

## ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ НА РОТАЦИОННЫХ СТЕНДАХ

Испытательные и градуировочные ротационные стенды (центрифуги) используются в лабораторных условиях для воспроизведения поля центростремительного ускорения. Элементы объекта испытания, помещенного в это поле, подвергаются воздействию центробежных сил, определенных параметрами поля и массой взаимодействующих элементов.

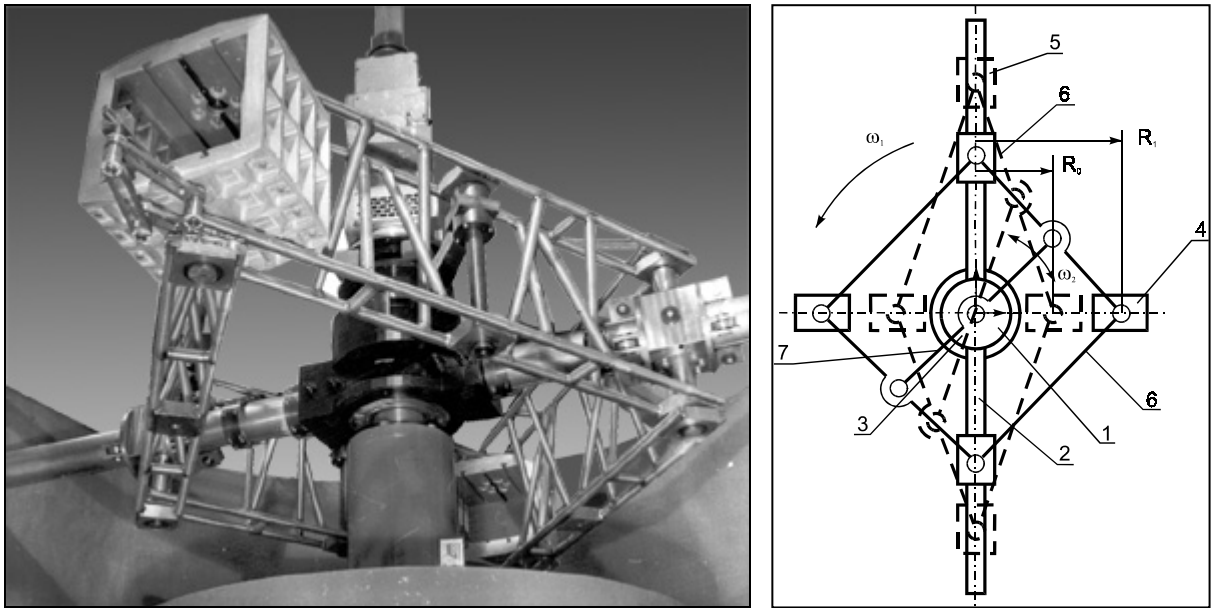
Создание научного направления, связанного с исследованиями, конструированием и изготовлением прецизионных центрифуг, принадлежит профессору кафедры "Теория механизмов и машин" Санкт-Петербургского государственного политехнического университета доктору технических наук Георгию Алексеевичу Смирнову. Работая в этой области с 1960 г., Г.А.Смирнов разработал и постоянно совершенствовал методическое обеспечение создания высокоточных градуировочных систем. С его участием и под его руководством была создана гамма прецизионных центрифуг, в том числе Государственные первичные эталоны единицы постоянного линейного ускорения и единицы переменного низкочастотного линейного ускорения.

В зависимости от поставленных задач параметры поля могут быть различны. Для целей градуировки используют поле постоянного линейного ускорения. Высокая точность достигается специальными технологиями в части стабилизации скорости вращения и нормирования погрешностей узлов механической части стенда. Такие стенды называются "прецизионными" и, кроме постоянного линейного ускорения, могут обеспечивать испытательные воздействия в виде нарастания-убывания ускорения по заданному закону. Управление вращением в программном режиме менее точное. Однако использование кварцевого генератора и соответствующих компьютерных управляющих программ позволяют вписаться в 1% среднеквадратического отклонения от текущего значения параметра в измеряемом диапазоне. Несколько образцов таких стендов, изготовленных за последние пять лет, успешно эксплуатируются на предприятиях России.

