

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК РАЗЛИЧНЫХ ПО ВЫСОТЕ ПОДВОДИМЫХ ОПОР VIBRACON SM ПРИ ИЗМЕНЯЮЩИХСЯ НАГРУЗКАХ С РАЗНЫМИ ЧАСТОТАМИ

М.А. Пятакова

pyatakovama@asv.org.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

### Аннотация

*Данная статья является продолжением ранее опубликованной работы, в которой были представлены результаты эксперимента над регулируемой по высоте подводимой опорой Vibracon SM. Показано, что в подводимых опорах Vibracon SM существуют значительные упругие деформации. При завинчивании гайки на винте и в результате предварительного сжатия и окончательного завинчивания первоначальный контакт деталей из контакта по линии перерастает в контакт по плоскости. В результате этого происходит проскальзывание и имеет место петля гистерезиса, площадь которой зависит от амплитуды силы, действующей на опору.*

### Ключевые слова

*Подводимые опоры, исследования на жесткость, деформации*

Поступила в редакцию 29.05.2017

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017

Поскольку в данной статье раскрыты подробности второй части эксперимента, результаты первой части которого были опубликованы ранее [1], кратко изложим суть первичного эксперимента и рассмотрим объект исследования.

Для начала стоит сказать об актуальности проводимой работы. Одной из причин быстрого износа деталей является излишняя вибрация, вызываемая неплотным прилеганием конструкции к основанию (так называемой мягкой лапой, рассмотренной в [1]), которое в свою очередь обусловлено низким качеством и высокой ненадежностью традиционных жестких способов фиксации. И редукторы на полупогружных буровых платформах, рассматриваемых в качестве области применения объекта исследования в нашей магистерской диссертации, и другое тяжелое оборудование, установлены и закреплены жестким способом. Такая манера закрепления машин сильно упрощена и имеет свои последствия при анализе статических и динамических свойств механических систем. Альтернативой традиционной посадке машин на основание с использованием компенсирующих стальных подкладок или более современных литых пластмассовых опор является использование регулируемой по высоте самоустанавливающейся подводимой опоры Vibracon от фирмы SKF, Швеция (рис. 1) [2, 3].

Данные монтажные элементы состоят из трех деталей: основания 1, неподвижного при регулировке, гайки 2 (верхняя поверхность — сферическая), перемещаемой вдоль оси болта, и сферической самоустанавливающейся шайбы 3, допускающей угол перегиба опорных поверхностей машины и рамы до 4°. Опоры

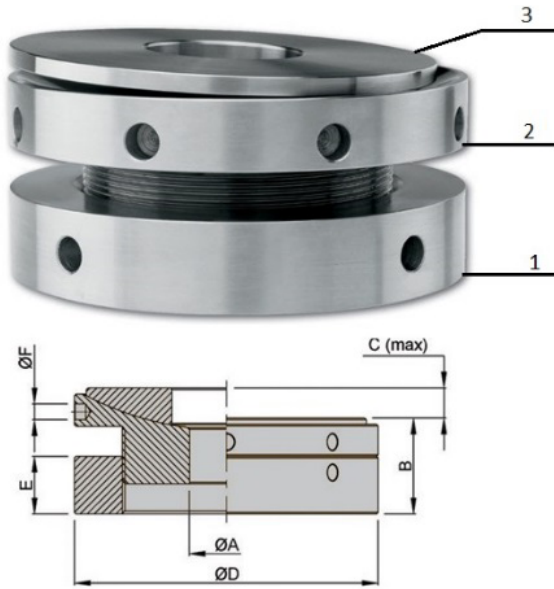


Рис. 1. Регулируемая подводимая опора Vibracon SM

данного типа изготавливают различных размеров и используют для установки тяжелого оборудования. В экспериментальных исследованиях были применены сервогидравлическое оборудование (модель 8501plus) производства фирмы Instron и специальное программное обеспечение WaveMaker (профессиональная компьютерная программа, предназначенная для динамических испытаний). Принципиальная схема испытательного стенда показана на рис. 2.

