

В СРЕДНЕВОЛЖСКОМ МАТЕМАТИЧЕСКОМ ОБЩЕСТВЕ

УДК 004.415+519.673+531.5

Информационная система по проблемам гравитационного моделирования протяженных объектов

© В. А. Акулов¹

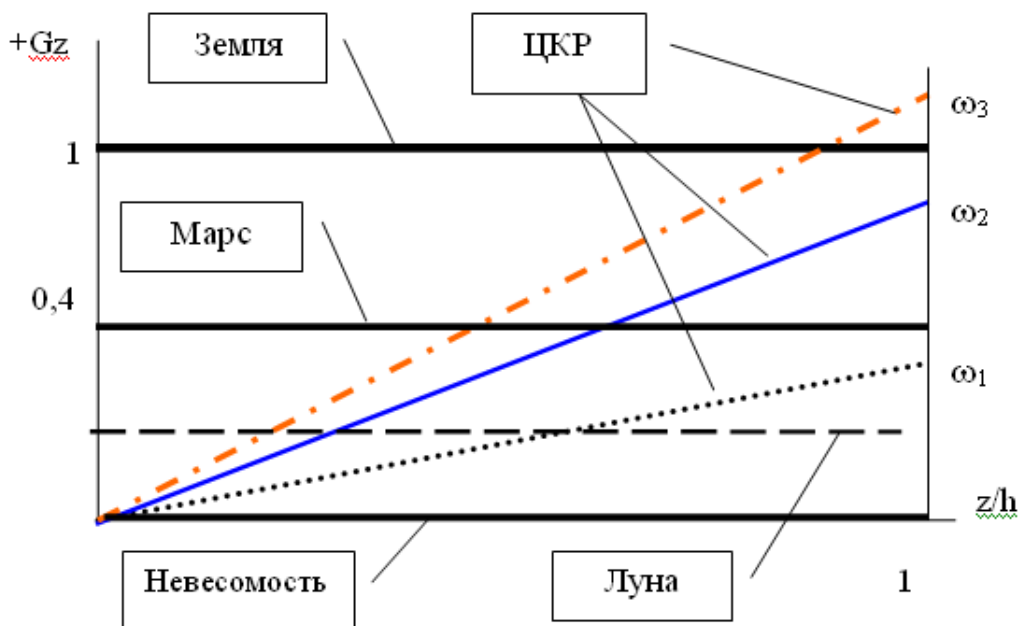
Аннотация. Разработана специализированная информационная система (АИСОА), ориентированная на решение задач гравитационного моделирования протяженных объектов на центробежных машинах (центрифугах). В основу системы положены авторские модели состояний объектов воздействий и критерии соответствия искусственной и естественной сил тяжести, построенные на принципах аналитической механики. АИСОА объединяет три функциональных компонента: физическое моделирование (собственно центрифуги), математические модели и информационную поддержку принятия решений.

Ключевые слова: информационная система, гравитационное моделирование, искусственная сила тяжести

Применение искусственной силы тяжести (ИСТ) к исследованию природных и рукотворных объектов, получившее наименование гравитационное моделирование (ГМ) нашло широкое применение в различных предметных областях. Примерами служат испытания и тарировки приборов ответственного назначения (центробежные стенды), исследования прочности объектов в строительстве и горном деле, отбор и подготовка экипажей скоростных самолетов и космических аппаратов, лечение больных травматологического и неврологического профиля и т. д. Планируется применение ИСТ в Космосе в качестве инструмента научных исследований и противодействия невесомости, что важно для успешного выполнения длительных и сверхдлительных полетов, включая межпланетные миссии [4], [6], [7]. Как известно, любая модель, а ГМ является одной из физических разновидностей, требует оценки адекватности, поскольку она (модель) представляет собой упрощенный «аналог оригинала» [5]. Рассмотрим эту задачу применительно к моделированию естественной силы тяжести (ЕСТ), которая актуальна в целом ряде приложений. Главные из них – пилотируемая космонавтика и гравитационная терапия [4], [6], [7]. На рис. 1.1 представлены структуры ЕСТ (Земля, Марс, Луна) и ИСТ, генерируемой короткорADIUSНОЙ центрифугой (ЦКР).

