

Повышение устойчивости импульсных систем на колесном шасси при работе на деформируемых грунтах

В.В. Зеленов¹, Е.Б. Сарач¹, И.А. Смирнов²

¹ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва 105005, Россия

² Московское высшее военное командное училище, Москва 109380, Россия

Предложен метод повышения устойчивости импульсных систем на колесном шасси при работе на деформируемых грунтах. Метод получен с использованием имитационного математического моделирования динамики системы при работе специального оборудования. Математическая модель включает в себя подсистемы деформируемого опорного основания и выносных опор — аутригеров.

E-mail: sarach@yandex.ru

Ключевые слова: колесная машина, деформируемое опорное основание, устойчивость, опрокидывание, импульсные системы, подвеска, аутригеры.

Импульсные системы на колесном шасси (ИСКШ) обладают низкой устойчивостью при работе на слабонесущих грунтах. При боковом действии импульса вследствие заглубления в грунт аутригеров ИСКШ может потерять устойчивость, что приведет к полному ее опрокидыванию. В связи с этим особую актуальность приобретает разработка научно обоснованной концепции повышения устойчивости ИСКШ при работе на деформируемых грунтах.

Ниже предложен метод повышения устойчивости ИСКШ при работе на деформируемых грунтах, разработанный с использованием имитационной математической модели динамики корпуса ИСКШ [1]. Деформируемое опорное основание в этой модели задается следующим образом. При многократном нагружении зависимость реакции N , действующей на опору (выносная опора или колесо) со стороны грунта, от его деформации определяется процессом нагружения. Если грунт деформируется впервые, то реакция

$$N = N_{\max} (1 - e^{-\Delta/k}), \quad (1)$$

где N_{\max} — максимальная нормальная реакция грунта, с которой он сопротивляется вертикальной деформации; Δ — деформация грунта; k — коэффициент.

При снятии нагрузки эта зависимость становится линейной:

$$N = c\Delta, \quad (2)$$

где c — жесткость грунта.

При последующих нагружениях, пока деформация грунта меньше, чем при предыдущих нагружениях, силу N определяют по формуле (2), а когда грунт уплотнится на большую глубину — по формуле (1).

Типовой график зависимости $N(\Delta)$ при многократном нагружении представлен на рис. 1. Стрелками здесь показана последовательность нагружения.

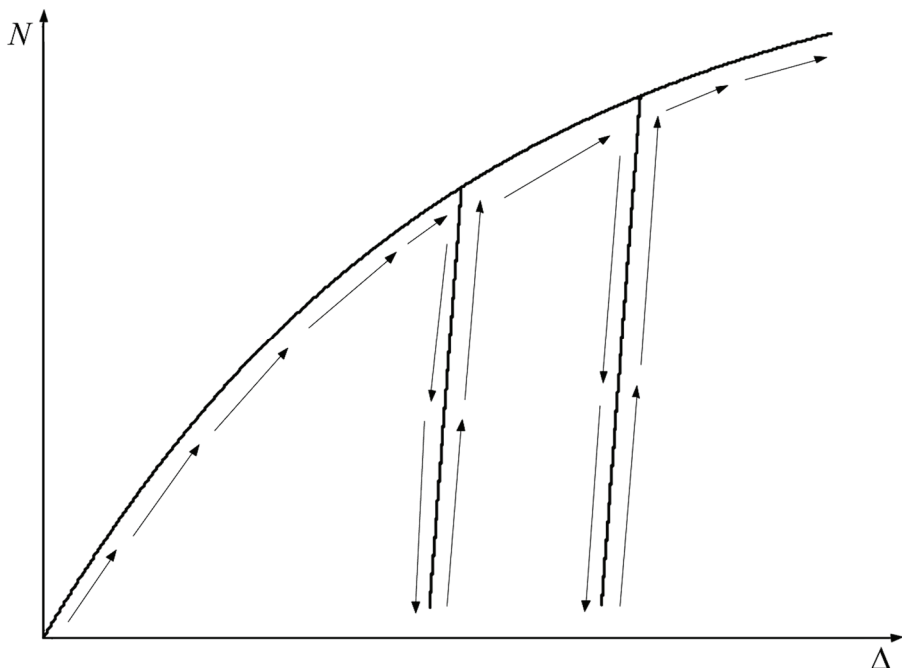


Рис. 1. Зависимость реакции грунта от его деформации при многократном нагружении

В программном комплексе MATLAB Simulink данный алгоритм деформирования грунта представлен блоком, показанным на рис. 2.