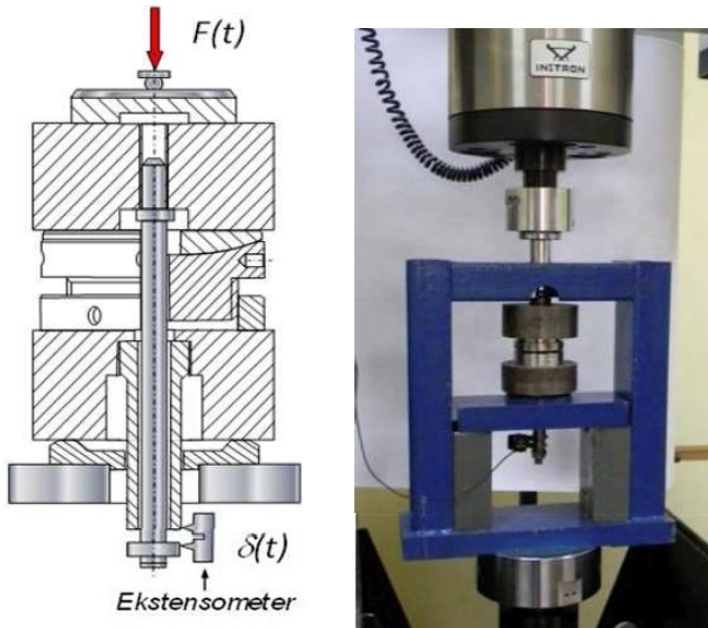


Рис. 2. Экспериментальная установка

Испытания проводились с новой регулируемой подводимой опорой Vibracon SM 12 со следующими параметрами [4]: номинальный диаметр  $D = 60$  мм (см. рис. 1), диаметр отверстия  $d = 15$  мм, номинальная высота  $H = 34$  мм, эксплуатационная высота  $h = [30...38]$  мм, максимальная нагрузка на опору  $F = 48$  кН, параметры шероховатости сжимающих стальных дисков  $R_a = (13,5 - 14,5)\mu\text{м}$ , параметры шероховатости рабочих поверхностей детали 3  $R_a = (0,87 - 0,90)\mu\text{м}$  и детали 2  $R_a = (2,28 - 1,37)\mu\text{м}$  соответственно.

Испытуемый образец был помещен между двумя плоскими гранями стальных дисков и сжат определенной силой  $F$ . Испытания проводились при сухих контактах.

Испытательная система и способ распределения нагрузки были выбраны таким образом, чтобы обеспечить осевую симметрию и равномерное распределение давления, что соответствует нагрузке в реальных условиях. В качестве меры нормальной деформации было принято изменение взаимного расстояния между прижимными поверхностями дисков. Деформации были измерены по оси симметрии системы с помощью экстензометра INSTRON, как показано на рис. 2.

Экспериментальные исследования проводились для двух различных программ нагрузки:

1) нагрузка плавно увеличивалась и уменьшалась во времени с постоянной скоростью  $V = 10,7$  кН/с;

2) нагрузка синусоидально изменялась.

Изменения нагрузки и деформация, вызванная нагрузкой, представлены на рис. 3 в виде графиков, в форме, полученной непосредственно при измерении, записанной и обработанной с помощью компьютера.

На рис. 3, а показаны циклы нагрузки  $F(t)$ , линейно изменяющейся во времени, и циклы деформации объекта  $\delta(t)$ , вызванной этой нагрузкой. Приняв время от силы  $F(t)$  в качестве входной величины и перемещение  $\delta(t)$  в качестве выходной, можно подвергнуть результаты более детальному анализу. На рис. 3, б показаны результаты перевода результатов с рис. 3, а в систему координат  $(F-\delta)$ . Они иллюстрируют зависимость  $A = f(F)$  для первого цикла нагружения испытываемой системы после ее сборки. На рис. 3, в, г представлены характеристики деформаций  $\delta(t)$  для третьего цикла нагружений заданной силой  $F(t)$ .

По результатам исследования (см. рис. 3) линейная нагрузка  $F(t)$  и перемещение  $\delta(t)$  связаны с упругопластическими деформациями. На втором и последующих прогонах деформация, как правило, упругая. Это ясно видно из результатов измерений на рис. 3, б, г.

Малые пластические деформации, происходящие в исследуемой системе во время первого прогона, можно объяснить пластическими деформациями, возникающими в вершинах шероховатостей взаимодействующих поверхностей. Эти деформации иногда могут иметь большое значение при сборке структурных стыков машин и оборудования.