Здесь: $+Gz$ – модуль перегрузки, создаваемой ИСТ и ЕСТ; z – продольная координата, отсчитываемая, соответственно, от поверхности планеты или оси вращения; h – протяженность объекта в направлении Oz ; ω – угловая скорость вращения ротора ЦКР, где $\omega_1 < \omega_2 < \omega_3$. Как видно, адекватность в форме баланса перегрузок достигается только в точках пересечения характеристик: горизонталей (ЕСТ) и семейства наклонных (ИСТ). В остальных точках баланс отсутствует, причем по мере их удаленности рассогласование только возрастает. Следовательно, ЦКР осуществляет адекватность, которую можно классифицировать как весьма условную, точечную. В связи с условностью адекватности следует различать две группы объектов ГМ: точечные и распределенные.

¹Доцент кафедры «Информационные технологии» СамГТУ, Самарский государственный технический университет, г. Самара; vanger@it.samgtu.ru

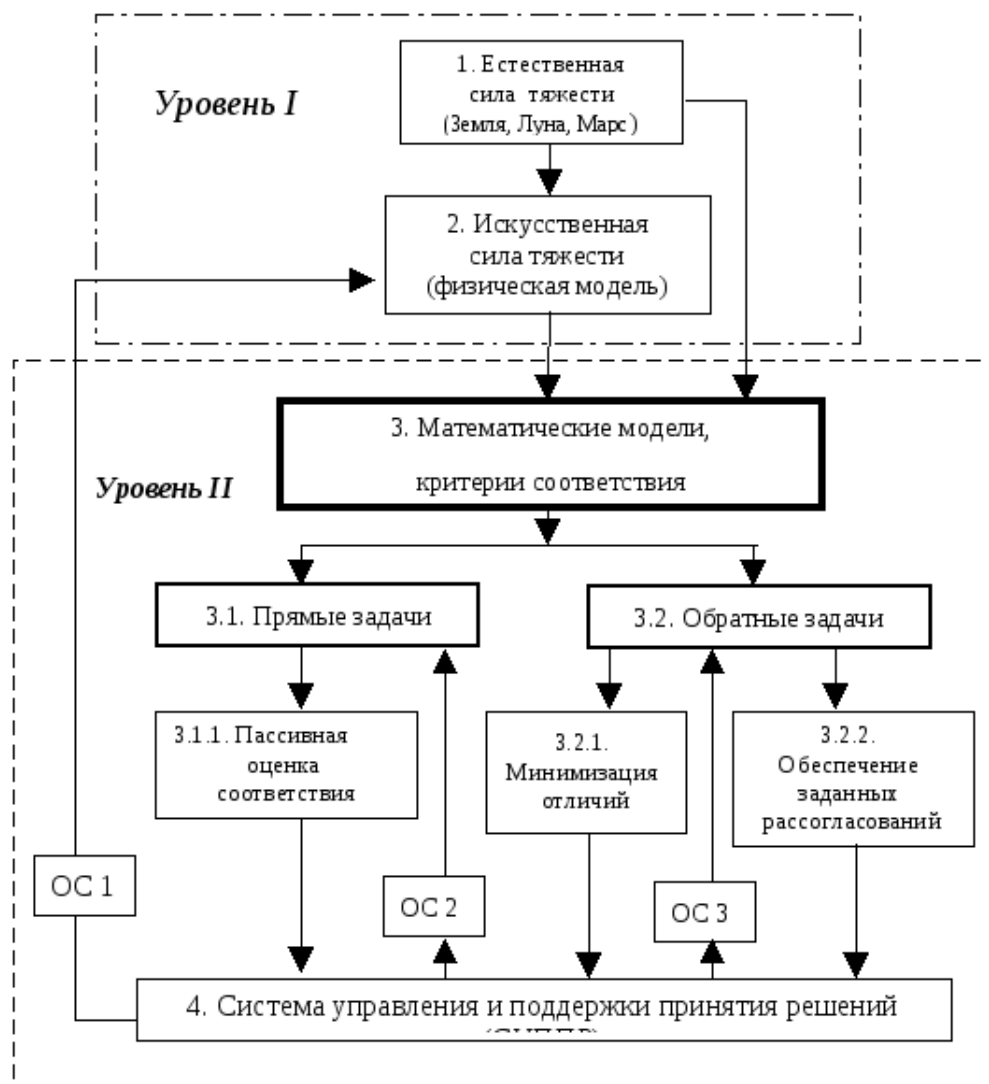


Р и с у н о к 1.1

Структурные различия ИСТ и ЕСТ

Под точечными (ТО) понимаются объекты, размеры которых столь малы по сравнению с радиусом вращения, что внутренним перепадом перегрузок можно пренебречь. Если же размеры объектов соизмеримы с радиусом, то перепад становится значительным, и такие объекты далее отнесены к категории протяженных (ПО). Как следует из рис. 1.1, для этого достаточно проанализировать изменение $+Gz$ на интервале $z/h = [0, 1]$, относительная величина перегрузок в ПО достигает 100%. Отметим, что переход по схеме «ТО – ПО» сопровождается следующими качественными изменениями. Величина и точка приложения перегрузок при ГМ становятся неопределенными; перегрузка утрачивает критериальные функции и переходит в разряд промежуточных параметров; процедуры оценки адекватности усложняются. Вследствие перечисленных и им подобных факторов информационное обеспечение ГМ, построенное на «точечной» идеологии, становится недостаточным. Особую актуальность приобретает комплекс задач по разработке методологии, ориентированной на оценку и обеспечение