показателям ВРС (без учета показателей самооценки) при разных парных вариантах сравнений: исходного состояния и просмотра тестовых видеоклипов, а также при попарном сравнении разных этапов исследования представлены в таблице 4.

Анализируя таблицу 4, отметим, что получена высокая точность классификации в разделении

Таблица 2

Матрица классификации при использовании показателей самооценки и variability ритма сердца

Этап исследования (N)	Точность классификации, %	Этап исследования N (количество классифицированных объектов)			
		исходное состояние	положительный	отрицательный	нейтральный
Исходное состояние	96,55	28	1	0	0
Положительный	96,55	0	28	1	0
Отрицательный	96,55	0	1	28	0
Нейтральный	93,10	1	1	0	27
Итого	95,68	29	31	29	27

Таблиця 3

Матрица классификации при использовании 9 показателей вариабельности ритма сердца

Этап исследования (N)	Точность классификации, %	Этап исследования (количество классифицированных объектов)			
		исходное состояние	положительный	отрицательный	нейтральный
Исходное состояние	93,10	27	0	1	1
Положительный	82,75	0	24	5	0
Отрицательный	62,07	0	7	18	4
Нейтральный	82,75	0	0	5	24
Итого	80,17	27	31	29	29

исходного состояния – 96,5 % и просмотра положительного видеоклипа – 100 % при помощи только показателей ВРС.

Кроме того, при сравнении эмоциональных реакций на положительный и отрицательный видеоклипы достигнутая результативность (79,3 % и 82,7 % соответственно) лишь немногим ниже по сравнению с точностью классификации этих реакций (82,7 %, 86,2 %) только по показателям самооценки САН, Градусник. Это подтверждает возможность распознавания реакции операторов на эмоционально окрашенные тестовые стимулы (видеоклипы) по набору информативных показателей ВРС. Необходимо отметить, что вклады почти всех показателей соизмеримы между собой, но для распознавания разных типов стимула (положительный, отрицательный, нейтральный) значимы разные комбинации из этого набора. В таблице 4 показатели ВРС приведены в порядке уменьшения разделяющей способности.

Управление психической нагрузкой является наиболее важной задачей при создании современных автоматизированных рабочих мест человека-оператора. В этой связи имеет смысл четко определить понятие «психическая нагрузка». Несмотря на широкий спектр использования, на сегодняшний день не существует общепринятого определения термина «психическая нагрузка» [20]. Согласно опубликованному в 1991 году стандарту Международной организации по стандартизации психическая нагрузка относится к рабочему окружению и характеризуется комплексом факторов, воздействующим на индивида в процессе деятельности: содержание задачи, технические средства (оборудование, автоматика), физические и социальные условия. Психическая нагрузка вызывает психическое напряжение [21]. В свою очередь в психическом напряжении выделяют когнитивную состав-

ляющую (обусловленную объективным содержанием задачи, например, числом контролируемых параметров) [22] и эмоциональную (отражает вероятность ошибочного действия, значимость последствий ошибки и результата деятельности для индивида) [23]. Таким образом, очевидно, что без оценки эмоционального отклика на предъявляемые задачи, невозможно адекватно оценить степень психического напряжения. В исследовании проводили сравнительный статистический анализ влияния просмотра видеоклипов на изменение показателей ВРС и показателей самооценки эмоционального состояния. Выделен ряд наиболее информативных для диагностики эмоционального состояния параметров ВРС.

Изменения групповых средних каждого из этих показателей ВРС превышают 6 %, а характер совместных изменений показателей делает различия в реакции на эмоционально окрашенные тестовые стимулы очевидными.