Работу математической модели деформируемого опорного основания можно продемонстрировать на примере модели выносной опоры (аутригера), расчетная схема которой представлена на рис. 3.

Поддрессоренная масса m опирается на грунт через систему поддрессирования с жесткостью c и коэффициентом сопротивления амортизатора μ и дополнительную выносную опору с массой m_1 и изменяемой силой P . На поддрессоренную массу действует внешняя сила $P_{в.}$. Со стороны грунта на дополнительную опору действует нормальная реакция N , определяемая по формуле (1) или (2). Поддрессоренная масса и основание дополнительной опоры перемещаются только по вертикальным координатам z и z_1 соответственно. Уравнения динамики данной системы имеют вид

$$m\ddot{z} = P + P_y + P_d - P_B - mg;$$

$$m_1\ddot{z}_1 = N - P - m_1g,$$

где P_y — упругая сила в системе поддрессоривания; $P_y = cz$; P_d — демпфирующая сила в системе поддрессоривания, $P_d = \mu\dot{z}$; g — ускорение свободного падения.

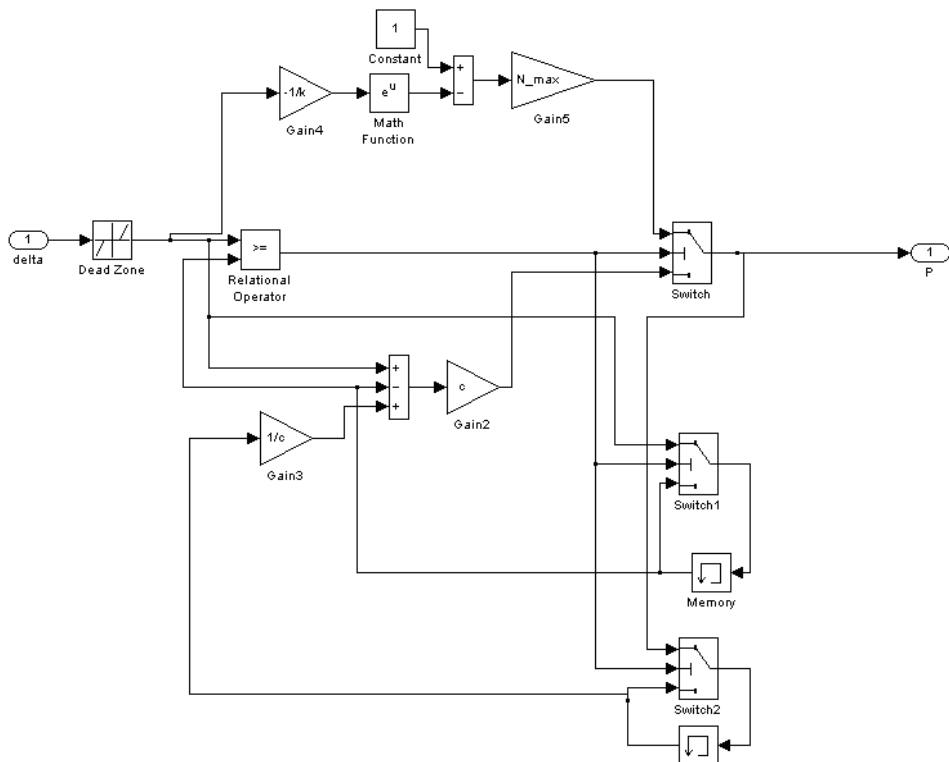


Рис. 2. Блок, представляющий алгоритм деформирования грунта

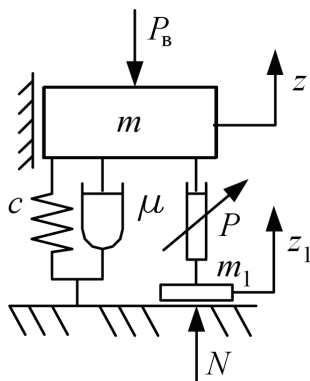


Рис. 3. Расчетная схема выносной опоры

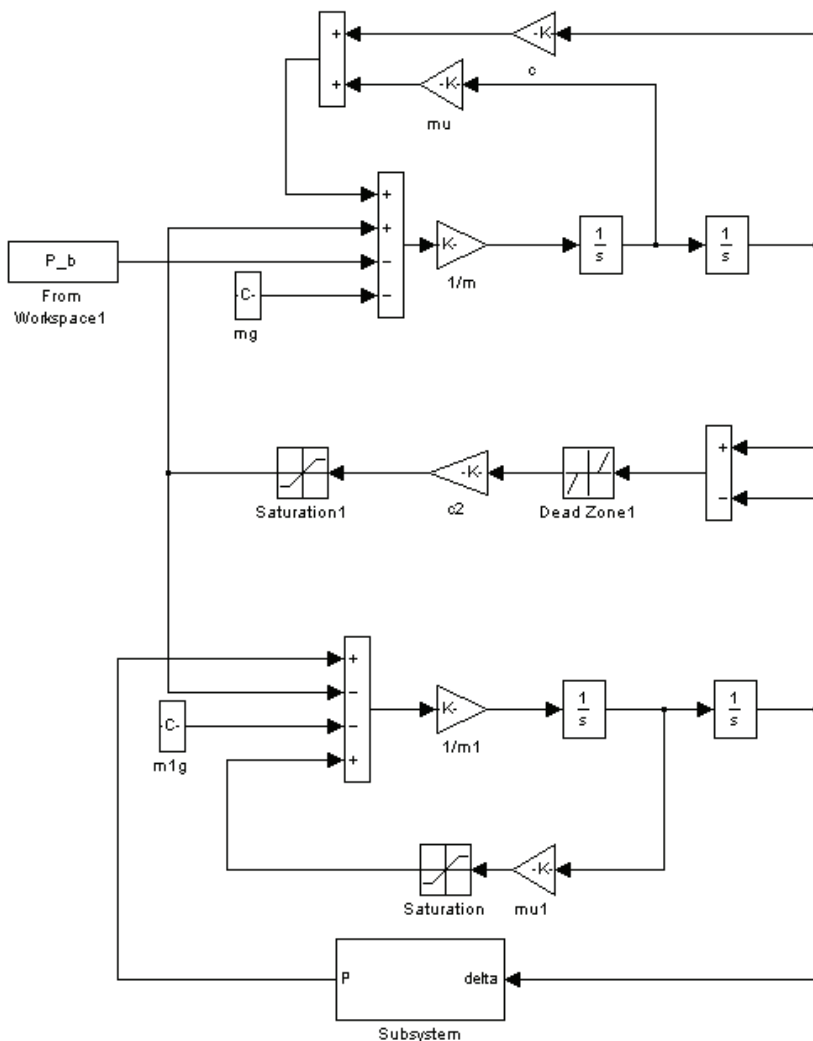


Рис. 4. Блок выносной опоры

В программном комплексе MATLAB Simulink выносную опору, в которую в виде подсистемы входит блок деформируемого опорного основания, представляет блок, приведенный на рис. 4.

Оценим работоспособность блока выносной опоры. Зададим внешнюю силу P_b в соответствии с графиком, представленным на рис. 5, а. Зависимость нормальной реакции грунта от перемещения основания выносной опоры в этом случае примет вид, показанный на рис. 5, б.

Расчетная кривая, полученная с помощью математической модели, по своему характеру соответствует теоретическим и экспериментальным кривым, приведенным в работах [2, 3]. Таким образом, можно сделать вывод, что предлагаемая модель деформируемого опорного основания работоспособна.