адекватности ИСТ и ЕСТ применительно к распределенным объектам. В СамГТУ (доц. В. А. Акулов) предложен один из вариантов решения поставленной задачи, предусматривающий его реализацию в виде проблемно-ориентированной автоматизированной информационной системы по оценке адекватности (АИСОА) [1 - 3]. В целях сокращения изложения ограничимся анализом структурной схемы АИСОА (рис. 1.2), краткой характеристикой решаемых задач и математических моделей, представленных в конечной форме и реализованных в АИСОА.

В качестве объектов ГМ выбрано весьма представительное подмножество РО, содержащих протяженные трубопроводы с жидкостью [1]. В основу концепции АИСОА положен принцип воспроизведения состояний объектов, а не параметров ИСТ. Предусмотрено, что на этапах, предшествующих ГМ, такие параметры определяются методом компьютерного моделирования.



Р и с у н о к 1.2

Структурная схема АИСОА для оценки адекватности ИСТ и ЕСТ

Кроме того, учтено, что в ряде приложений человек (космонавт, испытатель, пациент гравитационной терапии) принимает непосредственное участие в сеансах вращения, потребовавшее разработки мер параметрической безопасности. В итоге АИСОА приобрела двухуровневую иерархическую структуру, объединяющую в себе три функциональных компонента: физическое моделирование, т. е. собственно ГМ (см. уровень I, рис. 1.2), математическое моделирование, обеспечивающее ГМ входными данными (поз. 3), и информационную поддержку принятия решений (поз.4), образующие структуру, обозначенную как «Уровень II». Серия задач моделирования, названных, исходя из математического смысла, прямыми (поз. 3.1), заключаются в оценке адекватности ИСТ и ЕСТ (сходства, степень различий). Обратные задачи (поз. 3.2) состоят в определении индивидуализированных режимов испытаний, обеспечивающих либо минимум отличий, из числа возможных (поз. 3.2.1), либо заданные, причем разнонаправленные рассогласования (поз. 3.2.2). Как прямые, так и обратные задачи решены в 2-х постановках: интегральной и локальной (см. ниже).