Среди указанных параметров, прежде всего, следует отметить такой легко контролируемый показатель, как частота сердечных сокращений, которая уменьшается во время просмотра эмоционально окрашенных клипов (в то время, как во время просмотра нейтрального клипа она достоверно не изменяется). Такой эффект был зарегистрирован при просмотре клипов обоих знаков. По нашему мнению, причиной этого феномена является активация парасимпатической нервной системы вследствие концентрации внимания на происходящем на экране. Подобный эффект был описан ранее в работе [24]. Интересно, что, несмотря на удлинение среднего интервала RR, отмечали уменьшение ВРС, а именно SDNN, что свидетельствует об увеличении активности именно высших, корковых, уровней регуляции, парадоксальным образом сочетающегося с активацией парасимпатического отдела ВНС.

Таблиця 4

Точность классификации при сравнении этапов исследования по показателям variability ритма сердца

Исходное состояние	Исходное состояние		Исходное состояние		Исходное состояние		Положительный		Положительный		Отрицательный	
	Положительный	Отрицательный	Исходное состояние	Отрицательный	Исходное состояние	Отрицательный	Положительный	Отрицательный	Положительный	Отрицательный	Положительный	Отрицательный
Исходное состояние	96,5%	96,5%	96,5%	96,5%	96,5%	96,5%	96,5%	96,5%	79,3%	96,5%	96,5%	86,2%
Положительный и отрицательный	97,7%	100%	93,1%	отрицательный	отрицательный	отрицательный	отрицательный	отрицательный	82,7%	96,5%	96,5%	89,7%
Информативные показатели												
<i>Average x</i> <i>ND</i> <i>SampEn</i> <i>SI</i> <i>LF</i>	<i>Average x</i> <i>PNN50</i> <i>SI</i> <i>LF</i> <i>SampEn</i> <i>LSY</i> <i>ND</i> <i>F3n</i>	<i>Average x</i> <i>ND</i> <i>SampEn</i>	<i>Average x</i> <i>ND</i> <i>SampEn</i> <i>SI</i> <i>LF</i> <i>LSY</i>	<i>LF</i> <i>SI</i> <i>SampEn</i> <i>ND</i> <i>Average x</i> <i>F3n</i>	<i>LF</i> <i>Average x</i> <i>SampEn</i> <i>LSY</i> <i>PNN50</i> <i>F3n</i> <i>SI</i>	<i>LSY</i> <i>Average x</i> <i>ND</i> <i>PNN50</i> <i>SI</i>						

Целесообразно отметить, что кажущаяся парадоксальной на первый взгляд реакция снижения ЧСС на просмотр эмоционально окрашенных клипов, согласуется с результатами Gross, Levenson, полученными еще в 1997 году [25]. Авторы изучали проявление эмоций, вызванных показом фильмов разной эмоциональной окраски (веселого, грустного, нейтрального). Один из полученных результатов заключался в том, что объективная эмоциональная реакция на все три фильма проявлялась в увеличении интервала между сердцебиениями, но для нейтрального фильма в меньшей степени, чем для остальных.

В то же время в большом количестве исследований, в том числе и в собственных [26], показано, что психологический стресс, имеющий эмоциональную составляющую, например, выступление перед публикой, вызывает не уменьшение, а увеличение ЧСС.

В этой связи важно отметить, что стресс и эмоциональный отклик, которые в литературе часто не разделяются, не тождественны друг другу. Вероятно стрессовая ситуация, связанная с необходимостью активных действий испытуемого, вызывает значительно большее психическое напряжение, чем пассивное переживание, вызванное просмотром видеоклипа. Соответственно и механизмы адаптации в этих ситуациях, по-видимому, различаются. При «пассивном» просмотре видеоклипа задействуется лишь хронотропный механизм, проявляющийся в изменении частоты сердечных сокращений и variability сердечного ритма. В условиях развития стресса, спровоцированного, например, публичным выступлением, включается также и инотропный механизм, связанный с изменением силы сердечных сокращений, косвенным проявлением чего является тонкое изменение формы отдельных элементов электрокардиограммы.