Возрождается интерес к стендам сложных движений. Поступил ряд официальных и неофициальных предложений на создание стендов для воспроизведения комбинированных воздействий в поле линейного ускорения, в том числе и с вибрацией. Использование таких стендов в технологической цепи разработки и создания инерционных систем имеет значительную экономическую целесообразность. Исследовательские работы, проведенные в свое время на кафедре теории механизмов и машин, направленные на решение задач воспроизведения трудновоспроизводимых воздействий, завершились созданием макетов и действующих опытных образцов установок, не имеющих аналогов среди известного эксплуатируемого оборудования. Кроме авторов, в работах принимали участие Г.П.Голованов, С.П.Кофанов, М.Я.Красильщиков, А.А.Ксенофонов, В.Н.Николаев, Г.Н.Петров, В.Н.Соколюк, В.А.Терешин, С.Ю.Чернокрылов. Ниже предлагается краткое описание некоторых разработок.

На рис. 1, а представлена фотография ротационного стенда ЦГ-2 для воспроизведения градиентов линейных ускорений до  $\pm 10.000 \text{ м/с}^3$  [1]. Испытательное воздействие достигается путем изменения положения объекта испытания на роторе центрифуги.

На основании 1 (рис. 1, б) расположен привод главного (переносного) движения, обеспечивающий вращение с угловой скоростью  $\omega_1$  направляющих 2 и привода 3 относительно поступательного движения. Каретки 4 и противовесы 5, подвижные относительно направляющих 2, соединены между собой системой рычагов 6 и 7, образуя относительно неподвижную систему, уравновешенную относительно оси вращения.

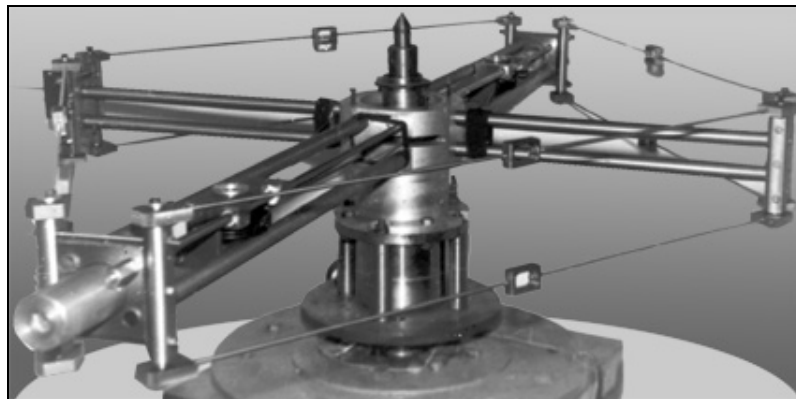


а)

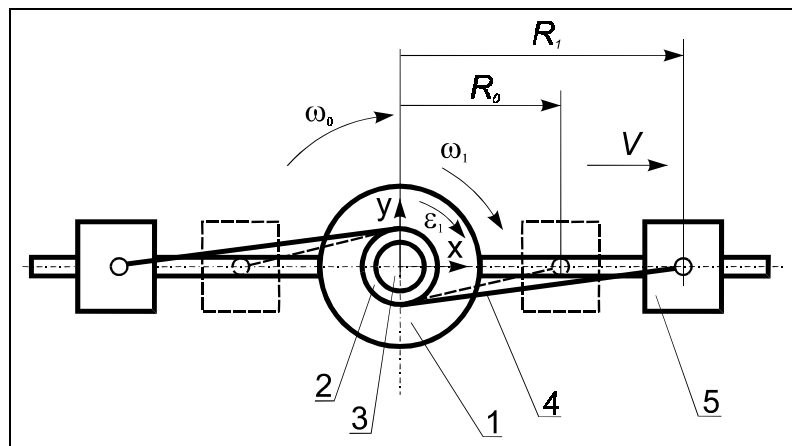
б)