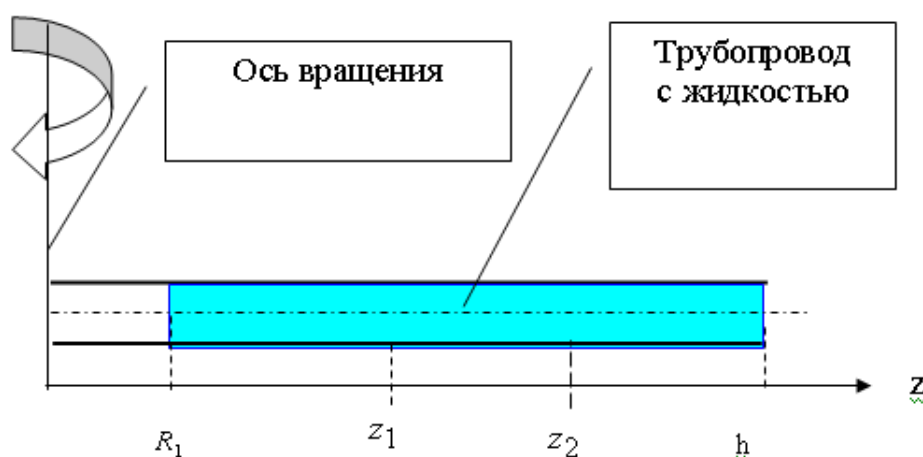
2. Прямые задачи моделирования в интегральной постановке.

Они решаются с помощью критерия адекватности вида:

$$\delta = \left(\frac{\omega^2 h^3 - R_1^2(3h - 2R_1)}{3\beta g (h - R_1)^2} - 1 \right) 100\% \quad (2.1)$$

Здесь: β - безразмерный коэффициент, учитывающий многообразие видов ЕСТ (Земля, Марс, Луна, др. варианты). $\beta = a/g$, где a , g - ускорение свободного падения, соответственно, на одной из планет и на Земле. Остальные обозначения и упрощенный вариант расчетной схемы приведены на рис. 3.

Физический смысл критерия (2.1) состоит в сопоставлении энергии, полученной жидкостью, заключенной в объекте, как со стороны естественной, так и искусственной гравитации (эффект бустера) [1] – [3]. Возможны три случая, отличающиеся величиной и знаком δ . Если $\delta = 0$, имеет место адекватность, под которой понимается минимум отличий из числа возможных, оценивая их с энергетических позиций. Если $\delta < 0$, ЦКР сообщает объекту меньше энергии, чем ЕСТ, а если $\delta > 0$, соотношение изменится на противоположное. Отметим следующие наиболее важные моменты. Во-первых, моделирование по формуле (2.1) означает пассивную оценку, т. е. регистрацию состояний ПО, при заданных испытателями параметрах всей системы, включая ЦКР и объект ГМ. Во-вторых, в (2.1) учитывается распределение жидкости и ее «энерговооруженность» на всем протяжении трубопровода, что и послужило основанием для названия – «интегральная оценка». В-третьих, перегрузка $+Gz$ трансформировалась в категорию промежуточных параметров и, что особенно важно, в частный случай предлагаемого критерия (2.1). Последнее утверждение следует из (2.1) при $R_1 = 0$: $\delta = \left(\frac{+G_z^{max}}{3\beta} \right) 100\%$. Здесь $+G_z^{max}$ - перегрузка на периферийном радиусе $z = h$ (см. рис. 2.1).