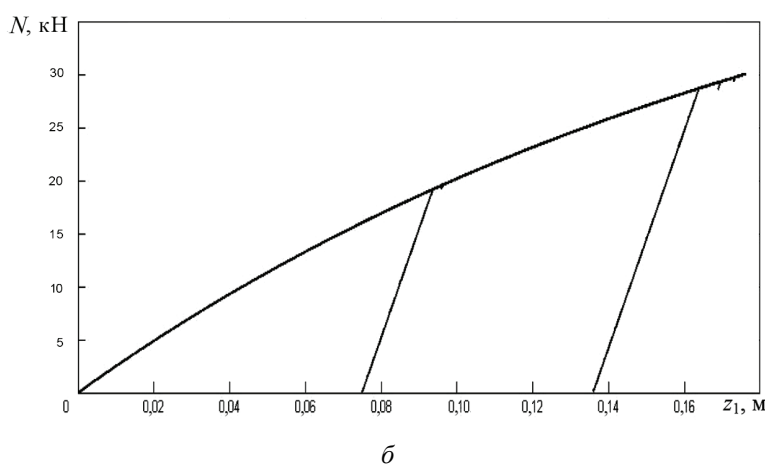
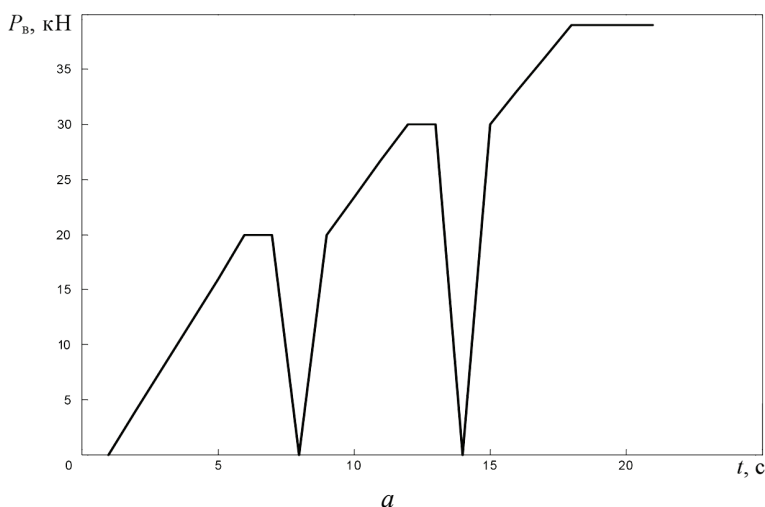


Рис. 5. График изменения внешней силы (а) и соответствующая ему зависимость нормальной реакции грунта от перемещения основания выносной опоры (б)

При разработке метода повышения устойчивости ИСКШ рассматривали режим бокового импульсного воздействия как наиболее сложный случай с точки зрения потери устойчивости. Угол между направлением действия импульсов и продольной осью корпуса машины составлял 90° . Во время моделирования фиксировали нормальную реакцию грунта под выносными опорами, его деформацию, а также углы поперечных колебаний корпуса. Чтобы выносные опоры не передавали весь импульс на деформируемое опорное основание, было установлено следующее ограничение: $P \approx N_{\max}$.

На рис. 6 представлена компрессионная кривая под передней левой выносной опорой, а на рис. 7 — изменение поперечного угла корпуса во время серии импульсов. Видно, что в результате импульсного воздействия выносная опора углубилась в грунт примерно на

16 см, а корпус ИСКШ отклонился от вертикали в поперечной плоскости более чем на 1° при максимальном отклонении 5° . Это значительно меньше, чем в случае жестких выносных опор, где параметры отклонения составили 22 см, $3,5^\circ$ и $6,5^\circ$ соответственно.

Для предотвращения значительных отклонений корпуса в поперечной плоскости предложено оборудовать машину датчиками углового положения в продольной и поперечной плоскостях, по сигналам с которых с помощью выносных опор происходит выравнивание корпуса ИСКШ в процессе работы.

