

ПЕРСониФИЦИРОВАННОЕ ВИБРОСТИМУЛИРОВАНИЕ – ЗДОРОВЬЕ ДЛЯ ВСЕХ

Д.И. Сагайдак, канд. физ.–мат.наук, доцент

*Научно–методическое учреждение Белорусского государственного университета
«Республиканский центр проблем человека», г. Минск, Беларусь*

Разработаны и изготовлены эргономичные вибростимуляторы с кольцевыми вибротодами, обеспечивающими пространственную передачу виброэнергии в зоны тела.

Разработана и изготовлена измерительно–диагностическая аппаратура, выявлено и исследовано явление затухания и суммирования виброэнергии в зонах тела.

На основе данных вибрационной тренировки космонавтов разработаны частотные и амплитудные критерии и параметры проведения динамической общекорпоральной вибростимуляции.

Ключевые слова: *пространственная вибростимуляция, виброчастотные измерения, виброреабилитация.*

Более 100 лет тому назад, в 1914 г. на выставке в Париже демонстрировался вибромеханический имитатор лошади. Красивая модель части туловища с седлом и стременами. Никаких данных о физических характеристиках имитатора верховой выездки не было.

Впервые действие специального лечебного вибровоздействия отмечено Вольтером (XVIII в.) в его письме: «Я залез в трясучку аббата де Сен Пьера и теперь чувствую себя лучше». В России на специальном вибрационном столе под руководством В.М. Бехтерева доктор Н.Ф. Чигаев лечил нервные болезни [1].

Выдающийся авиаконструктор А.Н. Туполев в воспоминаниях о тяжелой работе во время Великой Отечественной войны в зоне заключения (сталинские «шарашки») описывает, что конструкторов ставили на напольную виброплатформу на полторы–две минуты три–

четыре раза в день, чтобы у них сохранялась умственная работоспособность. Однако достоверные вибрационные данные в доступной нам печати были опубликованы только в 1966 году доктором медицинских наук А.Я. Креймером [2].

За прошедшие пятьдесят лет по проблеме влияния вибровоздействий в производственных травмирующих, спортивно–реабилитационных и развивающих задачах опубликовано много практических рекомендаций. Мировые производители вибромеханической аппаратуры выпускают самые разнообразные средства: ручные, воротниковые и поясные стимуляторы, удобные для локального и зонального воздействия. Этот инструментарий производится в многомиллионном количестве. Кресельные релаксационные системы и закрывающиеся капсулы обеспечивают минивибровоздействия на сидящего или лежащего пациента, сопровождающиеся медитативными расслабляющими ритмами. Производится специализированное клиническое оборудование – вибротракционные кровати ориентированные на реабилитацию позвоночника и суставов тазобедренной системы.

В фитнесе, спортивной медицине и тренировочной практике сформировались устойчивые биомеханические методики, в основном использующие напольные вибромеханические устройства. Напольные вибромеханические платформы и аппараты реализуют вибровоздействия с частотами от 5 до 50 Гц и амплитудами от 2 до 10 мм. Эту аппаратуру производят США, Китай, Южная Корея, Германия, Россия. Большой популярностью пользуются аппараты общей вибрационной стимуляции «Тонус–1», «Тонус–2», «Beaute star», «Vita Vat Duo 1,2», «Vario exclusive», «Fitvibe Medical», «Body Massage».

Физиологические основы результативного использования вибромеханических воздействий на человека.

Основополагающая идея методов вибростимулирования базируется на том, что вся жизнедеятельность организма состоит и обеспечивается колебательными процессами. Инфранизкие электромагнитные колебания с ритмом 6–8 Гц как заложены в основу возникновения и эволюции всех биологических систем [3–5].

Любые внешние сигналы воспринимаются организмом через различного рода рецепторы, значительную часть которых составляют механорецепторы. Они преобразуют, перекодируют механическое воздействие в биопотенциалы, передающие информацию об энергетических и временных характеристиках раздражителя. Диапазоны частот в герцах (Гц), воспринимаемых рецепторами: механорецепторы – $1-1,5-10^5$; обонятельные рецепторы – 10^{12} ; терморепторы – $3 \times 10^{12}-8 \times 10^{14}$; фоторецепторы $10^{14}-10^{16}$. Механорецепторы, называемые тельцами Паччини, способны отвечать на любое механическое раздражение, **имеющее динамический характер**. Тельца Паччини, расположенные в коже конечностей, участвуют в формировании движений и позы человека и обладают высокой чувствительностью к вибровоздействиям [6].

В основе механизма вибровоздействия лежат сложные взаимообусловленные рефлекторные, нейрогуморальные и нейроэндокринные процессы, регулируемые центральной нервной системой. Местные реакции в зоне непосредственного воздействия вибротода не самостоятельны, а являются генерализованной реакцией организма рефлекторного характера. Ответные реакции формируются под влиянием местных и рефлекторных реакций.

Фундаментальные исследования проблем физиотерапии и вибротерапии, проводимые коллективом междисциплинарных исследователей, позволили сделать заключение, что недостатки распространенных методов вибро– и физиотерапии связаны с использованием **фиксированных частот** при постоянных и импульсных воздействиях. Физиологически действующий **биорезонанс** в соматических структурах различной антропологии и морфологии живых систем основан на **многочастотном параллельном резонансе** в клетках, миофибриллах, тканях, органах и организма в целом, то биосинтетические восстановительные процессы относительно деструктивных процессов реализуются **обертонами**, соответствующими дискретному спектру ритмов энергетического обмена клетки.

В различных публикациях за последние 40 лет перечислены практически все проблемы здоровья, которые решались с использованием вибровоздействий [1–7].

К сожалению, авторы старались не упоминать о негативных результатах и последствиях вибростимулирования. Однако негативное влияние вибрации на работников в производственных технологических процессах вынуждало к рассмотрению факторов

опасного влияния вибростимулирования в различных виброаппаратах и массажерах [3, 8, 9].

В материалах по охране труда и технике безопасности приводятся устрашающие утверждения, что колебания с частотой 3–5 Гц вызывают сосудистые расстройства и негативные реакции вестибулярного аппарата. Частоты в диапазоне 3–15 Гц создают резонансное состояние всего тела и резонансное возбуждение желудка, печени, кишечника и других внутренних органов. Диапазон частот от 11–45 Гц вызывает тошноту, рвотные позывы и ухудшение зрения. Под действием колебаний с частотами выше 45 Гц возникают поражения сосудов головного мозга и нарушения циркуляции крови [8–13]. При этом не приводятся ни амплитуды движения тела, ни время воздействия [14]. Конечно, и без конкретных частотно–амплитудных измерений утверждения о вреде вибровоздействий индивидуально правомерны при **многочасовой работе с тяжелым вибрационным инструментом**, создающим воздействие с большой амплитудой на руки и верхний плечевой пояс или на все тело работника.