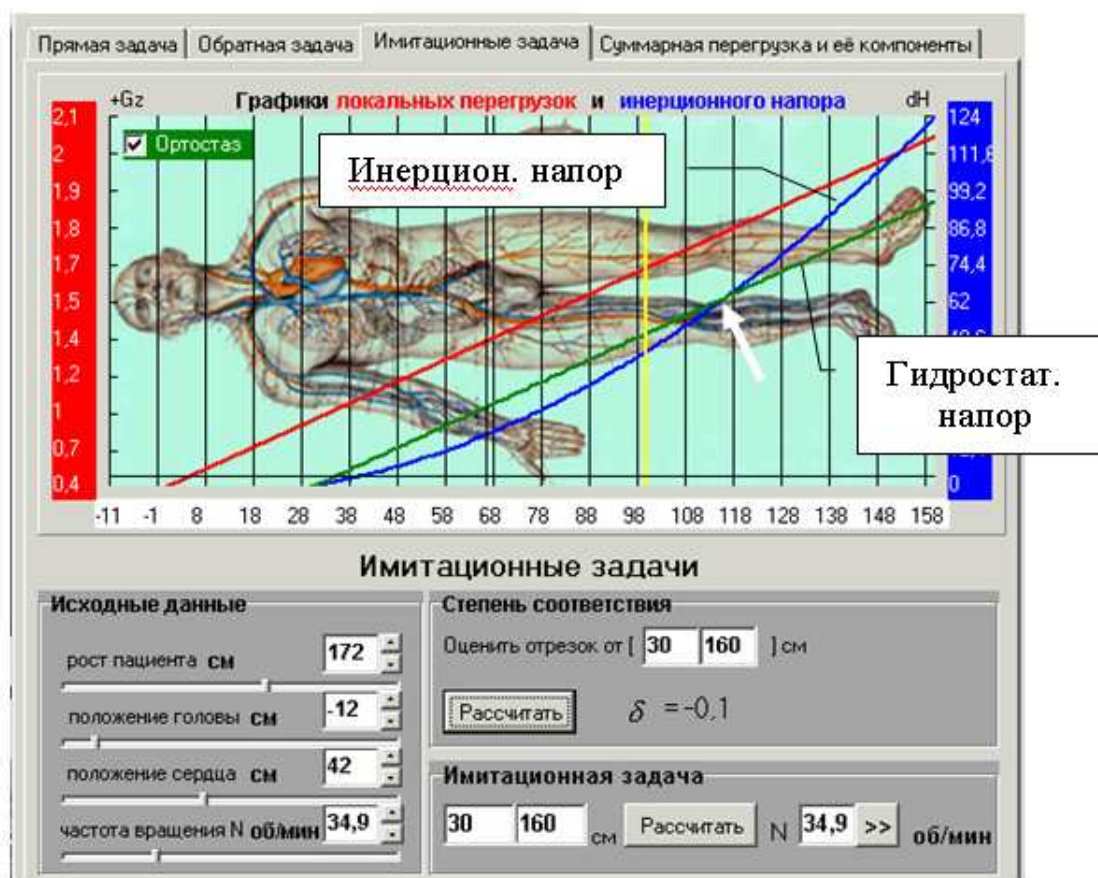


Р и с у н о к 2.1

Схема обозначений, принятых в (2.1) – (4.2)

Следует обратить особое внимание на то, что при отсутствии полноценного критерия адекватности ИСТ и ЕСТ, параметр $+G_z^{max}$ нашел самое широкое применение в различных приложениях, в том числе, космических [4], [6]. Модель (2.1) реализована в блоке 3.1.1 АИСОА (рис. 1.2) с

визуализацией результатов на экране ПК в виде типового окна (рис. 2.2).



Р и с у н о к 2.2

Типовой экран АИСОА для решения прямых задач в интегральной и локальной постановке

Особо отметим, что предлагаемый интерфейс обеспечивает режим массового решения задач по оценке адекватности ИСТ и ЕСТ, что важно с точки зрения практической значимости с учетом множества ПО и множества предметных областей.

3. Обратные задачи моделирования в интегральной постановке.