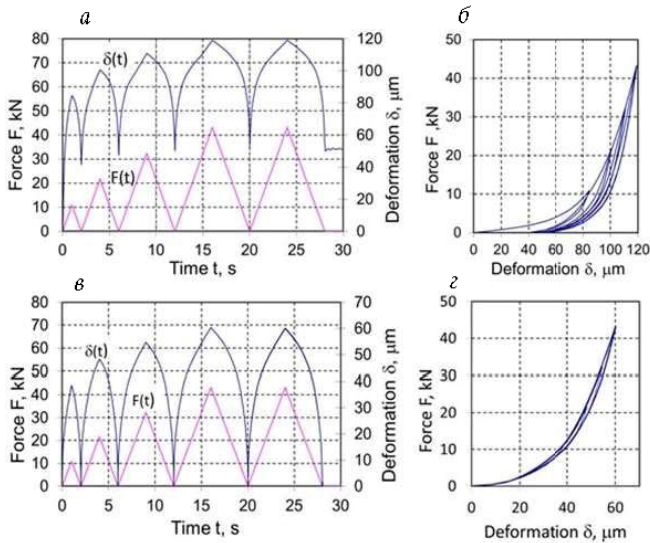


Рис. 3. Деформации, происходящие при первом (а, б) и третьем (в, г) циклах нагружения

На рис. 4 показаны результаты еще одного эксперимента, выполненного с линейно-переменной нагрузкой, прикладываемой в течение долгого времени. Тестовая система была нагружена возрастающей силой постепенно, а разгрузка

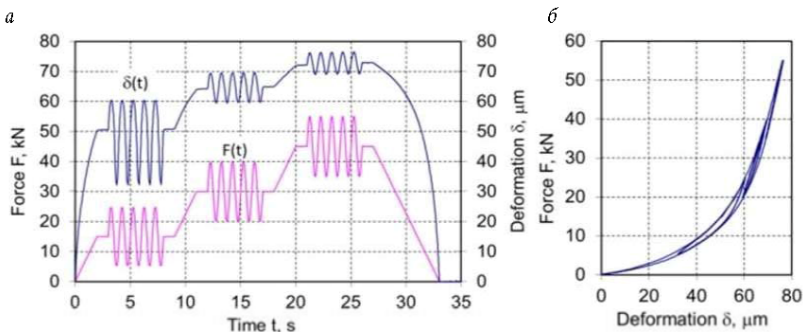
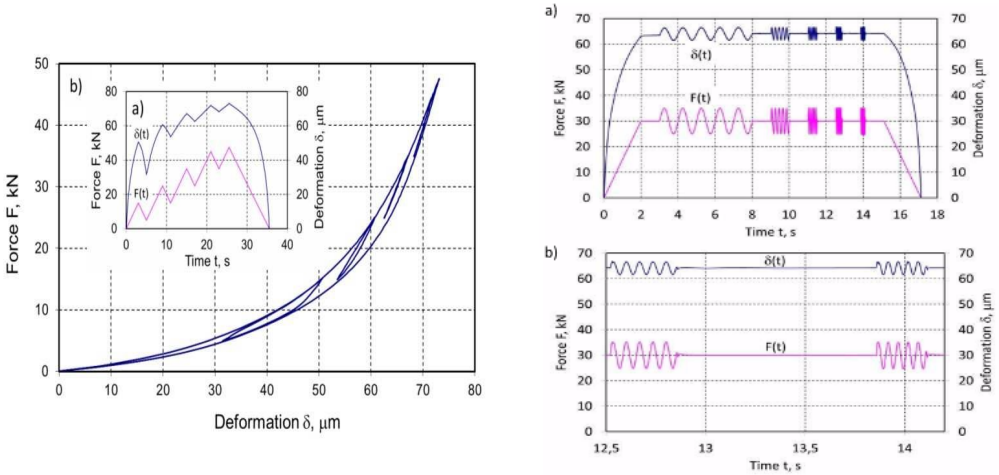