Травмирующие воздействия вибромеханических явлений природного и техногенного происхождения.

Для формирования безопасных виброреабилитационных технологий и аппаратуры необходимо разобраться и учесть все, что публикуется в материалах по технике безопасности.

Вибромеханические воздействия на человека оказывают многие виды природных явлений и процессы производственной деятельности. Во всех видах транспорта, в строительных и землепроходческих работах на человека воздействует многоамплитудные высокоэнергетические частоты. Особенно выражено вибровоздействие на железнодорожном и морском транспорте, вибропроизводствах строительных конструкций и строительных проходческих работах с отбойной техникой [8–15].

Техногенные вибровоздействия провоцируют различные патологии и профессиональные заболевания, на основании которых в здравоохранении и отраслевой медицине сформировались устойчивые представления о вредоносности вибромеханических воздействий на человека. Возникновение системных патологических изменений в организме в большинстве случаев связывается с виброрезонансными раздражениями эндокринных органов, суставно–соматических областей, систем кровотока и кровоснабжения.

В таблице 1 представлены диапазоны частот, **якобы** создающие резонансное травмирующее воздействие [16]. Приведенные численные данные вызывают ряд организационно–методических вопросов. Естественно, все органы тела, перечисленные в таблице 1, у трудоспособного контингента значительно различаются по антропометрическим (геометрическим) параметрам, что безусловно является обоснованием разброса резонансных частот от 16 % до 100 %.

Таблица 1 – Резонансные частоты функционально значимых зон тела человека

Зоны тела	Резонанс частоты (Гц)	Разброс данных (%)
1. Голова	20–30	30–50
2. Глазное яблоко	40–60	30–50
3. Барабанная перепонка	1000	0
4. Плечевой пояс	4–5	20–25
5. Грудная клетка	3,5	0
6. Стенка грудной клетки	60	0
7. Предплечье	16–30	50–100
8. Кисть	1–3; 30–40	?
9. Кисть (сомкнутая)	50–200	75–300
10. Позвоночный столб (продольная нагрузка)	10–12	16–20
11. Брюшная полость	4–8	50–100
12. Ноги, согнутые в коленных суставах	от 2 Гц	?

13. Ноги выпрямленные, напряженные	до 20 Гц	?
14. Бедро стоя	8	0
15. Бедро сидя	2–8	75–300
16. Стопа сидя	10	0

Однако, **однозначные** численные данные якобы резонансных частот «барабанной перепонки уха» – 1000 Гц; «грудной клетки» – 3,5 Гц; «стенки грудной клетки» – 60 Гц; «бедро стоя» – 8 Гц; «стопа сидя» – 10 Гц, безусловно, **нереальны**. Вполне допустимо, что для органов, которые могут произвольно изменять и удерживать форму, например, кисть руки, разброс резонансных частот может достигать и 400 %.

Для выявления и понимания основополагающего первоисточника широкого диапазона резонансных частот органов тела спортсмена (пациента) необходимо рассмотреть среднегрупповые характеристики морфологических и антропометрических данных на примере борцов вольного стиля (табл. 2).

Данные, приведенные в таблице 2 показывают, что диапазон численных различий антропометрических и морфологических параметров идентичных органов спортсменов составляет от 5–7 % до 200 %. Аналогичный разброс антропометрических параметров будет характерным и для трудоспособного населения.

Поскольку физическая природа резонанса предопределяется геометрическими и вязкостно–пластическими параметрами среды, в которой распространяются механические колебания, то разброс численных значений резонансных частот, приведенный в таблице 1, в основном формируется широкими различиями антропометрических и морфологических характеристик спортсменов и трудоспособного населения.

Таблица 2 – Среднегрупповые характеристики морфологических показателей борцов вольного стиля (мужчины, весовая категория 55–60, 96–120 кг)

Показатели	55–60 кг			96–120 кг		
	x	min	max	x	min	max
Масса тела, кг	59,27	58,45	59,85	111,56	99,70	127,95
Длина тела, см	159,67	157,00	161,00	184,58	179,00	190,50
Попер. д–р дист. части плеча, см	7,37	7,20	7,50	8,14	7,50	8,80
Попер. д–р дист. части предплечья, см	5,57	5,50	5,60	6,53	6,30	6,80
Попер. д–р дист. части бедра, см	9,30	9,20	9,40	11,35	10,90	12,00
Попер. д–р дист. части голени, см	6,83	6,70	7,00	8,01	7,40	8,30
Обхват груди в спок. состоянии, см	92,77	91,00	94,30	117,81	114,20	122,50
Обхват плеча в спок. состоянии, см	30,30	30,00	30,50	40,29	37,20	45,30
Обхват предплечья, см	26,67	26,00	27,00	32,78	30,20	35,30
Обхват бедра, см	51,53	51,30	51,80	32,78	30,20	35,30
Обхват голени, см	33,97	33,80	34,20	67,23	60,40	73,60
Масса костной ткани, кг	10,12	9,90	10,23	43,86	41,30	46,50
Масса костной ткани, %	17,07	16,90	17,20	16,05	14,84	17,54
Масса мышечной ткани, кг	29,25	28,74	29,69	14,45	13,50	16,20
Масса мышечной ткани, %	49,37	49,00	49,90	51,10	44,52	57,82
Масса жировой ткани, кг	7,29	6,84	7,55	45,95	41,50	49,30
Масса жировой ткани, %	12,30	11,70	12,70	26,87	16,72	41,31

Наличие объективных значительных разбросов резонансных механических частот тела и органов является **первым фактором**, требующим широкого набора вибромеханических

частот, которые должны применяться в методах вибростимуляции для достижения реабилитационных и развивающих целей.

Разнообразная информация о негативном и патологическом влиянии механических вибропроцессов, а также расплывчатые и некорректные данные индивидуальных частотно-резонансных характеристик подтверждают **необходимость организации грамотного технического и физиологического сопровождения** любых мероприятий и процедур с использованием вибромеханических воздействий [17–20]. Измерительно-информационное сопровождение вибропроцедур должно быть оперативным и наглядным для пациента, тренера и спортивного врача; демонстрировать зональные виброэнергетические, миографические, кардиореспираторные и другие данные о состоянии пациента (спортсмена).

