

УДК 624.07

Н.Х. РАКОВСКАЯ

Международный Славянский университет, Харьков, Украина

## О ПРИМЕНЕНИИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ВЕРТИКАЛИЗАЦИИ РАКЕТЫ, РАЗМЕЩЕННОЙ НА АГРЕГАТЕ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА, ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕГО УСТОЙЧИВОСТИ В ПРОЦЕССЕ ДЛИТЕЛЬНОЙ СТОЯНКИ

Опыт эксплуатации агрегатов, передвигающихся по рельсовому пути, свидетельствует о том, что при длительной стоянке агрегата возможна повышенная деформируемость рельсов совместно с основанием пути. Если просадка рельсов сопровождается общим их искривлением, то возникает опасность потери статической устойчивости агрегата. Исчерпывающее решение этой задачи может быть осуществлено на основе комплексного подхода, учитывающего деформацию агрегата, несущую способность колес, а также рельсового пути и основания. С целью повышения устойчивости агрегатов ракетно-космических комплексов при их длительной стоянке в работе рассматриваются системы автоматической вертикализации полезного груза (или автоматического горизонтирования грузовой платформы). Отмечается высокая эффективность применения системы стабилизации для обеспечения длительной устойчивости агрегата в процессе его эксплуатации.

**жесткая грузовая платформа, автоматическая вертикализация, космический комплекс, силовые опоры**

### Введение

Одним из возможных путей разгрузки рельсов и колес при длительной стоянке агрегата может служить применение силовых (или домкратных) опор, полностью разгружающих рельсы и колеса [1 – 4].

Полагая, что прямоугольная платформа агрегата абсолютно жесткая и домкраты размещены в углах платформы (в точках А, В, С и Д рис. 1), проведем оценку смещения нормали от первоначального вертикального ее положения.

Если считать известным распределение массы агрегата вдоль нормали, то необходимо решить задачу о статической устойчивости агрегата, выставленного на силовых опорах [5 – 6]. Для этого положение поверхности платформы в исходном состоянии свяжем с системой координат X, Y, Z и единичными векторами  $\bar{e}_x^0, \bar{e}_y^0, \bar{e}_n^0$  (рис. 1).

### Основная часть

При перемещении силовых опор от исходного положения на величины  $U_0, U_1, U_2, U_3$  поверх-

ность платформы займет новое положение с новыми единичными векторами  $\bar{e}_x^0, \bar{e}_y^0, \bar{e}_n^0$ .

Рассматривая четырехугольники AA'D'D и AA'B'B на рис. 1, получим следующие соотношения для определения единичных векторов в новом положении:

$$\bar{e}_x L_1 = \bar{e}_x^0 L_1 - U_0 \bar{e}_n^0 + U_1 \bar{e}_z^0; \quad (1)$$

$$\bar{e}_y L_2 = \bar{e}_y^0 L_2 - U_0 \bar{e}_n^0 + U_2 \bar{e}_z^0 \quad (2)$$

или

$$\begin{cases} \bar{e}_x \cong \bar{e}_x^0 - \frac{(U_0 - U_1)}{L_1} \bar{e}_n^0, \\ \bar{e}_y \cong \bar{e}_y^0 - \frac{(U_0 - U_2)}{L_2} \bar{e}_n^0. \end{cases} \quad (3)$$

Используя приведенные в (3) соотношения для определения единичных векторов, получим следующее выражение:

$$\begin{aligned} \bar{e}_n = \bar{e}_x \times \bar{e}_y = & \left[ \bar{e}_x^0 + \frac{(U_0 - U_1)}{L_1} \bar{e}_n^0 \right] \times \\ & \times \left[ \bar{e}_y^0 + \frac{(U_0 - U_2)}{L_2} \bar{e}_n^0 \right] \end{aligned} \quad (4)$$