**Рис. 1. Ротационный стенд ЦГ-2 (а) и его кинематическая схема (б).**  
 1 – основание; 2 – направляющие; 3 – привод относительного движения; 4 – каретки;  
 5 – противовесы; 6, 7 – рычаги

Параметры воспроизводимого воздействия определяются значениями  $\omega_1$ ,  $R_0$  и  $R_1$ , а также законом  $\omega_2 = \omega_2(t)$ .



а)



б)

**Рис. 2. Стенд для воспроизведения больших угловых ускорений: макет (а) и кинематическая схема (б).**  
 1 – основание; 2 – поворотный стол; 3 – объект; 4 – гибкие тяги; 5 – разгонные массы

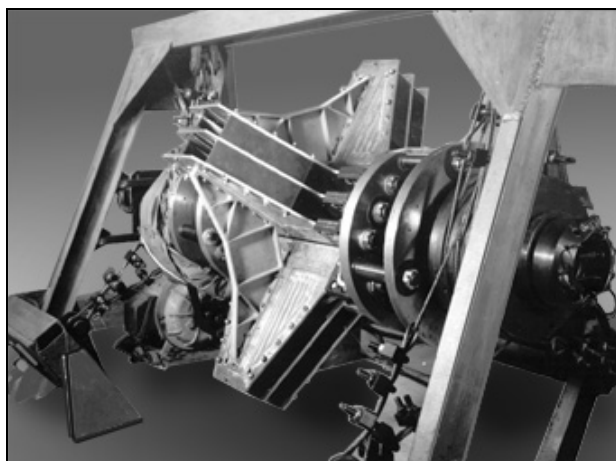
На рис. 2, *а* представлена фотография макета стенда, предназначенного для воспроизведения углового ускорения с амплитудой до  $10^4 \text{с}^{-2}$  и длительностью до 15 мс. В стенде использован инерционный метод разбега.

Основание 1 (рис. 2, *б*) приводится во вращение двигателем, обеспечивающим переносное движение с угловой скоростью  $\omega_0$ . На основании 1 соосно установлен поворотный стол 2 с объектом 3. Гибкие тяги 4 намотаны на шкивы стола 2 и закреплены на разгонных массах 5. Заданные значения углового ускорения достигаются в процессе инерционного движения разгонных масс от  $R_0$  до  $R_1$ .

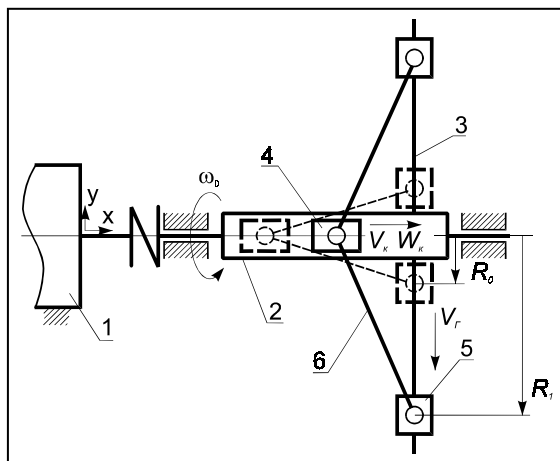
В стенде для воспроизведения импульса линейного ускорения (рис. 3, *а*) также использован инерционный метод разгона объекта испытания. Максимальное значение импульса ускорения составляет  $2 \cdot 10^5 \text{ м/с}^2$ , а его длительность – 0,02 с.

Кинематическая схема стенда представлена на рис. 3, *б*. Двигатель 1 обеспечивает переносное движение со скоростью  $\omega_0$  ротору, который состоит из осевой направляющей 2 и радиальных направляющих 3. Контейнер 4 для объекта испытания и разгонные грузы 5 связаны друг с другом тягами 6.

