



ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МЕДИЦИНЕ

В.А. Акулов

ПРОБЛЕМА ВЕРИФИКАЦИИ МОДЕЛЕЙ МЕДИЦИНСКИХ ЦЕНТРИФУГ НАЗЕМНОГО И КОСМИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ

(ФГБОУ ВПО «Самарский государственный аэрокосмический университет
им. академика С.П. Королева (национальный исследовательский университет)»)

Введение. Постановка задачи. История современных центрифуг медицинского назначения относительно коротка. Она тесно связана с историей пилотируемой космонавтики и поэтому насчитывает всего несколько десятилетий. Существуют несколько разновидностей таких центрифуг, отличающихся, прежде всего, величиной радиуса ротора (r). Если $r \sim 2$ м, т. е. соизмерим с ростом человека, то такие центрифуги называются короткорADIUSНЫМИ (ЦКР). В космической медицине (КМ) ЦКР рассматриваются как перспективное средство активного устранения невесомости, инструмента для научных исследований и разработки нового поколения методик, обеспечивающих здоровье и работоспособность космонавтов в сверхдлительных полётах, а в перспективе - межпланетных миссиях [1].

Вторым приложением ЦКР, но уже к лечению больных, отличающихся возрастом (ростом), нозологической формой и локализацией патологических участков, относится гравитационная терапия (ГТ). Это направление возглавляет д. м. н., профессор Г. Н. Котельников (СамГМУ) [2]. Как в случае КМ, так и ГТ речь идёт о замещении естественной силы тяжести (ЕСТ) искусственной силой тяжести (ИСТ). Таким образом ЦКР становится физической моделью ЕСТ, а, следовательно, актуальность приобретает задача по оценке адекватности ИСТ и ЕСТ. В силу исторических причин (промышленный подход) такая оценка производится по перегрузке $+G_z$ на периферийном радиусе:

$$+G_z = \omega^2 r/g. \quad (1)$$

Здесь ω – угловая скорость вращения ротора ЦКР, r – радиус вращения, g – ускорение свободного падения у поверхности Земли (напряжённость поля ИСТ).

Совершенно очевидно, что подобная оценка адекватности является точечной, а, главное, не позволяет определить режимы вращения, обеспечивающие физическое моделирование гравитационного поля Земли. Специалистами Института медико-биологических проблем (ИМБП РАН) эта задача решена с помощью уникальных экспериментов [1]. Однако такой подход оказывается недостаточным при определении режимов моделирования гравитации Луны и Марса. В монографии [3] разработан δ - критерий адекватности ИСТ и ЕСТ, позволяющий решить эти задачи. Его основу составляет энергетический подход в



форме баланса/рассогласования потенциальной энергии, которая сообщается жидкости, содержащейся в гидравлическом тракте протяжённого объекта, в результате воздействия со стороны ЕСТ (планеты) и ИСТ (ЦКР), соответственно. Опуская преобразования, а они основаны на закономерностях гидравлики и аналитической механики получим:

$$\delta = \left(\frac{\omega^2 h^3 - R_1^2 (3h - 2R_1)}{3g (h - R_1)^2} - 1 \right) \cdot 100\%. \quad (2)$$

Здесь h – рост пациента, R_1 – расстояние от оси вращения до сердца.

Критерий устраняет неопределённости, связанные с нахождением точки приложения и величины центростремительного ускорения, возникающие в медицинских приложениях в случае применения традиционного («промышленного») подхода (1) в обеспечении заданной перегрузки на периферийном радиусе центробежной машины (+Gz). Кроме того, критерий осуществляет однозначное разграничение режимов гипо и гипергравитации ($\delta < 0$, $\delta > 0$, соответственно).

Применяя (2), оценка адекватности ИСТ и ЕСТ сводится к определению распределения давления в гидравлическом тракте объекта воздействия (артериальное русло человека, семейство парабол), обусловленного центробежной силой, наименее отличающегося от распределения гидростатического давления (прямая, принимаемая за эталон). Графическая иллюстрация постановки задачи приведена на рис. 1.