Общие принципы локальной вибротерапии с использованием ручных вибромеханических аппаратов.

Поскольку локальное вибростимулирование ручным аппаратом не оказывает мощных воздействий на весь организм, его может проводить самостоятельно практически любой пользователь. Ценовая доступность ручного виброинструмента делает его средством массовой физиотерапии. Кратко рассмотрим основные реабилитационные приемы.

В большинстве ручных вибростимуляторов реализована возможность создания широкого диапазона амплитудно-частотных сочетаний. Ручные виброинструменты генерируют вибрации с частотой от 3 до 200 Гц и амплитудами в пределах от 0,1 до 5–7 мм. **Изменение амплитуды вибровоздействия задается (создается) степенью и силой контакта вибротода (непосредственно вибрирующей головки) с телом пациента.**

Вибрационная стимуляция **ручными** вибромеханическими аппаратами осуществляется по лабильной или стабильной методикам. Вибротод передвигают по избранному участку медленными продольными или круговыми движениями, производя поглаживания, растирания, **равномерно** прижимая к коже его вибрирующую головку (поверхность) [21].

При стабильном методе воздействия **вибротод находится на одном участке тела 2–4 секунды**, затем его перемещают на следующий участок. В обоих случаях можно проводить как прерывистую, так и непрерывную вибрацию (соответственно, режим воздействия прерывистый или непрерывный).

Чаще всего непрерывные, с незначительной амплитудой вибрации обладают седативным, успокаивающим, расслабляющим действием, а прерывистые, с большой амплитудой – раздражающим, возбуждающим, тонизирующим действием.

Установлено, что частоты в пределах 3–40 Гц оказывают выраженное тонизирующее действие. Наибольшее повышение работоспособности конкретных мышц достигается при вибрационном воздействии с частотой 10 Гц с последующим кратковременным воздействием вибрациями в 30–40 Гц.

Необходимо отметить, что эти утверждения, несмотря на их общепринятый характер, не носят рецептурной точности, поскольку не учитывают вегетососудистых и психоэмоциональных характеристик пациента.

Для функциональной тренировки кожных рецепторов и предотвращения адаптации к вибрационному раздражению во время проведения процедуры вибрационного спортивного, а в некоторых случаях лечебного массажа и самомассажа **частоту колебаний вибратора повышают постепенно от сеанса к сеансу.**

Длительность процедуры зависит от общего состояния пациента, а также индивидуальных гиперемических или ишемических реакций его организма на вибровоздействие и **составляет в среднем в начале курса 5–8 минут**. В процессе курсового воздействия процедура стимулирования **может быть увеличена до 15 минут**. Длительное применение вибрации одинаковой частоты и интенсивности вызывает через некоторое время привыкание, а **процедура, продолжающаяся более 20 минут, приводит к утомлению.**

Общекорпоральное вибростимулирование в фитнесе, спортивной реабилитации и мобилизации.

Несмотря на доступность вибростимулирования ручными аппаратами, наиболее востребованной аппаратурой являются напольные вибросистемы. Многолетняя практика показа-

ла, что только общекорпоральная вибростимуляция активирует все биохимические системы жизнеобеспечения и развития организма.

На рисунке 1 представлены три варианта напольных вибротренажеров.



Рисунок 1 – Виброплатформа FERRUM Vibro (1. a);
Виброплатформа Grazy FitMassage (1. b);
ИППО–1 Без поручней, амплитуда колебаний 5 мм (1. c)

Виброплатформа FERRUM Vibro (рис. 1. a) позволяет пациенту (спортсмену) стоя или сидя принимать разнообразные положения на виброплощадке – вибротопе. Однако передача вибровоздействий в тело пациента при таких положениях и позах остается однозональной и неэргономичной. Никакого контроля вибропроцессов в теле и объективного контроля состояния систем жизнеобеспечения не предусмотрено.

Вариант виброплатформы Grazy FitMassage (рис. 1. b), оснащенный неподвижными опорами – держателями для рук – позволяет устойчиво регулировать вертикальное положение тела и компенсировать вибровоздействия на верхний плечевой пояс и зону головы.

Системная апробация этих виброплатформ на спортсменах выявила травмирующие воздействия на все суставы ног и тазобедренную зону. Для компенсации травмирующих ударов на колени и тазобедренные суставы спортсмен должен занимать положение полуприседа или создавать компенсаторные усилия рук при взаимодействии с держателями виброплатформы Grazy FitMassage (рис. 1. a, 1. b). Практика эксплуатации платформ такого типа показала, что использовать их эргономично можно только в сидячем положении.

Напольные вибротренажеры «назаровского» типа (рис. 1. c) с полуцилиндрической формой вибротопе обеспечивают сидящему пациенту однозональное вибростимулирование тела или конечностей. Для расширения функциональности требуются различные приспособления, из-за чего на их основе не создано эргономичных и результативных, развивающих и реабилитационных технологий.

Известные исследователи и разработчики виброаппаратуры и методов аргументировано отмечают, что многолетнее использование вибростимуляции в спортивной и реабилитационной практике не всегда обеспечивало достижение ожидаемых положительных результатов; в значительной мере это обусловлено рядом нерешенных инженерно–технических задач [17, 19, 21].

Поскольку физиологическая результативность механической вибростимуляции определяется частотно–амплитудными, векторными и аппликационными характеристиками зон тела, необходим инструментарий управления частотно–амплитудными параметрами вибростимулирования и измерения этих параметров на вибротопе и в физиологически активных зонах тела.

Анализ литературных данных об используемых в практике вибростимулирования частотах и амплитудах, а также рассчитываемых по этим данным ускорений зон тела свидетельствует о необходимости внесения существенных корректив в методики проведения вибростимуляции [20, 23]. В обширной монографии разносторонне рассмотрены варианты применения различных вибротренажеров в спортивной тренировочной практике [24]. На представителях практически всех направлений спортивной деятельности демонстрируются разнообразные положения и позы, обеспечивающие многообразное аппликационное взаимодействие вибротода с телом. В главе 1 «Механические вибрации, как объект медико-биологических исследований» приведена специализированная информация о методах отсроченного контроля результативности вибровоздействия и видеоконтроля состояния пациента. Однако на с. 47 приводится озадачивающая методическая информация: «Во всех проведенных педагогических и биологических исследованиях вибрационная нагрузка создавалась в соответствии с методом стимуляции биологической активности при частоте вибрации 30 Гц, амплитуде перемещения вибрирующего элемента 4 мм».