или

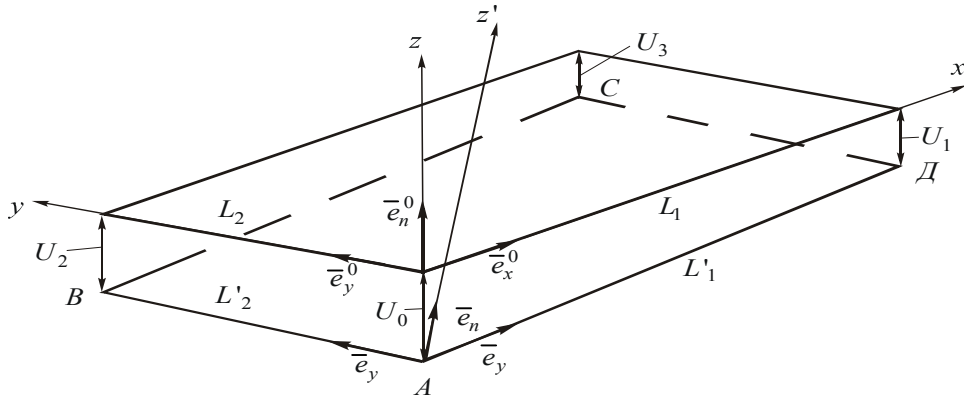


Рис. 1. Схема изменения положения поверхности платформы в результате смещения силовых опор:  $U_0, U_1, U_2, U_3$

$$\begin{aligned} \bar{e}_n = \bar{e}_n^0 - \frac{(U_0 - U_1)}{L_1} \bar{e}_x^0 - \\ - \frac{(U_0 - U_2)}{L_2} \bar{e}_y^0. \end{aligned} \quad (4)$$

Формула (4) позволяет устанавливать насколько (от первоначального направления нормали) отклонилась новая нормаль, обусловленная перемещениями силовых опор. Для решения этой задачи введем вектор

$$\bar{r} = -S \bar{e}_n. \quad (5)$$

С учетом (4) имеем

$$\begin{aligned} \bar{r} = \bar{e}_n^0 S + S \left[ \frac{U_0 - U_1}{L_1} \right] \bar{e}_x^0 + \\ + S \left[ \frac{U_0 - U_2}{L_2} \right] \bar{e}_y^0. \end{aligned} \quad (6)$$

Второе и третье слагаемые формулы (6) позволяют определить величину отклонения исходной нормали  $\bar{e}_n^0$  при развороте платформы:

$$\begin{cases} \Delta \bar{r}_x = S \left[ \frac{U_0 - U_1}{L_1} \right] \bar{e}_x^0; \\ \Delta \bar{r}_y = S \left[ \frac{U_0 - U_2}{L_2} \right] \bar{e}_y^0. \end{cases} \quad (7)$$

Суммарное значение вектора отклонения нормали  $\Delta \bar{r}_z(S)$  на расстояние  $s$  от плоскости платформы определяется на основании (7):

$$\begin{aligned} \Delta \bar{r}_z(S) = \Delta \bar{r}_x + \Delta \bar{r}_y = \\ = S \left\{ \left[ \frac{U_0 - U_1}{L_1} \right] \bar{e}_x^0 + \left[ \frac{U_0 - U_2}{L_2} \right] \bar{e}_y^0 \right\}. \end{aligned}$$

Если предположить, что центр массы транспортного агрегата с «полезным» грузом совпадает с геометрическим центром платформы и находится на высоте  $H_0$  от ее поверхности, то условие статической устойчивости агрегата с грузом на основе (7) запишется относительно осей  $x, y$  в виде

$$\begin{cases} H_0 \left[ \frac{|U_0 - U_1|}{L_1} \right] < \frac{L_1}{2}; \\ H_0 \left[ \frac{|U_0 - U_2|}{L_2} \right] < \frac{L_2}{2} \end{cases}$$

или в несколько преобразованном виде

$$\begin{cases} |U_0 - U_1| < \frac{L_1^2}{2H_0}; \\ |U_0 - U_2| < \frac{L_2^2}{2H_0}. \end{cases} \quad (8)$$

Анализируя проблему статической устойчивости агрегата с крупногабаритным полезным грузом, расположенным вертикально на грузовой платформе, необходимо учитывать свойства подрельсовых (или подопорных) сред, которые, в общем случае, являются весьма сложной структурой, которая может быть описана в рамках упруго-вязко-пластических реологических моделей [7 – 8].