В исходном положении разгонные грузы зафиксированы на расчетном расстоянии от оси вращения  $R_0$ . После достижения номинального значения  $\omega_0$  фиксаторы снимаются, начинается инерционное движение разгонных грузов, обеспечивая определенные параметры движению контейнера (скорость контейнера  $V_k$ , ускорение контейнера  $W_k$ , отрезок времени  $\Delta t$ ) [2].



*а)*



*б)*

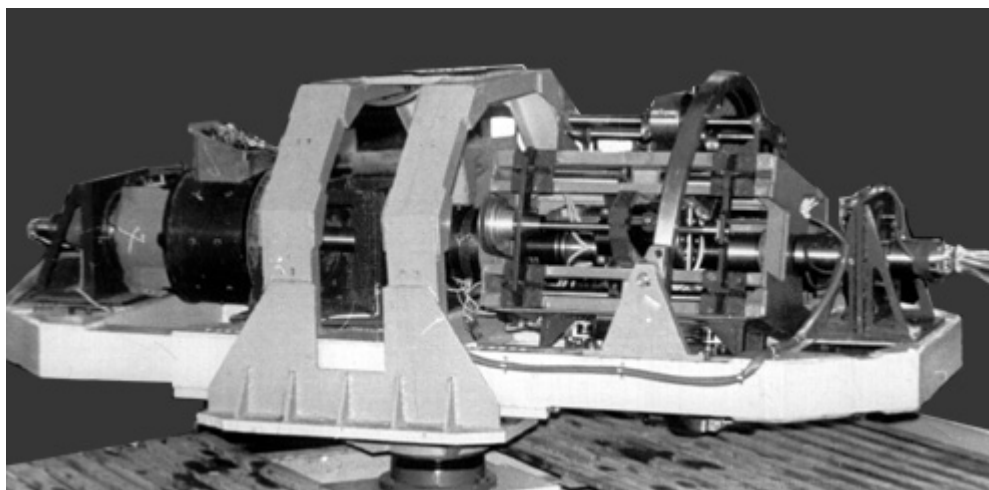
**Рис. 3. Стенд для воспроизведения импульса ускорения (а) и его кинематическая схема (б).**

1 – двигатель; 2 – осевая направляющая; 3 – радиальная направляющая; 4 – контейнер; 5 – разгонные грузы; 6 – тяги

Трехдвигательный центробежный стенд для воспроизведения прецессионно-нутационного движения в поле линейного ускорения изображен на рис. 4.

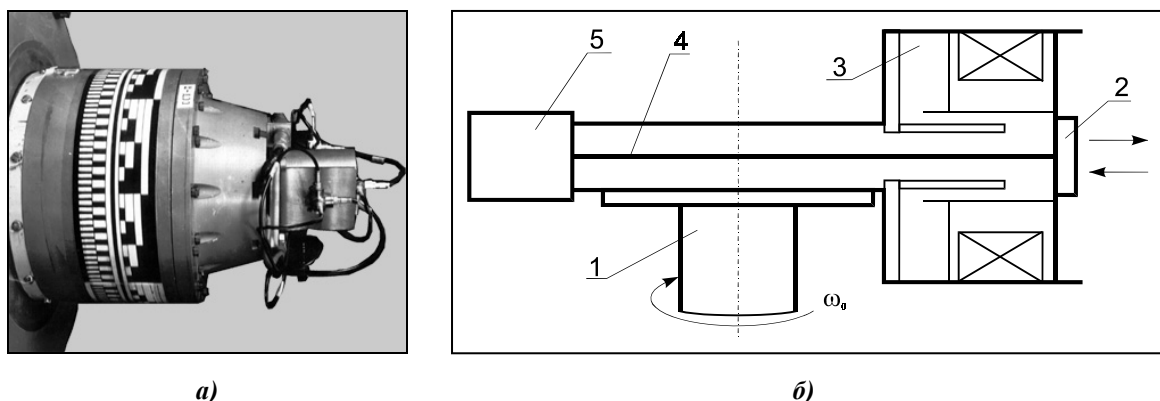
На рис. 5, *а* представлен фрагмент стенда для воспроизведения виброротационного движения в поле линейного ускорения, а на рис. 5, *б* – кинематическая схема этого стенда. Основание 1 вращается со скоростью  $\omega_0$ . Стол 2 для размещения объекта испытания является элементом вибрационной системы 3. Тяга 4 соединяет стол 2 с разгружающей системой 5.