Декларация однозначного числового сочетания частоты и амплитуды для пациентов любых антропометрических и морфологических характеристик вступает в противоречие с физическими вибромеханическими закономерностями, которые создают резонансные мобилизующие процессы в организме.

В качестве основополагающих сочетаний амплитудно-частотных параметров вибромеханического воздействия, которое обеспечит нетравмирующее и результативное стимулирование спортсменов и пациентов, необходимо использовать тренировочные регламенты, применяемые при подготовке космонавтов [25].

Космонавтов тренируют на центрифуге, жестко придавливая к эргономичным поверхностям в двух базовых направлениях: голова → таз и грудь → спина. Ускорительные воздействия измеряются в единицах поля тяжести земли $g=9,8 \text{ м/с}^2$. Диапазон ускорений, применяемых при тренировке космонавта с различными антропометрическими и морфологическими параметрами, составлял 3–8 g в направлении голова → таз и 7–12 g в направлении грудь → спина. Необходимо понимать, что величины ускорений, прилагаемых к космонавтам, тренируют их к предельным не травмирующим воздействиям [25].

Публикуемые в спортивно-оздоровительной литературе данные об амплитудно-частотных параметрах вибростимуляции основаны только на инструкциях к виброаппаратуре и не сопровождалась ни частотными, ни амплитудно-ускорительными измерениями.

Частоты движения вибротода задаются электронными и механическими приводами и при размещении пациентов различного веса изменяются в пределах 10–30 %, отличаясь от показаний на табло «частотника». Поэтому численные значения процессов вибровоздействий в большинстве случаев далеки от реальности.

Необходимо разобраться в противоречиях между численными данными **частот, амплитуд и ускорений**, приводимых в спортивных и медицинских руководствах, и **реальными** виброэнергетическими состояниями зон тела.

Для понимания остроты проблемы мы рассчитали фактические физические значения ускорений, возникающих в диапазоне частот и амплитуд, приводимых в различных публикациях по вибростимуляции [18, 20, 24]. Эти данные физической взаимосвязи **частота – амплитуда – ускорение** представлены в таблице 3.

Рассмотрим реальные возвратно-поступательные ускорения контактной поверхности вибротода, которая колеблется с частотами от 5 до 60 Гц, приводимыми в различной методической литературе. Необходимо понимать, что передача требуемых вибровоздействий в тело является достаточно сложной технологией, решаемой корреляционными измерениями.

Поскольку при размещении пациента на вибротоде частота значительно изменяется, рассмотрим соотношения упоминаемых (декларируемых) частот с амплитудами.

Не анализируя технологические задачи формирования условий вибростимулирования, рассмотрим физические закономерности взаимосвязей ускорений поверхности вибротода, действующих на тело пациента, с частотой и амплитудой движений вибротода.

Используя предельные значения ускорения 8 g, действующего в направлении голова → таз космонавта, рассмотрим, какие соотношения частот и амплитуд формируют тождественные воздействия на реабилитационных виброплатформах.

В таблице 3 наглядно показано, что частоты от 5 до 15 Гц с амплитудами до 10 мм создают нетравмирующие эффективные ускорения. Последнее сочетание 15 Гц и 10 мм создает ускорение $88,7 \text{ м/с}^2$, что эквивалентно ускорению 9 g. Частота в 21 Гц уже с амплитудой 5 мм создает ускорение 8,8 g. Далее приводятся сочетания: 23 Гц/4 мм = 8,5 g; 27 Гц/3 мм = 8,8 g; 31 Гц/2 мм = 7,8 g; 33 Гц/2 мм = 8,6 g. Последняя **реально воспроизводимая** амплитуда вибротода в 1 мм при частоте 47 Гц создает локальное ускорение 8,9 g.

Для пациента, имитирующего взлет космонавта, лежащего на виброплатформе, диапазон предельных виброускорений 12 g формируется соотношением 17 Гц/10 мм = 11,6 g; 25 Гц/5 мм = 12,5 g; 27 Гц/4 мм = 11,7 g; 31 Гц/3 мм = 11,6 g; 39 Гц/2 мм = 12,2 g; 50 Гц/1 мм = 10,0 g.

Таблица 3 – Расчетные данные взаимосвязи частота – амплитуда – ускорение

(f, Гц)	Амплитуда в метрах (S, м)								
	0,0001	0,0003	0,0005	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,01
5	0,1	0,3	0,5	1,0	2,0	3,0	3,9	4,9	9,9
7	0,2	0,6	1,0	1,9	3,9	5,8	7,7	9,7	19,3
9	0,3	1,0	1,6	3,2	6,4	9,6	12,8	16,0	31,9
11	0,5	1,4	2,4	4,8	9,5	14,3	19,1	23,9	47,7
13	0,7	2,0	3,3	6,7	13,3	20,0	26,7	33,3	66,7
15	0,9	2,7	4,4	8,9	17,7	26,6	35,5	44,4	9,0 g
17	1,1	3,4	5,7	11,4	22,8	34,2	45,6	57,0	11,6 g
19	1,4	4,3	7,1	14,2	28,5	42,7	57,0	71,2	142,4
21	1,7	5,2	8,7	17,4	34,8	52,2	69,6	8,8 g	173,9
23	2,1	6,3	10,4	20,9	41,7	62,6	8,5 g	104,3	208,6
25	2,5	7,4	12,3	24,7	49,3	74,0	98,6	12,5 g	246,5
27	2,9	8,6	14,4	28,8	57,5	8,8 g	115,0	143,8	287,5
29	3,3	10,0	16,6	33,2	66,3	99,5	132,7	165,8	331,7
31	3,8	11,4	19,0	37,9	7,8 g	11,65 g	151,6	189,5	379,0
33	4,3	12,9	21,5	43,0	8,6 g	128,9	171,8	214,8	429,5
35	4,8	14,5	24,2	48,3	96,6	144,9	193,3	241,6	483,1
37	5,4	16,2	27,0	54,0	108,0	162,0	216,0	270,0	539,9
39	6,0	18,0	30,0	60,0	12,2 g	180,0	240,0	299,9	599,9
41	6,6	19,9	33,1	66,3	132,6	198,9	265,2	331,5	663,0
43	7,3	21,9	36,5	72,9	145,8	218,8	291,7	364,6	729,2
45	8,0	24,0	39,9	79,9	159,7	239,6	319,5	399,3	798,7
47	8,7	26,1	43,6	8,9 g	174,2	261,4	348,5	435,6	871,2
50	9,9	29,6	49,3	10,0 g	197,2	295,8	394,4	493,0	986,0
60	14,2	42,6	71,0	142,0	284,0	426,0	567,9	709,9	1419,8

Обращаем внимание, что приведенные в последнем перечне численные значения g характеризуют **состояние поверхности вибротода** и не имеют прямой корреляции с вибрационными состояниями зон тела. Реальное частотно–амплитудное состояние зон тела, естественно, зависит от жесткости взаимосвязи зон тела с вибротодом, антропоморфных характеристик и характеристик мощности механического привода виброаппаратуры.