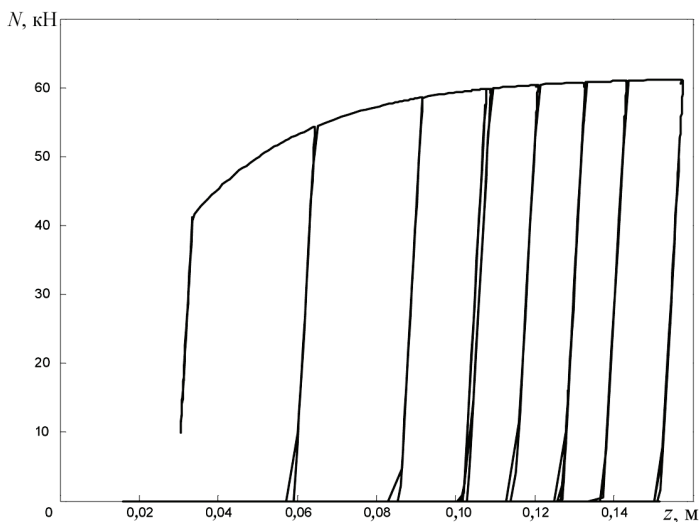


Рис. 6. Компрессионная кривая деформирования грунта под передней левой выносной опорой при ограничении силы P