Простейшая модель такой среды приводится на рис. 2. Наличие вязко-пластических свойств грунта приводит к тому, что под действием длительно действующей статической нагрузки со стороны тяжелого агрегата возникают перемещения рельсового пути (или специальных опорных устройств).

Поскольку для тяжелых агрегатов специального назначения предъявляются повышенные требования к обеспечению вертикализации объекта, то для выполнения этих требований используются системы автоматического регулирования.

Известно, что для обеспечения автоматического горизонтирования абсолютно жесткой грузовой платформы достаточно управления положением двумя опорами, расположенными, например, в двух углах *A* и *C* (рис. 3).

С помощью двух источников уровня и трех гидроцилиндров в сочетании с автоматической системой регулирования обеспечивается горизонтирование грузовой платформы.

Типовая схема системы автоматического горизонтирования (САГ) приводится на рис. 4.

При просадке рельсового пути появляются сигналы от датчиков уровня ( $D_i$ ), которые через усилители-преобразователи ( $УП_i$ ) и вычислительное

устройство ( $ВУ_{1,2,3}$ ) выдают сигналы приводам ( $ПП_i$ ) гидроцилиндров, возвращая грузовую платформу вновь в горизонтальное положение.

На рис. 4 приведена САГ с тремя каналами управления и тремя управляющими опорами, например, *A*, *B*, *C* (рис. 3). Это делается с целью обеспечения выдерживания (если это необходимо) определенного расстояния платформы от опорной поверхности, а также для повышения надежности горизонтирования.

В случаях больших нагрузок на грузовую платформу гидроприводов, обеспечивающих разворот грузовой платформы относительно, например, оси *Y-Y* (рис. 3), они могут объединяться в группы из нескольких гидроприводов. Такое объединение может снижать требуемое давление в гидроцилиндрах и более равномерно распределять нагрузку от грузовой платформы на рельсовый путь.

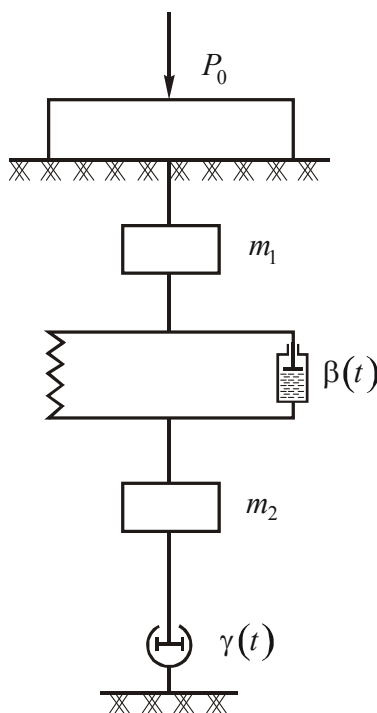


Рис. 2. Простейшая модель подрельсовых (подопорных) сред:

$m_1$  – масса упругой части уплотненного ядра грунта;

$m_2$  – масса неупругой части ядра грунта;  $\alpha$  – упругий элемент модели;

$\beta(t)$  – вязкий элемент модели;

$\gamma(t)$  – вязкий элемент, определяет скорость установившегося течения в стадии сдвигов

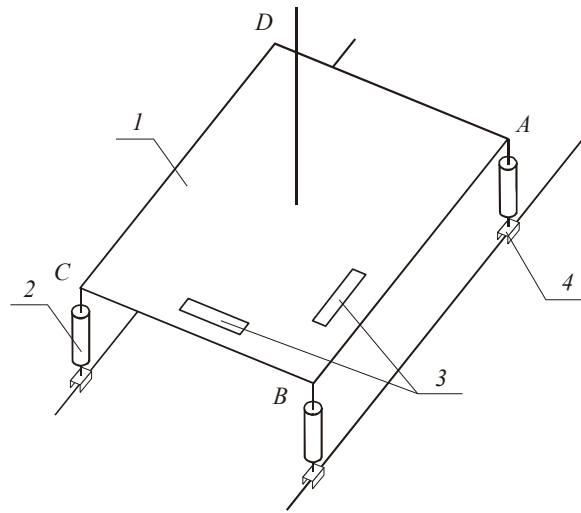


Рис. 3. Автоматическое горизонтирование абсолютно жесткой грузовой платформы:  
1 – жесткая грузовая платформа; 2 – гидроцилиндры, служащие для перемещения узловых точек платформы;  
3 – датчики уровня; 4 – опоры платформы