На основании данных тренировочных результатов, полученных с космонавтами, **оптимальная активация** гемодинамики и биохимического метаболизма обеспечивается при возвратно–поступательных ускорениях приповерхностных и внутриорганных областей тела в диапазоне $3 \pm 0,5 \text{ g}$.

Из численных значений ускорений в единицах g видно, что реально воспроизводимые амплитуды виброколебаний зон тела в диапазоне от 10 до 1 мм могут использоваться с **возрастающим** диапазоном частот от 9 до 30 Гц. Вынуждающие частоты от 30 Гц и выше

могут использоваться только при микроамплитудах в диапазоне от 0,1 до 0,3 мм. Естественно, реальное, четко задаваемое и управляемое вибростимулирование в массовом применении должно ограничиваться частотой до 30 Гц.

В верхней половине таблицы 4 представлен вариант сочетаний частот и амплитуд, которые в теле пациента организуют реабилитационные и развивающие метаболические процессы с высокой вероятностью **не возникновения** травмирующих происшествий в теле пациента.

Таблица 4 – Формирование частотно–амплитудных сочетаний, создающих эргономично действующее ускорение в m/c^2 и в эквиваленте **g**.

Частота (f, Гц)	Амплитуда в метрах (S, м)								
	0,0003	0,0005	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,01	
9								31,9 m/c^2	3,25 g
13							33,3 m/c^2	3,39 g	
15						33,5 m/c^2	3,62 g		
17					34,2 m/c^2	3,48 g			
20				31,6 m/c^2	3,22 g				
21				34,8 m/c^2	3,55 g				
29			33,2 m/c^2	3,38 g					
30			35,5 m/c^2	3,62 g					
41		33,1 m/c^2	3,37 g						
50	29,5 m/c^2	3,2 g							

Обращаю внимание на треугольное поле **сочетания** частот от 9 до 50 Гц с амплитудами от 0,3 до 10 мм, которое ограничено цепочкой ускорений от 3,2 g (50 Гц/0,3 мм) 3,25 g (9 Гц/10 мм). Весь набор частот от 9 до 50 Гц будет создавать результирующе действующие ускорения, при взаимодействии с амплитудами, ограниченными цепочкой 3,2; 3,37; 3,62; 3,38; 3,55; 3,22; 3,48; 3,62; 3,39; 3,25 значений **g**.

Аппаратные средства, поддерживающие пространственную доставку вибровоздействий.

Для повышения результирующего использования вибростимулирования в медицинской и спортивной практике нами разработаны и изготовлены различные варианты аппаратных средств, поддерживающих адресную доставку вибровоздействий в зоны тела.

На рисунке 2 представлены экземпляры вибростимуляторов, оснащенных в качестве вибротода седлами для верховой выездки и кольцевыми держателями для рук. Варианты вибростимуляторов ИППО–2–1, и ИППО–2–3 оснащены кольцевыми держателями, движущимися с базовым вибротодом – седлом.

- 1 ИППО–2–1
поручни закреплены на подвижной части
тренажера
Вертикальная амплитуда колебаний
5 мм



- 2 ИППО–2–2
Неподвижные поручни



- 3 ИППО–2–3
поручни закреплены на подвижной части
тренажера. Вертикальная амплитуда из-
меняется от 1 до 8 мм с шагом в 1 мм



Рисунок 2 – Модификации используемых тренажеров

Взаимодействие рук пациента, сидящего на вибротопе с кольцевыми держателями создает условие для равномерного распределения виброчастот по всему организму до верхнего плечевого пояса.

ИППО–2–2 оснащен неподвижными держателями–опорами, выполняющими функции «шведской стенки» для подтягивания и компенсации вибровоздействий на тазобедренную зону.

На рисунке 3 демонстрируются различные варианты контакта рук с кольцевым вибротопом, помогающего активизировать или компенсировать базовые вибровоздействия на зону таза. **1** – точка транспортной активации вибродоставки.