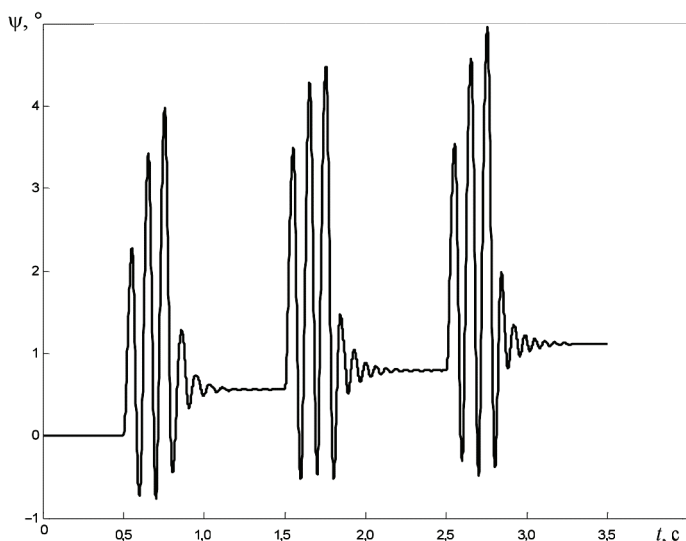


Рис. 7. Угловое отклонение корпуса в поперечной плоскости

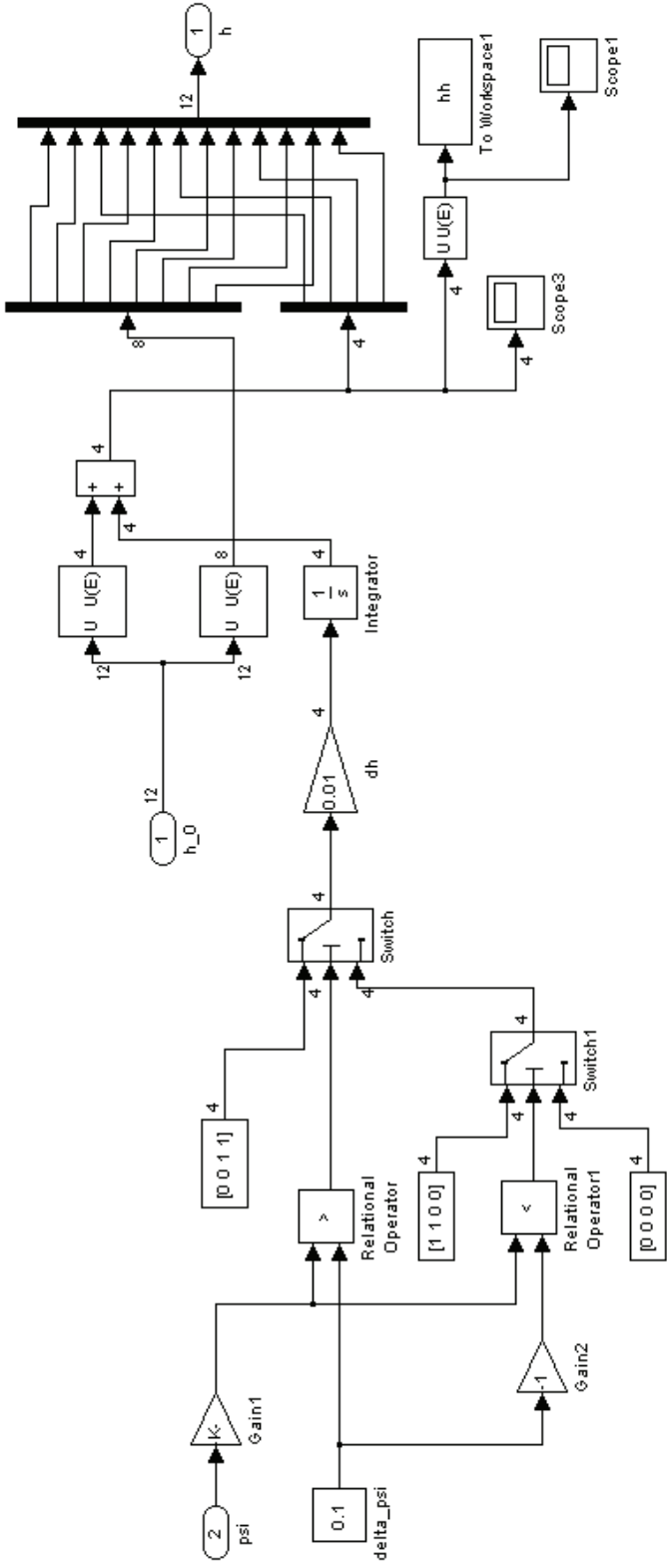


Рис. 8. Блок горизонтирования корпуса в поперечной плоскости

Если отклонение корпуса ИСКШ превышает допустимый угол (например, $\pm 0,1^\circ$), то в соответствующие выносные опоры подается рабочая жидкость и корпус выравнивается. Данный процесс легко автоматизируется и не требует участия экипажа. Блок, отвечающий в математической модели за выравнивание корпуса в поперечной плоскости, представлен на рис. 8. График изменения поперечного угла корпуса во время импульсного воздействия и работы системы стабилизации корпуса приведен на рис. 9.

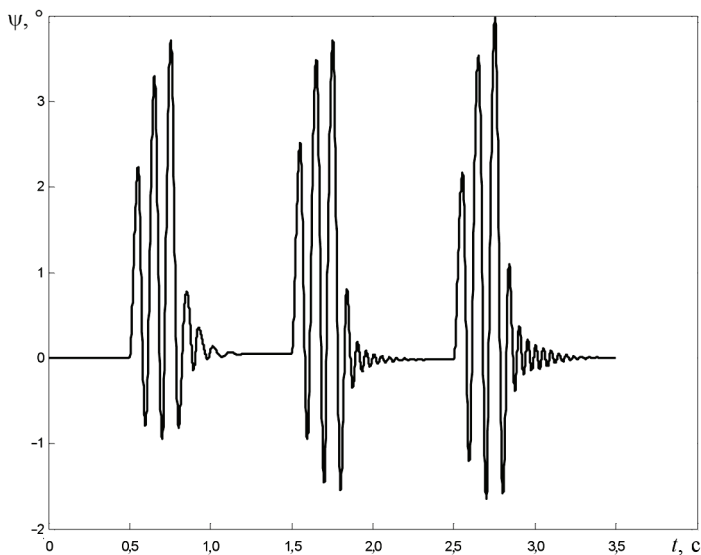


Рис. 9. Угловое отклонение корпуса в поперечной плоскости при импульсном воздействии и стабилизации корпуса

На рисунках видно, что корпус ИСКШ возвращается в исходное положение, а максимальное отклонение составляет 4° .

Таким образом, использование данного метода позволяет повысить устойчивость ИСКШ при работе на деформируемых грунтах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Котиев Г.О., Сарач Е.Б. Комплексное подрессоривание высокоподвижных двухзвенных гусеничных машин. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. — 184 с.
2. Ларин В.В. Теория движения полноприводных колесных машин: учебник. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. — 391 с.
3. Бабков В.Ф., Безрук В.М. Основы грунтоведения и механики грунтов: учебник для студентов автомобильно-дорожных вузов. — М.: Высш. шк., 1976. — 328 с.

Статья поступила в редакцию 05.10.2012