Отсутствие сильных линейных корреляционных связей объективной и субъективной составляющих реакции может быть объяснено зависимостью самооценок от неучтенных факторов (производственные, социальные, культурные, личностные особенности), которые определяют неоднородность эмоционального отклика. Так, например, недавно была выявлена зависимость некоторых аспектов субъективной и объективной реакции человека на стимулы, вызывающие чувство страха, от его политических убеждений (именно, от склонности поддерживать либеральные или консервативные ценности) [27].

Влияние этих факторов станет предметом изучения в дальнейших работах.

Выводы

Анализ параметров ВРС дает возможность с высокой достоверностью определять эмоциональное состояние обследуемого, в том числе непо-

средственно на рабочем месте. Различные эмоциональные состояния, вызванные просмотром эмоционально окрашенных видеоклипов, вызывают достоверное замедление частоты сердечных сокращений, снижение индекса напряжения, увеличение модуляции сердечного ритма, которое проявляется в перераспределении мощности его спектра.

Литература

1. Payne E. F. Definition of emotions / Payne E. F. // Journal of BEM. – 2003. – V. 4, № 3. – P. 38–43.
2. Анализ variability сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем / Баевский Р. М., Иванов Г. Г., Чирейкин Л. В. [и др.] // Вестник аритмологии. – 2001. – № 24. – С. 65–87.
3. The effects of emotions on short term heart rate variability using power spectrum analysis / McCraty R., Atkinson M., Tiller W. [et al.] // American Journal of Cardiology. – 1995. – № 76. – P. 1089–1093.
4. Lyonfields J. D. Vagal tone in generalized anxiety disorder and the effects of aversive imagery and worrisome thinking / Lyonfields J. D., Borkovec T. D., Thayer J. F. // Behavior Therapy. – 1995. – V. 26. – № 3. – P. 457–466.
5. The effect of mental stress on heart rate variability and blood pressure during computer work / Hjortskov N., Rissen D., Blangsted A. K. [et al.] // Eur. J. Appl. Physiol. – 2004. – V. 92. – № 1–2. – P. 84–89.
6. McCraty R. Emotional Stress, Positive Emotions, and Psychophysiological Coherence / McCraty R. // Stress in Health and Disease. – Wiley-VCH, Weinheim. – 2006. – P. 2–30.
7. Basic Emotions Are Associated with Distinct Patterns of Cardiorespiratory Activity / Rainville P., Bechara A., Naqvi N., Damasio A. // International Journal of Psychophysiology. – 2006. – V. 61. – № 1. – P. 5–18.
8. Машин В. А. Классификация функциональных состояний и диагностика психоэмоциональной устойчивости на основе факторной структуры показателей variability сердечного ритма / Машин В. А., Машина М. Н. // Росс. физиол. ж. им. И. М. Сеченова. – 2004. – Т. 90, № 12. – С. 1508–1521.
9. An affective computing approach to physiological emotion specificity: Towards subject-independent and stimulus-independent classification of film-induced emotions / Kolodyazhnyi V., Kreibig S., Roth W. [et al.] // Psychophysiology. – 2011. – V. 48. – P. 908–922.
10. Kreibig S. D. Autonomic nervous system activity in emotion: A review / Kreibig S. D. // Biological Psychology. – 2010. – V. 84. – P. 394–421.
11. Influence of Mental Stress on Heart Rate and Heart Rate Variability / Taelman J., Vandeput S., Spaepen A., Van Huffel S. // 4th European Conference of the International Federation for Medical and Biological Engineering. IFMBE Proceedings. – 2009. – V. 22. – P. 1366–1369.
12. Stroud L. Sex differences in stress responses: social rejection versus achievement stress / Stroud L., Salovey P., Epel E. // Biol Psychol. – 2002. – V. 52. – P. 318–327.
13. Appelhans B. M. Heart rate variability an index of regulated emotional responding / Appelhans B. M., Luecken L. J. // Rev. Gen. Psychol. – 2006. – № 10. – P. 229–240.
14. A meta-analysis of heart rate variability and neuroimaging studies: Implications for heart rate variability as a marker of stress and health / Thayer J., Ahs F., Fredrikson M. [et al.] // Neuroscience Biobehav. Rev. – 2012. – V. 36. – P. 747–756.
15. База верифицированных видеоклипов [Электронный ресурс] / Режим доступа <http://www.ipsp.ucl.ac.be/recherche/FilmStim/>
16. Ильин Е. П. Психофизиология состояний человека / Е. П. Ильин. – Санкт-Петербург : Питер, 2005. – 412 с.
17. Можливості аналізу variability ритму серця в діагностиці емоційного стану людини / Чайковський І. А., Кальниць В. В., Єна Т. А. [та ін.] // Медична інформатика та інженерія. – 2011. – № 1. – С. 57–62.
18. Многомерный статистический анализ объективной и субъективной составляющей реакции на эмоциональное воздействие: методические аспекты / Кальниць В. В., Чайковский И. А., Кривова О. А. [и др.] // Клиническая информатика и телемедицина. – 2013. – № 10. – С. 175–76.
19. Cohen J. Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences / J. Cohen. (2nd ed.). – Hillsdale, NJ : Erlbaum, 1988. – P.596.
20. Машин В. А. Психическая нагрузка, психическое напряжение и функциональное состояние операторов систем управления / Машин В. А. // Вопросы психологии. – 2007. – № 6. – С. 86–96.
21. Международный стандарт ISO 10075-1:1991. Эргономические принципы, относящиеся к нагрузке при умственной деятельности: Общие термины и их определения [Электронный ресурс] / Режим доступа