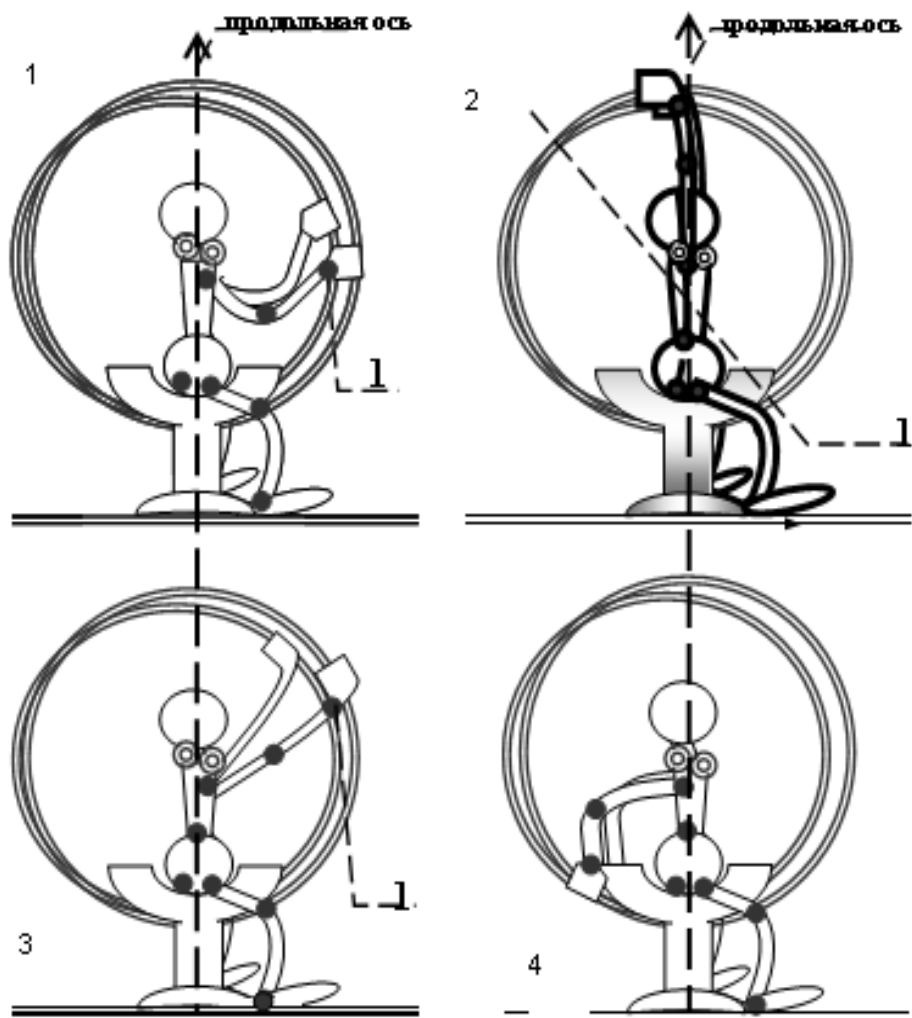


Рисунок 3 – Серию позиций, занимаемых пациентом, для адресной доставки вибровоздействий в функционально необходимые зоны тела

Максимальное вибровоздействие создается когда пациент ставит ногу на стремена. При любом расположении рук на кольцевом вибротопе возникает циркуляция фронта вынуждающей колебательной волны по зоне позвоночного столба вверх, а по абдоминальной и торакальной зонам – вниз.

О распространения и затухания виброчастот, вкачиваемых в теле пациента

Для разработки результативных вибростимулирующих методик необходимо получить достоверные данные о динамике распространения вынуждающих вибромеханических параметров в зонах тела.

В этом разделе описываются результаты, полученные на специализированном вибротренажере, оснащённом вибротопом–седлом и кольцевым держателем для рук, выполняющим функции пространственного вибротопа.

На рисунке 4 представлена макетная диаграмма затухания частот корпорального вибровоздействия. Исследование проводилось при последовательном задании **блоком управления** частот 5 Гц, 7 Гц, 11 Гц, 14 Гц, 18 Гц, с которыми **должны** были колебаться вибротоп–седло и кольцевой вибротоп. Вертикальная амплитуда механического перемещения по оси Y задавалась 2 мм.

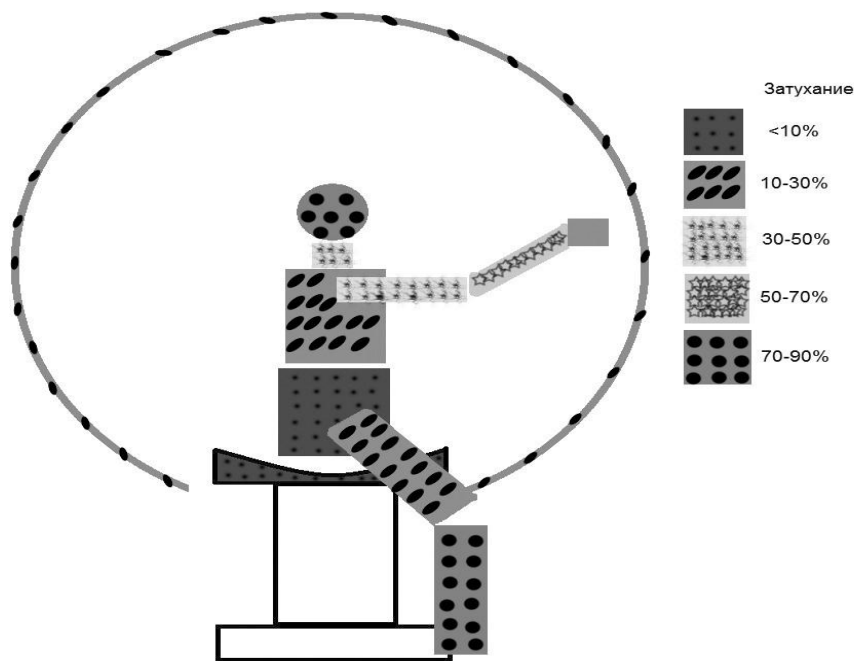


Рисунок 4 – Макетная диаграмма затухания (гашения) частот корпорального вибровоздействия

На макетной диаграмме хорошо видно, что уже на вибротоде–седле затухает до 10 % частотно–амплитудной энергии, задаваемой электромеханическим приводом. На кольцевом вибротоде затухание может достигать 30 %. Первоисточником явления затухания частотно–энергетических параметров в вибротоде–седле и кольцевом вибротоде являются их весовые, геометрические и амортизационно–упругие характеристики.

Рассматривая широкий диапазон количественных значений гашения виброэнергии в теле, который составляет от 10 % до 90 %, необходимо учитывать, что данные были получены на 63 испытуемых с различными антропометрическими и морфологическими характеристиками и являются средне–статистическими [26–29].

Впервые количественно измерено и демонстрируется само явление отличия реальных вынуждающих частот в теле пациента от декларативных частот, задаваемых блоком управления вибростимулятора.

Естественно, что приповерхностные зоны тазобедренной области и промежности, плотно взаимодействующие с вибротодом–седлом, колеблются с частотой и механической амплитудой, практически совпадающей с параметрами вибротода. Ноги, взаимодействующие с полом, и голова при указанном компенсаторном положении рук испытывают вибромеханическое воздействие, составляющее **всего 10–30 % от заданной энергии**, поскольку гашение достигает 70–90 %.

Для контроля функционального состояния виброэнергии в теле пациента на основе микроэлементной акселерометрической и гироскопической комплектации разработаны, изготовлены и апробированы датчики амплитудных, частотных и векторных параметров вынуждающих виброчастот на вибротоде и этих же характеристик в различных зонах тела человека.

Реальность индивидуально–частотного (Гц) и амплитудно–ускорительного (g m/c^2) состояния зон тела при вибростимулировании.

На рисунке 3 демонстрируется индивидуальная антропометрическая динамика частот и амплитуд ускорений, возникающих в теле пациента при базовых вибровоздействиях с точно заданной амплитудой и частотой.

Целенаправленные исследования динамики распространения вибровоздействий по телу были выполнены на 63 обследуемых. Для зрительной наглядности изменений численных характеристик виброэнергии поверхностных зон тела приводятся схемы тел двух пациентов с большой разницей антропометрических и морфологических параметров (рис. 5).

Точно задаваемыми параметрами вибропроцессов, представленных на демонстрационных эскизах тел, являются вертикальная (по оси Y) механическая амплитуда, равная 2 мм, и частоты вибротода–седла в последовательности 5, 7, 9, 11, 14, 18 Гц. Сеанс вибровоздействия на каждой частоте составлял 7 минут: 5 воздействий по одной минуте с интервалом отдыха 30 с.