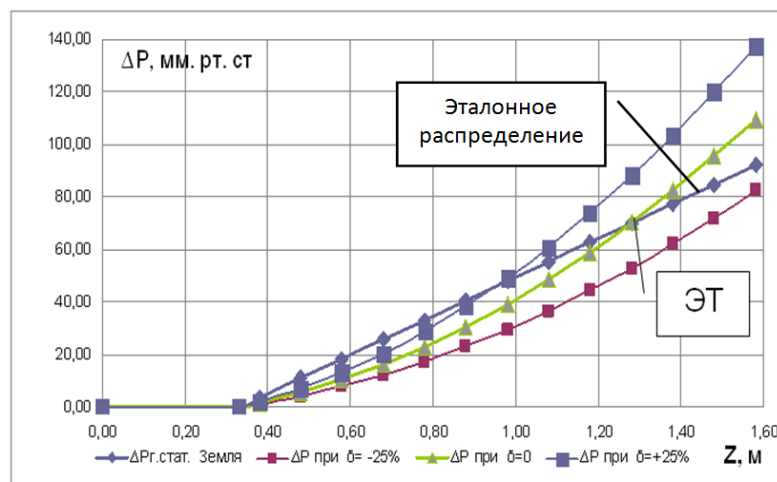


Рис. 1. Геометрический смысл задачи нахождения наилучшего приближения ИСТ (ЦКР) и ЕСТ (Земля)

Следует отметить, что от достоверности информации, полученной в результате применения δ - критерия, зависит достоверность результатов решения значительного числа научно-технических задач в космической и восстановительной медицине. Среди них, активное устранение невесомости и гиподинамии, поиск оптимальных режимов вращения, моделирование гипогравитации (Луна, Марс) в наземных и космических условиях, планирование медикотехнических экспериментов по проблемам гравитации, лечение больных с ишемией нижних конечностей, апробация гравитационной терапии в новых для неё областях и т. д.



Учитывая научную новизну и исключительную практическую значимость δ – критерия, оценка его достоверности выделена в отдельную задачу, которая позиционируется как верификация. Она заключается в доказательстве того, что распределение инерционного давления ($\Delta P(\delta)$) по радиусу z , полученное при $\delta = 0$, является наилучшим из числа возможных приближением к распределению гидростатического давления по продольной координате, обусловленного ЕСТ ($\Delta P_{г.стат.Земля}$).

Методологические основы исследований. В основу метода исследований положен теоретико-множественный подход. Он позволяет оценить объект, в данном случае δ – критерий, с различных позиций с привлечением как качественных, так и количественных показателей. Исследования включали в себя следующие этапы. 1. Анализ мер по обеспечению достоверности δ - критерия при его разработке. 2. Непараметрический анализ распределений гидростатического и инерционного давления на основе критерия χ^2 и критерия знаков. 3. Регрессионный анализ распределений давления. 4. Компьютерное моделирование типовых сеансов вращения человека на ЦКР, выполненных в космической и восстановительной медицине. 5. Постановка и выполнение проблемно ориентированных медико-технических экспериментов на ЦКР.

Из перечисленных пяти этапов, этап 2 является наиболее важным. Результаты его выполнения в части применения критерия χ^2 и посвящена настоящая статья.

Результаты исследований. Как известно, критерий χ^2 является мерой различий двух процессов, причём процессы могут быть как стохастическими, так и детерминированными. В данной серии исследовались детерминированные процессы, представленные в виде точечных множеств. Решение задачи включало в себя два пункта: а) определение зависимости χ^2 от δ при постоянстве эталонного и вариации модельных процессов (три из них показаны на рис. 1); б) нахождение минимума χ^2 , который и определяет процесс (распределение), обладающее минимальными отличиями от эталонного. Остаётся доказать, что минимуму χ^2 соответствует нулевая величина δ – критерия.

Как известно, величина χ^2 вычисляется по формуле

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^N \frac{(\Delta P_{г.стат.Земля} - \Delta P_i(\delta))^2}{\Delta P_{г.стат.Земля}}. \quad (3)$$

В результате адаптации критерия χ^2 к специфике решаемой задачи алгоритм выбора наилучшего приближения ИСТ к ЕСТ (Земля) принял вид последовательности состоящей из шести процедур. Результаты их выполнения в диапазоне управления $\delta \in [-25, +25]$ и при двух уровнях дискретизации по продольной координате (радиусу) $\Delta z = 0,1$ и $0,05$ м представлены в таблице 1 и на рис. 2. За единицу приняты параметры, соответствующие $\min\{\chi^2\}$.

Для наглядности они в таблице выделены заливкой.