http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=18045

22. Kramer A. F. Physiological metrics of mental workload: A review of recent progress: Damos D. L. (Ed.) Multiple-Task performance / A. F. Kramer. – London: Taylor and Francis, 1991. – P. 279–328.

23. Myrtek M. Validation studies of emotional, mental and physical workload components in the field: Fahrenberg J., Myrtek M. (Eds.) Ambulatory assessment. Computer-assisted psychological and psychophysiological methods in monitoring and field studies / M. Myrtek, G. Brugner, W. Muller. – Seattle, WA: Hogrefe & Huber, 1996. – P. 287–304.

24. Richards J. E. Heart rate variability during attention phases in young infants / Richards J. E., Casey B. J. // Psychophysiology. – 2001. – № 6. – С. 86–96.

25. Gross J. Hiding Feelings: The Acute Effects of Inhibiting Negative and Positive Emotion / Gross J., Levenson R. // Journal of Abnormal Psychology. – 1997. – V. 106, № 1. – P. 95–103.

26. Chaikovsky I. Intraindividual variability of T-wave shape on electrocardiogram as indicator of stress / Chaikovsky I. // Proc. of 33-rd international congress on electrocardiology (Köln, Germany). – 2006. – 28 p.

27. Political Attitudes Vary with Physiological Traits / Oxley D. R., Smith K. B., Alford J. R. [et. al.] // Science. – 2008. – V. 321. – P. 1667–1670.

**Чайковський І. А.¹, Кальниш В. В.², Кривова О. А.³, Козак Л. М.²,
Вировий Ю. С.¹, Фролов Ю. О.¹**

ОЦІНКА ПСИХІЧНОЇ НАПРУГИ ОПЕРАТОРА НА ЕМОЦІЙНО СУТТЄВІ СИТУАЦІЇ

¹Інститут кібернетики імені В. М. Глушкова НАН України, м.Київ

²ДУ «Інститут медицини праці НАМН України», м. Київ

³Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій і систем НАН та МОН України, м. Київ

Вступ. Дослідження варіабельності ритму серця (ВРС) має важливе значення не тільки для оцінки функціонального стану організму, але для діагностики емоційних реакцій. Проблемним питанням лишається відсутність однозначної відповідності між змінами показників ВРС та емоційних реакцій. До того ж у науковій практиці аналізу ВРС немає спільного погляду щодо переліку показників-індикаторів ВРС, рекомендованих для класифікації та розпізнавання емоційних реакцій.