Данные о вибросостояниях рассматриваются в трех зонах: зона между лопатками (Л), зона поясницы (П), зона на затылке (Ш). На рисунке 5 показаны результаты распространения виброфазот 7 и 11 Гц, задаваемых вибротодом–седлом, и динамика трансформации этих частот последовательно в зонах П, Л, Ш. Хорошо видно, что на участке от зоны промежность–ягодицы, взаимодействующей с вибротодом с полной весовой нагрузкой, до зоны талии происходит затухание входящей частоты от 7 Гц до 5,5 Гц (пациент 1), что составляет 21,6 %, и от 7 Гц до 5,3 Гц (пациент 2), что составляет 24,3 %. У пациента 1 от зоны талии до зоны между лопаток затухание составило всего 0,1 Гц от 5,5 Гц до 5,4 Гц, тогда как у пациента 2 частота от 5,3 Гц увеличилась до 6,1 Гц.

Локальное увеличение частоты формируется суммированием вертикальных и горизонтальных колебаний, подаваемых через руки от кольцевых вибротодов. Процесс трансформации вибропараметров – суммирования или гашения частот – зависит от антропометрических и морфологических характеристик испытуемого и силовых взаимодействий рук с кольцевым вибротодом. Естественно, рассчитываемый вклад в трансформацию частот дают геометрические и упруго–пластичные параметры кольцевых вибротодов.

При вынуждающей частоте 11 Гц у обоих пациентов наблюдается одинаковое затухание от 11 Гц до 8,4 Гц и сохранение сформированной частоты на зоне от талии до лопаток. Обращаем внимание на то, что затухание у обоих пациентов происходит на участке тела с большой пластичностью от ягодич, взаимодействующих с вибротодом, до верхней поверхности тазобедренной области. При распространении виброволны вдоль позвоночного столба частота практически не меняется.

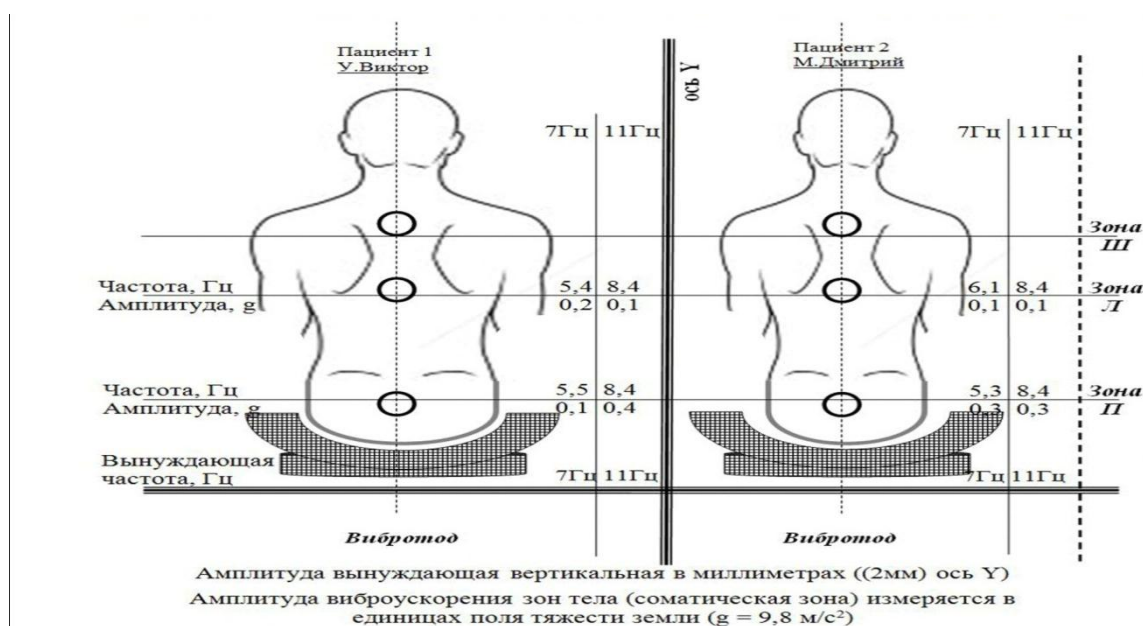


Рисунок 5 – Индивидуальная антропометрическая динамика частот и амплитуд ускорений, возникающих в теле пациента при базовых вибровоздействиях, с точно заданной амплитудой и частотой

Поскольку физиологические воздействия формируются локальной динамикой ускорений виброволны, для процессов оптимизации лимфодренажа, кровотока и работоспособности эндокринных органов необходимо обеспечить измерение динамики **амплитуд ускорений** в теле пациента в зависимости от индивидуальных параметров, зон и векторных характеристик воздействия вынуждающей частоты. У пациента 2 при задающих частотах 7 и 11 Гц выявлено устойчивое затухание амплитуды ускорения от 0,3 g до 0,1 g. Однако у пациента 1 со значительно большей массой тела наблюдается сложный противоречивый процесс гашения и возрастания амплитуды ускорения. Частота 7 Гц на участке от зоны П до зоны Л создает прирост амплитуды ускорения от 0,1 g до 0,2 g, однако частота 11 Гц неожиданно создает угасание амплитуды ускорения от 0,4 g до 0,1 g.

Процессы затухания и возрастания (суммирования) виброчастот и амплитуд ускорений волнового фронта являются принципиально новой информацией, на основе которой будут разрабатываться результативные медико–реабилитационные и развивающие вибротренинги [30].

Заключение

1. Сформулирована необходимость объективного измерения частотно–амплитудных и амплитудно–ускорительных характеристик **вибротодов** – устройств, вкачивающих виброколебательную энергию в тело пациента.

2. Показана необходимость корреляционных измерений энергетических характеристик вибротода с виброэнергетическими состояниями приповерхностных зон тела и внутренних органов.

3. Выявлены динамические сочетания частот в диапазоне от 5 до 60 Гц и амплитуд от 0,1 до 10 мм, формирующие предельные виброэнергетические воздействия на пациента в направлении голова – таз (сидящий пациент) и грудь – спина (лежащий пациент).

4. Разработаны и изготовлены средства измерения частот виброколебаний, амплитуд и векторов виброускорений на границе фронта волны возвратно–поступательного движения. Средства, достоверно измеряющие зональные и корпоральные виброэнергетические характеристики, позволяют установить взаимосвязи динамики физиологических и биохимических реакций с режимами вибростимуляции.