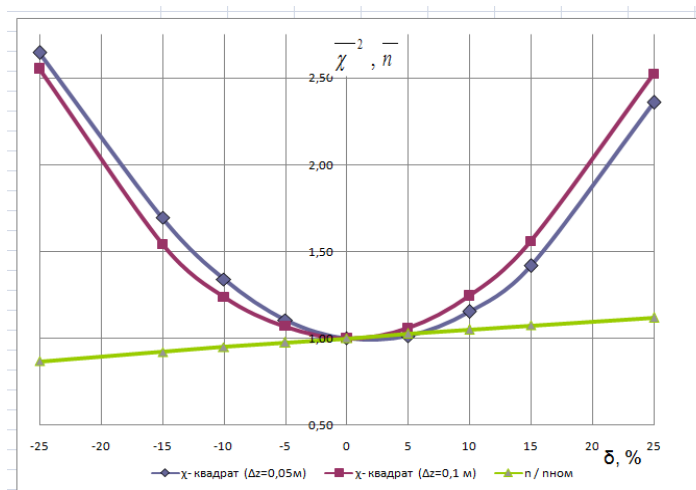


Рис. 2. Зависимость относительных величин $\bar{\chi}^2$ и \bar{n} от δ .
 n – частота вращения [об/мин]

Таблица 1. Типовые зависимости относительных величин $\bar{\chi}^2, \bar{n}$ от δ .

№№	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\delta, \%$	-25	-15	-10	-5	0	5	10	15	25
$\bar{\chi}^2$ ($\Delta z=0,1$ м)	2,55	1,54	1,24	1,07	1,00	1,06	1,25	1,56	2,52
$\bar{\chi}^2$ ($\Delta z=0,05$ м)	2,71	1,69	1,34	1,10	1,00	1,01	1,15	1,42	2,36
$\bar{n} = n / n_{ном}$	0,87	0,92	0,95	0,98	1,00	1,03	1,05	1,07	1,12
Уровень воздействия	Гипогравитация				Минимум отличий	Гипергравитация			

Представленные результаты подтверждают достоверность предлагаемого δ - критерия адекватности ИСТ и ЕСТ (Земля) и позволяют сформулировать следующие выводы.

Во-первых, получено подтверждение того, что при $\delta = 0$ различия ИСТ и ЕСТ (Земля) минимальны, причём подтверждение носит как качественный, так и количественный характер.

Во-вторых, подтверждение носит независимый характер, поскольку критерии χ^2 и δ построены на различных принципах.

В-третьих, в отличие от формального критерия χ^2 и общепринятого в промышленности параметра +Gz, предлагаемый критерий, в основу которого положен энергетический подход, осуществляет более детальную оценку адекватности ИСТ и ЕСТ и позволяет определить режимы адекватности ИСТ и ЕСТ ($\delta = 0$), а также осуществить разграничение режимов вращения на гипо и гипергравитацию ($\delta < 0, \delta > 0$), что очень важно для космической и восстановительной медицины;

В-четвёртых, величина δ является количественной оценкой баланса / различий в уровнях гравитационной нагрузки на объект воздействия со стороны ИСТ и ЕСТ. Такого рода информация представляет значительный интерес для медицинских приложений.



В-пятых, δ - критерий построен на непрерывных моделях состояний объектов воздействия. Поэтому он, в отличие от критерия χ^2 , не зависит от шага дискретизации по координате Z . Кроме того, он не зависит от рода жидкости, содержащейся в объекте воздействия, что весьма важно с точки зрения планирования экспериментов и назначения процедур в гравитационной терапии.

В-шестых, трактовка результатов непараметрического анализа в виде суммарного относительного отклонения двух распределений (3) понятна медицинскому персоналу как пользователю моделей ИСТ, реализованных в компьютерных технологиях.

Литература

1. Котовская А.Р., Шипов А.А., Виль-Вильямс И.Ф. Медико-биологические аспекты проблем создания искусственной силы тяжести. М.: Слово, 1996
2. Галкин Р.А., Котельников Г.П., Макаров И.В. Применение гравитационных перегрузок в терапии облитерирующего атеросклероза нижних конечностей // Вестник хирургии, 2003. – №1. – с. 82 – 85
3. Акулов В.А. Мехатронные системы генерации искусственной силы тяжести наземного и космического применения / под ред. Г.П. Аншакова. – М. Машиностроение, 2011. – 161 с.