Мета дослідження. Визначити набір інформативних показників ВРС, які можуть використовуватися як об'єктивний критерій оцінки емоційної реакції операторів (на емоційно забарвлені відеокліпи).

Матеріали та методи дослідження. Для аналізу суб'єктивної складової емоційних реакцій операторів (29) на три тестові відеокліпи (позитивний, негативний, нейтральний з бази даних FilmStim) було застосовано психофізіологічні методики. Об'єктивну складову досліджували за допомогою ЕКГ-моніторингу за розрахунками 48 показників ВРС, отриманих часовим, спектральним, а також геометричним та нелінійним методами аналізу. Статистичний аналіз проводили з використанням пакета STATISTICA 10. Для аналізу впливу відеокліпів на досліджувані показники застосували багатомірний дисперсійний аналіз (MANOVA).

Результати. За результатами MANOVA та апостеріорними порівняннями виявлено, що два показники психофізіологічних тестів та показники ВРС (середній RR інтервал, *SI*, *LF*, *MF*) були статистично значущими ($U\lambda$ Λ = 0,525, $F = 4306$, $p < 0,001$), оцінка впливу фактора $\eta^2 = 0,22$. Для змінних з негаусовим розподілом (*Si*, *LF*) результати перевіряли за критеріями Тест Манна-Уїтні. Поетапний дискримінантний аналіз проводили для виявлення інформативного набору ознак, які призводять до підвищення ефективності класифікації емоційних реакцій. У цілому середня точність класифікації 4 станів операторів досягала 95,68 %.

Висновки. Розроблено методику статистичного аналізу суб'єктивних та об'єктивних компонентів реакції операторів на стимули різної емоційної забарвленості. Методика включає застосування багатовимірних методів: дисперсійного та лінійного дискримінантного аналізу. Було показано, що показники ВРС (середнє значення RR інтервалів, індекс напруження регуляторних систем, потужність спектра в середньому та довгому діапазоні) та деякі інші показники геометричного та нелінійних методів аналізу ритму серця (*pNN50*, *ND*, *SampEn*, *LSY*) можна обґрунтовано вважати фізіологічними маркерами емоційних реакцій. Аналіз ВРС дає можливість з високою вірогідністю визначати емоційний стан обстежуваного.

Ключові слова: варіабельність серцевого ритму, емоційно суттєві ситуації, дисперсійний аналіз, лінійний дискримінантний аналіз

Chaikovskiy I. A.¹, Kalnysh V. V.², Krivova O. A.³, Kozak L. M.³, Vyrovoy Y. S.¹, Frolov Y. A.¹

ASSESSMENT OF MENTAL TENSION TO EMOTIONALLY SIGNIFICANT SITUATIONS IN OPERATORS

¹Glushkov Institute of Cybernetics, Kyiv

²SI «Institute for occupational health of NAMS of Ukraine», Kyiv

³IRTC IT a S of NAS of Ukraine, Kyiv

Introduction. Heart rate variability (HRV) research is of great importance not only for assessment of the functional state of the body, but also for diagnostics of emotional reactions. The lack of a unique relation between changes of HRV indices and emotional reactions remains to be a great problem. Furthermore, in the practice of HRV analysis there is no consensus in respect of the list of HR indices, recommended for classifying and identification of emotional reactions.

Purpose of the study. To identify a set of informative HRV indices to be used as an objective criterion for assessment of emotional reactions in operators (on emotionally significant video clips).