5. Разработаны и изготовлены аппаратные средства, обеспечивающие эргономичную пространственную доставку вибровоздействий в зоны тела.

6. Методом корреляционного мониторинга энергетического состояния вибротода и зон тела пациента выявлены количественные параметры затухания и возрастания виброчастот и амплитуд ускорений, связанных с антропоморфными характеристиками и геометрией контактных взаимодействий зон тела с вибротодом и неподвижными опорами.

Список литературы:

1. Фролов К.В. и др. Вибрационная биомеханика. Использование вибрации в биологии и медицине. – М.: Наука, 1989. – 142 с.
2. Креймер А.Я. Механические колебания низкой звуковой частоты как лечебный фактор: автореф. дисс. д-ра мед. наук. – Томск, 1966. – 32 с.
3. Машанский В.Ф., Рабинович И.М. Медико–биологические основы вибротерапии. – Л.: Знание, 1990. – 16 с.
4. Шмидт Р., Тевс Г. Физиология человека. – М.: Мир, 1996. – 361 с.
5. Мухешвили Н.Л., Сергеев В.М. О взаимодействии биологических систем посредством резонансной передачи возбуждения // Доклады АН. СССР. – 1980. – Т. 251 – С. 233–235.
6. Бегун П.И., Шукайло Ю.А. Биомеханика: Учебник для вузов. – СПб.: Политехника, 2000. – 463 с.
7. Загускин С.Л. Ритмы клетки и здоровье человека. – Ростов н/Дону: ЮФУ, 2010. – 215 с.
8. Шноль С.З. Конформационные колебания макромолекул / Колебательные процессы в биологических системах. – М.: Наука, 1967. – С. 22–41.
9. Дубровский В.К., Федорова В.Н. Биомеханика: Учебник для средних и высших уч. Заведений, 2–е изд. – М.: Изд-во Владос–Пресс, 2004. – 672 с.
10. Кнетс И.В., Пфафрод Г.О., Саулгозис Ю.Ж. Деформирование и разрушение твердых биологических тканей. – Рига: Зинатне, 1980. – 320 с.
11. Биомеханика позвоночника при ударных перегрузках в практике авиационных и космических полетов // Проблемы космической биологии. – 1987. – Т. 56. – С. 19.

12. Вибрация в технике: Справочник: В 6 т. – М.: Машиностроение, 1981. – Т. 6: Защита вибраций и ударов / Под ред. К.Ф. Фролова. – 456 с.
13. Динамическое воздействие на биосистемы // Современные проблемы биомеханики. – 1989. – Вып. 6. – 185 с.
14. Романов С.Н. Биологическое действие вибрации и звука. Парадоксы и проблемы XX века. – М.: Наука, 1991. – 158 с.
15. Голубева А.Л. Влияние вибрации на мягкие ткани человека. Тез. Докл. 2-й Всесоюзной конференции по биомеханике. – 1994, Нижний Новгород. – Т. 2. – С. 35–36.
16. Бегун П.И., Шукайло Ю.А. Биомеханика: Учебник для вузов. – СПб.: Политехника, 2000. – С. 37.
17. Фролов К.В. Вибрация друг или враг? – М.: Наука, 1984. – 144 с.
18. Карпова Н.И. Вибрация и нервная система. – Ленинград.: Медицина 1976. – 167 с.
19. Креймер А.Я. Механизмы физиологического действия механических вибраций // Вопросы курортологии, физиологии и лечебной физкультуры. – 1986. – № 6. – С. 5–11.
20. Тимофеев А.Б. Исследование явлений механического резонанса в органах и тканях человека и их использование для лечения и контроля его эффективности: автореф. дисс. канд. биол. наук по специальности ВАК 03.00.13 (физиология). – М., 2005. – 129 с.
21. Волотовская А.В., Мумин А.Н. Вибротерапия: Учебно-методическое пособие. – Мн.: БелМАПО, 2007. – С. 11–14.
22. Назаров В.Т. Биомеханическая стимуляция: явь и надежды. – Мн.: Полымя, 1986. – 36 с.
23. Волчек О.Д., Алексина Л.А. Использование вибрации и виброакустики в медицине // Ученые записки СПбГМУ им. Акад. И.П. Павлова, Т. XVIII. – 2011. – № 1. – С. 12–21.
24. Михеев А.А. теория и методика вибрационной тренировки в спорте (биологическое и педагогическое обоснование дозированного вибротренинга): монография. – М.: Советский спорт, 2011. – 615 с.
25. Центр подготовки космонавтов им. Ю.А. Гагарина. Официальный сайт <http://www.gctc.ru/main.php>
26. Сагайдак Д.И., Шилько С.В. Метод и средства вибромеханической стимуляции памяти в условиях экстремальных психоневрологических нагрузок // Проблемы здоровья и экологии. – 2011. – № 1. – С. 59–63.
27. Сагайдак Д.И., Сагайдак С.С., Шилько С.В. Корпорально-кистевое вибромеханическое стимулирование в методиках развития сенсорно-перцептивных характеристик спортсменов / Состояние и перспективы технического обеспечения спортивной деятельности: Материалы II Междунар. науч.-техн. конф., Минск, БНТУ, 18–19 октября 2012 г. – С. 44–48.
28. Сагайдак Д.И. Вибромеханическое воздействие с частотно-амплитудными характеристиками, согласованными с антропометрическими параметрами спортсмена / Медико-социальная экология личности: состояние и перспективы: Материалы XII Междунар. конф., Минск, Белорусский государственный университет, 11–12 апреля 2014 г. – Минск: Изд. центр БГУ, 2014. – С. 431–433.
29. Сагайдак Д.И., Каплевский К.Н., Цикунов В.А., Шилько С.В. Аппаратно-инструментальное решение адресной доставки и контроля вибромеханической энергии в зонах тела / Измерительные системы и приборы, технические средства безопасности // Приборостроение – 2015: Материалы XII Междунар. науч.-техн. конф., Минск, Белорусский национальный технический университет, 25–27 ноября 2015 г. – Минск: Изд. БНТУ, 2015. – Т. 1. – С. 151–153.
30. Сагайдак Д.И., Цикунов В.А. Количественное исследование распространения виброэнергии в приповерхностных зонах тела при поливекторном вибровоздействии / Медэлектроника – 2016: Материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 8–9 декабря 2016 г. – Минск, Изд. БНТУ, 2016. – С. 91–95.