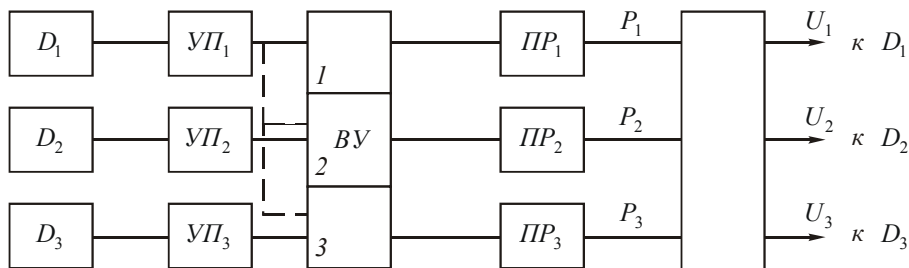


Рис. 4. Типовая схема автоматического горизонтирования (САГ):  
 $D_i$  – датчики;  $УП_i$  – усилитель-преобразователь;  $ВУ$  – вычислительное устройство;  
 $ПП_i$  – приводы опор;  
 $P_i$  – управляющие усилия, прикладываемые через связи к платформе;  
 $U_i$  – перемещения платформы в процессе ее горизонтирования

В случаях, когда грузовая платформа является абсолютно жесткой, то двух датчиков горизонтирования достаточно.

Если грузовую платформу нельзя считать абсолютно жесткой, то число датчиков горизонтирования определяется из следующего условия: граница крепления полезного груза и грузовой платформы образуют плоскую кривую.

Однако такой подход может оказаться достаточно сложным в реализации. Поэтому, если полезный груз можно рассматривать как жесткую конструкцию, то может оказаться более эффективной установка горизонтальной плоскости с двумя датчиками уровня непосредственно на полезном грузе (рис. 5).

В этом случае отсутствует проблема с построением контактного контура: полезный груз – грузовая платформа в горизонтальной плоскости.

При этом система автоматического горизонтирования, получая сигналы от датчиков уровня и поддерживая в горизонтальном положении плоскую поверхность с датчиками уровня, будет тем самым обеспечивать поддержание вертикального положения полезного груза.

Важно иметь в виду, что при больших (по весу) полезных грузах возникает необходимость в равномерном распределении внешней нагрузки на опоры грузовой платформы.

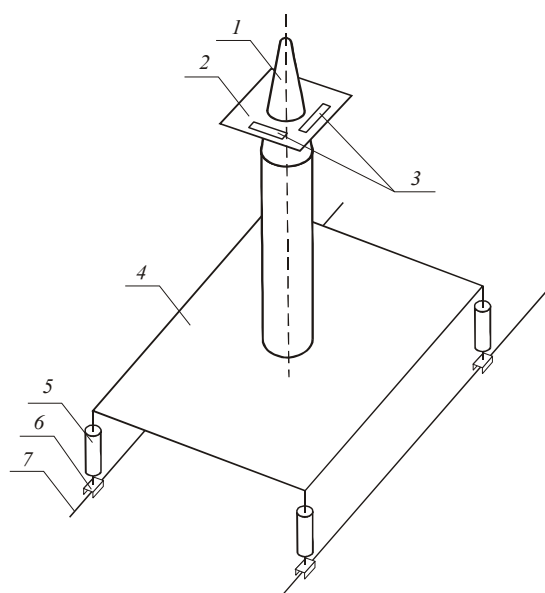


Рис. 5. Установка горизонтальной плоскости с двумя датчиками уровня на полезном грузе:  
 1 – полезный груз; 2 — базовая плоская поверхность; 3 – датчики уровня;  
 4 – грузовая платформа; 5 – гидроприводы; 6 – опоры грузовой платформы;  
 7 – рельсовый путь