Они заключаются в определении индивидуализированных режимов ГМ, обеспечивающих адекватность ИСТ и ЕСТ. Под этим понимаются два состояния объектов ГМ: либо соответствие ИСТ и ЕСТ (энергетический баланс: $\delta = 0$, см. поз. 3.2.1, рис. 1.2), либо заданные уровни рассогласований ($\delta < 0$ или $\delta > 0$, см. поз. 3.2.2). Моделирование выполняется по формуле (3.1), которая получена разрешением (2.1) относительно ω , что и определило название задач – «обратные».

$$\omega = \pm 5,425(h - R_1) \sqrt{\frac{\beta(1 + 0,01\delta)}{h^3 - R_1^2(3h - 2R_1)}} \quad (3.1)$$

Отметим следующие наиболее важные моменты. Во-первых, модель (3.1) устраняет неопределенность «точечного» подхода к оценке адекватности ГМ в случае РО. Она однозначно определяет режимы испытаний, обеспечивающие разнообразие требований, предъявляемых к ГМ, осуществляющему моделирование ЕСТ. В их числе: множество объектов,

отличающихся габаритами и расположением на столе ЦКР; множество их состояний (δ); многообразие планет (β); промежуточные варианты β . Во-вторых, для получения оптимального режима, которому соответствует минимум отличий из числа возможных, достаточно в (3.1) положить $\delta = 0$. В-третьих, для получения заданного рассогласования ИСТ и ЕСТ, что важно с научно-практической точки зрения, достаточно в (3.1) положить соответствующее значение δ с учетом величины и знака. С целью удобства применения (3.1) в АИСОА предусмотрен отдельный типовой экран, который, как и в случае прямых задач, обеспечивает массовость прогонов.

4. Прямые и обратные задачи ГМ в локальной постановке.

В целом ряде приложений необходима оценка адекватности ИСТ и ЕСТ на локальном участке гидравлической системы (см. рис. 2.1, интервал $[z_1, z_2]$, где $R_1 \leq z_1 < z_2 \leq h$). Как следствие различий в законах распределения гидростатического давления (линейность) и инерционного давления (семейство парабол, смещенных относительно начала координат), взаимное расположение эпюр распределения давления отличается и количественным, и качественным разнообразием. Создается множество состояний объектов, когда интегральная оценка, а она усредняет энергию жидкости на интервале $[R_1, h]$ не совпадает с локальной оценкой. Опуская преобразования (интегрирование законов распределения давления на интервале $[z_1, z_2]$), приведем конечную формулу для оценки адекватности в локальной постановке:

$$\delta = \left(\frac{\omega^2}{3g\beta} \frac{z_2^2 + z_2 z_1 + z_1^2 - 3R_1^2}{z_2 + z_1 - 2R_1} - 1 \right) 100\% \quad (4.1)$$

Отметим, что модель (4.1) является аналогом (2.1). Она реализована в блоке 3.1.1 АИС (см. рис. 1.2) и для удобства пользователя решается на том же экране, что и интегральная задача (см. рис. 2.2). С точки зрения ГМ особый интерес представляет задача, получившая наименование «обратной задачи в локальной постановке». Для ее решения достаточно определить ω из соотношения (4.1)

$$\omega = \pm 5,425 \sqrt{\frac{\beta(z_2 + z_1 - 2R_1)(0,01\delta + 1)}{z_2^2 + z_1 z_2 + z_1^2 - 3R_1^2}} \quad (4.2)$$

Учитывая логическое сходство обратных задач (3.1) и (4.2) для их решения отведен один и тот же экран интерфейса пользователя.

5. Информационная поддержка принятия решений.

Указанный комплекс задач обладает особой актуальностью в ГМ с непосредственным участием человека в сеансах вращения как в условиях Земли, так и Космоса [4], [6]. Результаты моделирования, а они включают в себя как перечисленные, так и некоторые другие данные, в частности эпюры распределения гидростатического и инерционного давления, распределения перегрузок (см. график на рис. 2.2), поступают в блок 4 АИСОА (рис. 1.2). На основании полученной информации ответственные исполнители ГМ принимают решение либо о проведении испытаний, которое по обратной связи (ОС1) передается на уровень физического моделирования (поз. 2), либо выполняют коррекцию исходных данных с повторным моделированием (ОС2 или ОС3). В заключение отметим, что апробация