Рис. 4. Деформации при линейно изменяющейся нагрузке

давалась частично. Приложенная нагрузка  $F(t)$  и перемещения  $\delta(t)$ , вызванные этой нагрузкой, показаны на рис. 4, а, обработанные результаты этого эксперимента в системе координат  $(F-\delta)$  — на рис. 4, б. Это соотношение относится к стабилизированной системе. Как видно на рис. 4, б, деформация тестируемой системы возрастает непрерывно. Во время разгрузки и приложения повторной нагрузки предыдущего значения обнаруживается четкое отклонение зависимости от основной кривой нагрузки и, следовательно, образуются петли гистерезиса. Когда сила достигает своего предыдущего значения, дальнейшее увеличение деформации характеризуется кривой деформаций от непрерывного постоянного увеличения нагрузки на данную систему. Кривая разгрузки для системы (измеряется общей разгрузкой) не совпадает с кривой нагружения. Они образуют довольно

большую петлю гистерезиса. Деформации испытуемой системы являются упругими, и они исчезают полностью и сразу же после его разгрузки.

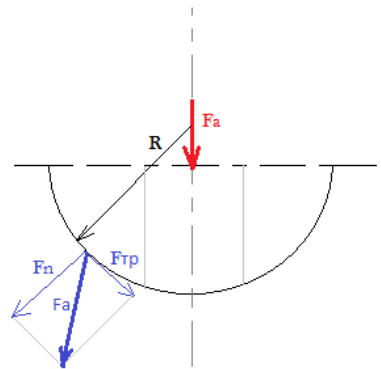
Результаты представленных выше испытаний касаются номинальной высоты тестируемого образца  $H = 34$  мм. Следует отметить, что была принята во внимание регулируемая высота исследуемой опоры и произведены измерения деформаций минимальной и максимальной (30 и 38 мм соответственно) высоты (рис. 5). Полученные деформационные характеристики для этих случаев качественно не отличаются от результатов для высоты 34 мм. Следовательно, эти различия не имеют практического значения.



**Рис. 5.** Эксперимент для опор минимальной и максимальной высоты при линейно изменяющейся нагрузке

Податливость исследуемой системы зависит от текущей нагрузки и уменьшается с ее ростом. При циклических нагрузках петли гистерезиса отчетливо видны и показывают рассеивание энергии силами трения (рис. 6) при колебаниях. Мера энергии, рассеиваемой в одном цикле поля вибрации, содержится внутри петли гистерезиса.

На рис. 7 показано влияние средней нагрузки для синусоидально изменяющейся нагрузки с постоянной амплитудой на деформации исследуемой системы. Ясно видно количественное и качественное влияние средней нагрузки на вибрации. Это тесно связано с изменением податливости системы. Чем меньше эта средняя нагрузка при фиксированной амплитуде возбуждающей силы, тем больше наклоны вибрации и петли гистерезиса. В таких условиях обнаруживается нелинейность исследуемой системы, которая играет важную роль при теоретическом и практическом анализе.



**Рис. 6.** Силы трения при контакте

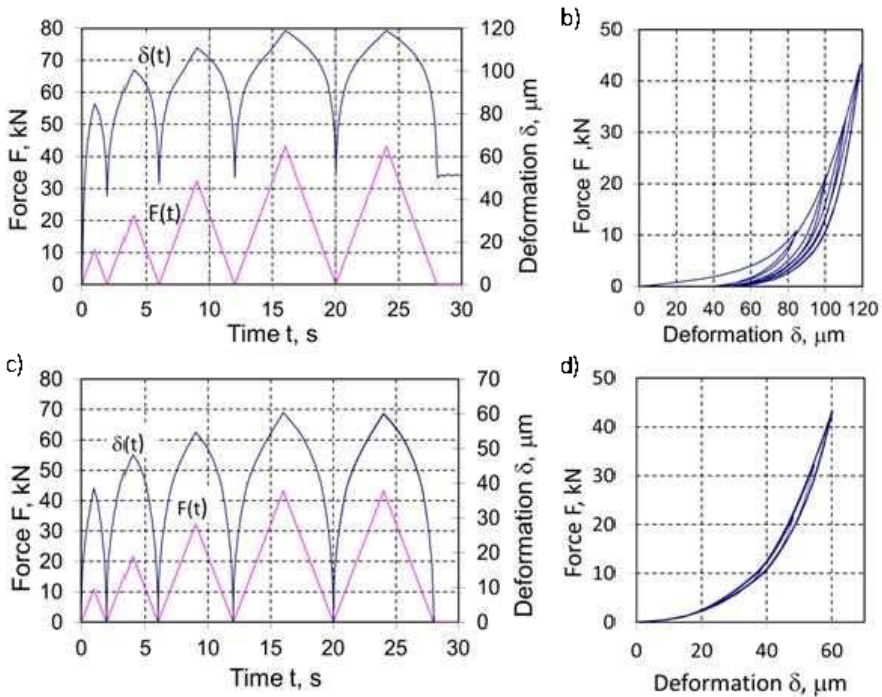


Рис. 7. Характеристики системы, определенные при синусоидальных нагрузках с различными частотами