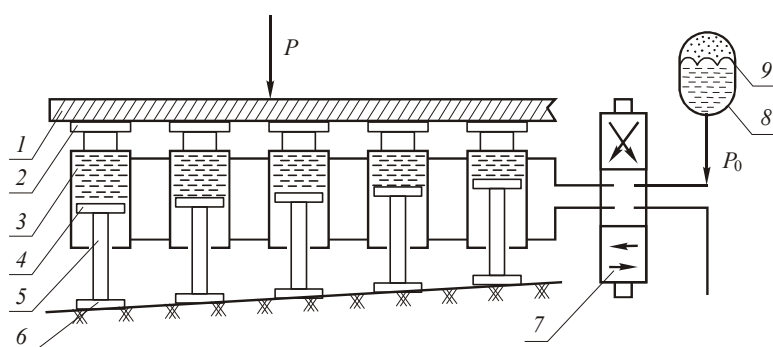


Рис. 6. Привод с регулирующими гидроцилиндрами:  
 1 – грузовая платформа; 2 – узел крепления гидроцилиндра к грузовой платформе; 3 – гидроцилиндры;  
 4 – поршень гидроцилиндра; 5 – силовой шток; 6 – силовая опора; 7 – золотник (схема);  
 8 – гидроаккумулятор; 9 – разделительная мембрана

Из различных вариантов силовых приводов весьма эффективными можно считать приводы с регулируемыми гидроцилиндрами (рис. 6).

Применение таких схем силовых приводов обеспечивает практически постоянную нагрузку на рельсовые пути или опорные плиты даже в случае их перемещения, вызванного вязко-пластическими процессами в грунте.

Необходимо иметь ввиду, что при большом весе полезного груза возникает необходимость опирания

грузовой тележки на значительное число силовых опор.

При этом следует (в общем случае) силовые приводы опор объединять в ряд изолированных групп с тем, чтобы из-за изменения положения внешней нагрузки не могло произойти опускание поршня на дно гидроцилиндра за счет выдавливания из верхней его полости жидкости в соседние, менее нагруженные силовые гидроцилиндры.

### Выводы

В работе приведен анализ условий статической устойчивости тяжелых агрегатов при деформации рельсов с основанием рельсового полотна (или отдельных опор с их основанием).

Получены зависимости, позволяющие проводить оценку потери статической устойчивости агрегата в зависимости от перемещения его опор.

В работе также анализируется возможность применения системы автоматической вертикализации полезного груза (или автоматического горизонтирования жесткой грузовой платформы) для обеспечения поддержания длительное время в вертикальном положении полезного груза при перемещении опор, вызванных вязко-пластическим свойством грунта.

### Литература

1. Гусев Ю. М. Определение осадки сооружений при неравномерной нагрузке. – К.: Высш. шк., 1976. – 106 с.
2. Исследование новых конструкций железнодорожного пути / Под ред. Г. М. Шахунянца // Тр. МИИТ. – 1973. – Вып. 382. – 168 с.
3. Ковальский Б. С., Раковская-Башмакова Н. Х. О конструкции фундаментов путей подвижных

агрегатов // Механика технологического оборудования. МО СССР. – 1991. – Вып. 2. – С. 36 – 44.

4. Раковский Х. В., Раковская-Башмакова Н. Х. Ходовая часть сверхтяжелых специальных агрегатов – рельсы – основание путей. – Х.: МСУ, 1998. – 84 с.

5. Гордеев В. А. Влияние размеров на усилия и деформации балок на упругом основании // Транспортное строительство. – 1971. – № 8. – С. 46 – 47.

6. Інженерна геологія. Механка ґрунтів, основи і фундаменти / М.Л. Зоценко, В.І. Коваленко та інші. – К.: Вища школа, 1992. – 408 с.

7. Алексеев В.М., Тихомиров В.М., Фомин С.В. Оптимальное управление. – М.: Наука, 1979. – 430 с.

8. Раковский Х.В., Раковская Н.Х. Сопряженные задачи высоконагруженных специальных агрегатов (комбинированная нагрузка на ходовые колеса) // Механіка та машинобудування. – Х.: Нац. техн. ун-т „ХПІ”, відділення механіки та машинобудування АН Вищої школи України. – 2003. – Вип. 3. – С. 91 – 93.

*Поступила в редакцию 27.07.2004*

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. И.М. Приходько, Харьковский военный университет, Харьков.