Разгружающая система позволяет значительно расширить диапазон воспроизводимых вибрационных воздействий при ограниченной мощности вибровозбудителя. Последнее очевидно с точки зрения статической нагрузки на центрифугу, являющейся основой любого ротационного стенда. Наиболее рациональным способом воспроизведения вибрационных воздействий на центрифугах является использование резонансного эффекта [3].

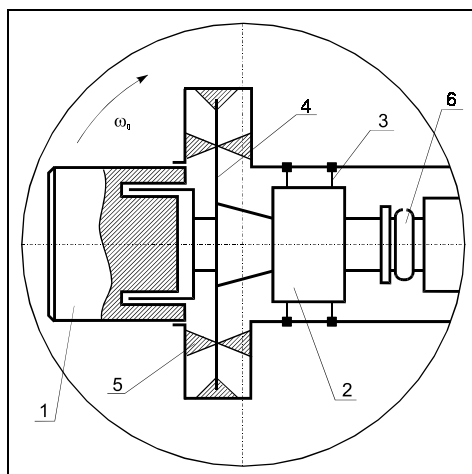


*Рис.4. Стенд для воспроизведения прецессионно-нутационного движения в поле линейного ускорения*

Испытываемый объект помещается в контейнер, который установлен на упругом подвесе, собственная частота которого подбирается близкой к частоте вибровозбуждения. При совпадении частот энергия вибратора будет расходоваться только на преодоление диссипативных сил. На рис. 6 изображена схема ротационного стенда для резонансного воспроизведения вибрационного воздействия в широком диапазоне частот в поле линейного ускорения.



*Рис. 5. Стенд для воспроизведения виброротационного движения в поле линейного ускорения: а – фрагмент стенда; б – схема*



*Рис. 6. Схема ротационного стенда для резонансного воспроизведения вибрационного воздействия. 1 – электродинамический вибратор; 2 – контейнер; 3 – подвес; 4 – резонатор; 5 – зажимы; 6 – опора*

Платформа вращается вокруг оси  $O$  с угловой скоростью  $\omega_0$ . Электродинамический вибратор 1 устанавливается, по возможности, вблизи оси вращения  $O$ . Контейнер 2 с объектом испытания установлен на мягком подвесе 3. Резонатором является металлическая деталь 4, активная длина которой регулируется подвижными упорами - зажимами 5. Низкочастотная пневматическая опора 6 выполняет функцию разгрузителя, компенсируя центробежные силы от подвижных масс, неуравновешенных относительно оси  $O$ . При изменении скорости вращения  $\omega_0$  давление воздуха в опоре 6 изменяется в соответствии с условиями равновесия системы.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Евграфов А.Н., Каразин В.И., Смирнов Г.А.** Роторные стенды для воспроизведения параметров движения. // Научно-технические ведомости СПбГТУ. – СПб.: СПбГТУ. – 1999. № 3(17). – с. 89 – 94.
2. **Каразин В.И., Хлебосолов И.О.** Динамика инерционного стенда с деформируемыми звеньями. // Испытательные и поверочные стенды. – Л.: ЛГТУ, 1992. с. 32–35.
3. **Ксенофонтов А.А., Николаев В.Н., Чернокрылов С.Ю.** Динамический стенд многофункционального назначения. // Испытательные и поверочные стенды. – Л.: ЛГТУ, 1992. с.29–32.