Результаты экспериментальных исследований, представленных в данной работе, показывают, что в подводимых опорах Vibracon SM существуют значительные упругие деформации. При завинчивании гайки на винте и в результате предварительного сжатия и окончательного завинчивания первоначальный контакт деталей из контакта по линии перерастает в контакт по плоскости. В итоге происходит проскальзывание и имеет место петля гистерезиса, площадь которой зависит от амплитуды силы, действующей на опору. Выводы, представленные в данной статье, являются частью научно-исследовательской работы (магистерской диссертации), направленной на обеспечение надлежащего учета рассмотренных параметров и полученных результатов при моделировании и анализе на прочность и вибрацию исследуемых объектов.

## Литература

- [1] Пятакова М.А., Ряховский О.А. Исследование жесткости регулируемых по высоте подводимых опор Vibracon SM. *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*, 2016, № 6–1, с. 132–135.
- [2] Grudziński P., Konowalski K. Studies of flexibility of a steel adjustable foundation chock. *Advances in manufacturing science and technology*, 2012, vol. 36, no. 2, pp. 79–90.
- [3] Grudziński K., Jaroszewicz W. *Seating of machines and devices on foundation chocks cast of EPY resin compound*. Szczecin, 2004. 188 p.
- [4] *Vibracon SM: Das universelle Stahlpassstück*. Schweinfurt, SKF GmbH, 2015. 4 p.

**Пятакова Мария Алексеевна** — магистрант кафедры «Основы конструирования машин», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

**Научный руководитель** — О.А. Ряховский, д-р техн. наук, профессор кафедры «Основы конструирования машин», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

---

**EXPERIMENTAL STUDY OF CHARACTERISTICS OF VIBROCON SM  
HEIGHT-ADJUSTABLE PROPS UNDER VARYING LOADS  
WITH DIFFERENT FREQUENCIES**

М.А. Pyatakova

pyatakovama@asv.org.ru

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

---

**Abstract**

*This article is a continuation of a previously published work presenting the results of an experiment conducted on a height-adjustable Vibracon® SM prop. The results of the experimental studies presented in this paper show that there are considerable elastic deformations in Vibracon props. When screwing the nut and as a result of precompression and final screwing, the initial contact of the parts from the line contact outgrows into the flush contact. As a result, slippage occurs and a hysteresis loop takes place, the area of which depends on the amplitude of the force acting on the prop. The conclusions given in this article are part of the research work (master's thesis) aimed at ensuring proper consideration of the parameters examined and the results obtained in modeling and studying the props.*

**Keywords***Props, rigidity tests, deformations*© Bauman Moscow State Technical University, 2017

---

**References**

- [1] Pyatakova M.A., Ryakhovskiy O.A. Research on rigidity of height-adjustable chocks Vibracon SM. *Aktual'nye problemy gumanitarnykh i estestvennykh nauk*, 2016, no. 6–1, pp. 132–135.
- [2] Grudziński P., Konowalski K. Studies of flexibility of a steel adjustable foundation chock. *Advances in manufacturing science and technology*, 2012, vol. 36, no. 2, pp. 79–90.
- [3] Grudziński K., Jaroszewicz W. Seating of machines and devices on foundation chocks cast of EPY resin compound. Szczecin, 2004. 188 p.
- [4] Vibracon SM: Das universelle Stahlpasstück. Schweinfurt, SKF GmbH, 2015. 4 p.

**Pyatakova M.A.** — Master's Degree student, Department of Machine Construction Principles, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

**Scientific advisor** — O.A. Ryakhovskiy, Dr. Sc. (Eng.), Professor, Department of Machine Construction Principles, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.