Materials and methods. In order to analyze a subjective component of emotional reactions in operators (29 persons) on three test video (positive, negative, and neutral from the FilmStim database) there have been used psychophysiological methods. The objective component was studied using ECG-monitoring with 48 indices of HRV, obtained by hourly, spectral, geometric and nonlinear methods of analysis. Statistical analyses were performed using a statistical software package STATISTICA 10. The multivariate analysis of variance (MANOVA) was used to analyze the effect of video clips.

Results. The data were explored to meet the assumptions for using MANOVA. One-way MANOVA revealed that 6 indicators of emotional reactions (2 self-report measures and 4 HRV measures *HR*, *SI*, *LF*, *MF*) were statistically significant (Wilks' Lambda = 0,525, F = 4,306, p < 0,001) with effect size of eta² = 0,22. We analyzed these 6 informative indicators, using different post-hoc univariate F test for between-stimuli comparison. Also, Mann-Whitney U test and Kruskal-Wallis H-test were used for variables (*SI*, *LF*) with non-Gaussian distribution. Stepwise linear discriminant analysis was performed to identify a new informative feature set, consisting of the most significant indicators for improving the classification of emotional reactions. The total average classification accuracy of 4 states in operators achieved 95,68 %.

Conclusions. In the present study it has been developed a method of statistical analysis of subjective and objective components of operators' reaction on different emotional modality stimuli. The method covers: descriptive, multivariate analysis of variance, linear discriminant analysis. It was shown that indices of HRV (HR, average R-R intervals, *SI*, *LF*, *MF*) and some others (PNN50, ND, SampEn, LXS) can be reasonably considered as physiological markers for measurement of emotional reactions.

Key words: heart rate variability, emotionally significant situations, emotional reaction, MANOVA, linear discriminant analysis

References

1. Payne, E. F. 2003, «Definition of emotions», Journal of BEM, V. 4, no. 3, pp. 38–43.
2. Bayevskiy, R. M., Ivanov, G. G. Chireikin, L. V. 2001, «Analysis of heart rate variability in the use of different electric cardiac systems», Vestnik aritmologii, no. 24, pp. 65–87 (in Russian).
3. McCraty, R., Atkinson, M., Tiller, W. [et al.] 1995, «The effects of emotions on short term heart rate variability using power spectrum analysis», American Journal of Cardiology, no. 6, pp. 1089–1093.
4. Lyonfields, J. D., Borkovec, T. D., Thayer, J. F. 1995, «Vagal tone in generalized anxiety disorder and the effects of aversive imagery and worrisome thinking», Behavior Therapy, v. 26, no. 3, pp. 457–466.
5. Hjortskov, N., Rissen, D., Blangsted, A. K. [et al.] 2004, «The effect of mental stress on heart rate variability and blood pressure during computer work», Eur. J. Appl. Physiol., v. 92, no. 1–2, pp. 84–89.
6. McCraty, R. 2006, «Emotional stress, positive emotions, and psychophysiological coherence», Stress in Health and Disease. Wiley-VCH, Weinheim, pp. 2–30.
7. Rainville, P., Bechara, A., Naqvi, N., Damasio, A. 2006, «Basic emotions are associated with distinct patterns of cardiorespiratory activity», International Journal of Psychophysiology, v. 61, no. 1, pp. 5–18.
8. Mashin, V. A., Mashina, M. N. 2004, «Classification of the functional states and diagnostics of psychoemotional stability on the basis of the factorial indices of the heart rate variability», Ross. fiziol. J. im. I. M. Sechenova, v. 90, no. 12, pp. 1508–1521 (in Russian).
9. Kolodyazhnyi, V., Kreibig, S., Roth, W. [et al.] 2011, «An affective computing approach to physiological emotion specificity: Towards subject-independent and stimulus-independent classification of film-induced emotions», Psychophysiology, v. 48, pp. 908–922.
10. Kreibig, S. D. 2010, «Autonomic nervous system activity in emotion: A review», Biological Psychology, v. 84, pp. 394–421.
11. Taelman, J., Vandepuut, S., Spaepen, A., Van Huffel S. 2009, «Influence of mental stress on heart rate and heart rate variability», 4th European Conference of the International Federation for Medical and Biological Engineering», IFMBE Proceedings, v. 22, pp. 1366–1369.