предлагаемой АИСОА на реальной информации, предоставленной Институтом медико-биологических проблем РАН РФ, а он является одним из мировых лидеров по обеспечению пилотируемой космонавтики [4], [7], показала ее высокую эффективность, научную новизну и практическую значимость.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акулов В. А. Биомеханический критерий адекватности модельной и естественной силы тяжести //Авиакосмическая и экологическая медицина, – №1, Т 39. №1. – С. 59 – 61.
2. Акулов В. А. Оценка адекватности искусственной и естественной силы тяжести методами многомерного анализа// Вестник СамГТУ, серия «Физико - математические науки», 2006. – выпуск 42,. – С.174 – 178.
3. Акулов В. А. Теория графов в оценке соответствия искусственной и естественной сил тяжести (центрифуга, Земля, Луна, Марс) // SPEXP 2008: Сб. науч. тр. Международной научно-практической конференции. – Самара:СГАУ, Европ. Косм. агенство (ESA), 3 – 10 сентября 2008.
4. Котовская А. Р., Виль-Вильямс И. Ф., Лукьянюк В. Ю. Проблема создания искусственной силы тяжести с помощью центрифуги короткого радиуса для медицинского обеспечения межпланетных пилотируемых полетов // Авиакосмическая и экологическая медицина, 2003. Т. 37. №5. – С 36 – 39.
5. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем -- искусство и наука. -- М.: Мир, 1978. – 418 с.
6. Котовская А. Р., Шипов А. А., Виль –Вильямс И. Ф. Медико–биологические аспекты проблемы создания искусственной силы тяжести / М: Слово, 1986. – С. 203.
7. Mars-500 experiment // www.suzymchale.com/cosmonavtka/mars500.htm (19.04.09).

Дата поступления 27.08.2009

Information system for solving the problems of gravitation simulation for distributed objects

© V. A. Akulov²

Abstract. We developed a special information system for solving the problems of gravitation simulation for distributed objects in mechanic and electronic complexes that generate controlled artificial gravity. The system is based on the author's models of state of the objects, that experience the action? And the criteria for adequacy of the artificial and natural gravities built on the principles of analytical mechanics/ The system comprises three functional components: physical simulation (of a centrifuge itself), mathematical models and informational support for making decisions.

Key Words: information system, gravitational modelling, artificial gravity.

REFERENCES

1. Akulov V. A. Biomechanical criterion of adequacy modelling and Natural gravity //Aerospace and ecological Medicine, – No. 1, V. 39. – P. 59 - 61.
2. Akulov V. A. Estimation of adequacy of artificial and natural force Weights methods of the multidimensional analysis// The bulletin of SamGtU, A series «Physics and mathematics sciences» , 2006. -- 42., – P. 174 – 178.
3. Akulov V. A. The theory of counts in an estimation of conformity artificial and Natural a gravity (a centrifuge, the Earth, the Moon, Mars) // SPEXP 2008: The collection of proceedings of the International scientifically-practical conference. – Samara: ESA, 3 - 10 september 2008.
4. Kotovskaya A. P., Will-Williams I. F., Lukyanuk V. Yu. Problem Creations of an artificial gravity by means of a centrifuge of the short Radius for medical maintenance of the interplanetary piloted Flights // Aerospace and ecological Medicine, 2003. V. 37. No. 5. – P. 36 - 39.
5. Shannon R. Imitating modelling of systems – art and a science. -- M.: Mir, 1978. – 418 p.
6. Kotovskaya A. R., Shipov A. A., Will-Williams I. F. Medical and Biological aspects of a problem of creation of an artificial gravity / M: Slovo, 1986. – P. 203.
7. Mars-500 experiment // www.suzymchale.com/cosmonavtka/mars500.htm (19.04.09).

²Associate professor, Samara State Technical University, Samara; vanger@it.samgtu.ru.