12. Stroud, L., Salovey, P., Epel, E., 2002, «Sex differences in stress responses: social rejection versus achievement stress», *Biol. Psychol.*, v. 52, pp. 318–327.
13. Appelhans, B. M., Luecken, L. J. 2006, «Heart rate variability an index of regulated emotional responding», *Rev. Gen. Psychol.*, no. 10, pp. 229–240.
14. Thayer, J., Ihs F., Fredrikson, M. [et. al.], 2012, «A meta-analysis of heart rate variability and neuroimaging studies: Implications for heart rate variability as a marker of stress and health», *Neuroscience Biobehav. Rev.*, v. 36, pp. 747–756.
15. FilmStim database <http://www.ipsp.ucl.ac.be/recherche/FilmStim/>
16. Ilyin, E. P. 2005. *Psychophysiology of human states*. SPb: Piter, pp. 412 (in Russian).
17. Chaikovskiy, I. A., Kalnysh, V. V., Ena T. A., et. al. 2011, «Possibilities of analysis of heart rate variability in diagnostics of human emotional state», *Medychna informatika i inzheneriya*, no. 1, pp. 57–62 (in Ukrainian).
18. Kalnysh, V. V., Ena T. A., Chaikovskiy, I. A., Krivova O. A. et. al. 2013, «Multivariate statistical analysis of objective and subjective component in reaction to emotional exposure: methodical aspects», *Klinicheskaya informatika i meditsina*, no. 10, pp. 175–76 (in Russian).
19. Cohen, J. 1988, *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). Hillsdale, N J : Erlbaum, pp. 596.
20. Mashin, V. A., 2007, «Psychic load, psychic strain and functional state of operators of control systems», *Voprosy psikhologii*, no. 6, pp. 86–96 (in Russian).
21. International standard ISO 10075:1991 *Ergonomic principles related to mental work-load : General terms and definitions* http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm.csnumber=18045
22. Kramer, A. F. 1991, *Physiological metrics of mental workload: A review of recent progress*. Damos D. L. (Ed.) *Multiple-Task performance*. London : Taylor and Francis, pp. 279–328.
23. Myrtek, M., Brugner, G., Muller, W. 1996, *Validation studies of emotional, mental and physical workload components in the field*. Fahrenberg J., Myrtek M. (Eds.) *Ambulatory assessment. Computer-assisted psychological and psychophysiological methods in monitoring and field studies*. Seattle, WA: Hogrefe & Huber, pp. 287–304.
24. Richards, J. E., Casey, B. J. 1991, «Heart rate variability during attention phases in young infants», *Psychophysiology*, v. 28, no. 1, pp. 43–53.
25. Gross, J., Levenson, R. 1997, «Hiding Feelings: The acute effects of inhibiting negative and positive emotion», *Journal of Abnormal Psychology*, v. 106, no. 1, pp. 95–103.
26. Chaikovskiy, I. 2006, «Intraindividual variability of T-wave shape on electrocardiogram as indicator of stress», *Proc. of 33-rd International Congress on Electrocardiology*. Koln, Germany, pp. 28.
27. Oxley, D. R., Smith, K. B., Alford, J. R., Hibbing, M. V. et. al. 2008, «Political attitudes vary with physiological traits», *Science*, v. 321, pp. 1667–1670.

Поступила: 25.05.2014 г.

Контактное лицо: Чайковский И. А., Институт кибернетики имени В. М. Глушкова НАН Украины, д. 40, просп. Академика Глушкова, Киев, 03680. Тел.: + 38 0 97 414 65 82.
Электронная почта: illya.chaikovsky@gmail.com