

УДК (UDC) 621.86

МОДЕЛИРОВАНИЕ УСИЛИЙ В ОПОРАХ МАШИН ОСНОВНОГО
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ СТРЕЛОВОГО
САМОХОДНОГО КРАНАSIMULATION OF FORCES IN THE SUPPORTS OF MACHINES OF THE MAIN TECH-
NOLOGICAL PURPOSE ON THE EXAMPLE OF A FULLY MOBILE CRANEСладкова Л.А., Григорьев П.А., Крылов В.В.
Sladkova L.A., Grigorev P.A., Krylov V.V.Российский университет транспорта (Москва, Россия)
Russian University of Transport (Moscow, Russian Federation)

Аннотация. При работе стреловых самоходных кранов на слабонесущих грунтах из-за просадки аутригеров возможен перекос рамы с расположенной на ней поворотной платформой с грузоподъемным оборудованием. Это нарушает работу крана, ведет к потере устойчивости и нарушению его безопасной эксплуатации. Обычно используются для обеспечения горизонтирования подкладные щиты под ходовую часть крана, выносные опоры (аутригеры). Возможно также использование автоматизированных систем обеспечения устойчивости кранового оборудования, но они не всегда обеспечивают должный уровень безопасности. Предлагается конструкция устройства обеспечения устойчивости, работающая за счёт увеличения площади опорной поверхности крана. Рассматривая самоходный кран (транспортное средство) как связанную систему с инерциальной системой отсчета, расположенной в ее центре тяжести в произвольный момент времени, была выявлена физическая природа неравномерности распределения давления под опорами ходового оборудования при начальной установке крана. На основании полученных теоретических зависимостей предложен вариант модернизации самоходного стрелового крана. Практическая реализация модернизированной конструкции позволяет повысить устойчивость крана при работе на слабонесущих грунтах и обеспечить высокий уровень безопасности вследствие снижения удельного давления на грунт.

Ключевые слова: стреловой самоходный кран, слабонесущий грунт, горизонтирование, устойчивость.

Дата принятия к публикации: 01.10.2019
Дата публикации: 25.12.2019

Сведения об авторах:

Сладкова Любовь Александровна – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Наземные транспортно-технологические средства» ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта», e-mail: rich.cat2012@yandex.ru.

Abstract. When working fully mobile crane on weak soil due to drawdown of the outriggers, the possible misalignment of the frame with located on it a turntable with lifting equipment. This disrupts the operation of the crane, leads to loss of stability and disruption of its safe operation. Usually used to ensure the levelling under the chassis of the crane, outriggers (outriggers). It is also possible to use automated systems to ensure the stability of crane equipment, but they do not always provide the proper level of safety. The design of the device of ensuring stability working at the expense of increase in the area of a basic surface of the crane is offered. Considering a self-propelled crane (vehicle) as a connected system with an inertial reference system located in its center of gravity at an arbitrary time, the physical nature of the uneven pressure distribution under the supports of the running equipment at the initial installation of the crane was revealed. On the basis of the obtained theoretical dependences the variant of modernization of the fully mobile crane is offered. The practical implementation of the upgraded design will improve the stability of the crane when working on weak soils and provide a high level of safety due to the reduction of specific pressure on the ground.

Keywords: fully mobile crane, weak soil, levelling, stability.

Date of acceptance for publication: 01.10.2019
Date of publication: 25.12.2019

Authors' information:

Lubov A. Sladkova – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department “Ground transportation and technological means” at Russian University of Transport, e-mail: rich.cat2012@yandex.ru.

Григорьев Павел Александрович – аспирант, ассистент кафедры «Наземные транспортно-технологические средства» ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта»,
e-mail: grigorievpavel1996@yandex.ru.

Крылов Вадим Викторович – аспирант кафедры «Наземные транспортно-технологические средства» ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта», *e-mail: vadimkrylov96@yandex.ru.*

Pavel A. Grigorev – Graduate student, assistant of the Department “Ground transportation and technological means” at Russian University of Transport,
e-mail: grigorievpavel1996@yandex.ru.

Vadim V. Krylov – Graduate student of the Department “Ground transportation and technological means” at Russian University of Transport,
e-mail: vadimkrylov96@yandex.ru.

1. Введение

Для обеспечения устойчивости самоходных кранов необходимо строго горизонтальное расположение поворотной платформы. Нарушение горизонтирования происходит в результате того, что грузоподъемные средства (самоходные краны) при работе на слабонесущих грунтах имеют просадку аутригеров, что ведёт к неравномерности распределения усилий под опорами, перекоосу рамы с расположенной на ней поворотной платформой, нарушению безопасной эксплуатации стрелового крана, и потере устойчивости.

Анализ состояния вопроса показал, что в настоящее время при работе самоходных крановых конструкций обеспечение устойчивости при эксплуатации на слабонесущих грунтах предложено обеспечивать горизонтальным расположением поворотной платформы, которое осуществляется различными способами.

Изменение вертикального выдвижения аутригеров [1] необходимо постоянно регулировать за счет установки дополнительных следящих систем [2, 3], что ведет к значительному усложнению всей системы. Например, определение возможных значений управляемых углов поворота поворотной платформы и подъема стрелы, величины выдвижения телескопического звена, координат точки закрепления груза автор [4] предлагает определять с учетом углов наклона шасси. Однако, очевидно, что введенные допущения не могут не влиять на общую устойчивость крана.

Введение систем автоматического горизонтирования опорной платформы для машин с выносными гидравлическими опорами [3] за счет выравнивания опорной платфор-

мы и автоматическое поддержание ее в горизонтальном положении на заданной оптимальной высоте при помощи датчиков измерения углов наклона платформы, следящих систем является, в основном, в результате инерционности всей системы, контролирующим мероприятием, не обеспечивающим устойчивую работу стреловых самоходных кранов на слабонесущих грунтах в заданный момент времени.

Введение дополнительных конструктивных изменений аутригеров [5, 6] не всегда применимо в заданных условиях эксплуатации ввиду нарушения грунтового массива, что противоречит требованиям экологии, так как аутригеры, ввинченные в грунт, требуют дополнительного привода на аутригере для погружения и извлечения якоря (другого устройства) из грунта.

Обычно для обеспечения горизонтирования на слабонесущих грунтах используют подкладные щиты под ходовую часть и (или) выносные опоры (аутригеры) [7]. Основными недостатками этого способа, являются потеря времени на установку щитов и низкая культура производства.

Из сказанного выше очевидно, что существующие в настоящее время предложения носят рекомендательный характер для практической реализации обеспечения устойчивой работы мобильных транспортно-технологических машин на слабонесущих грунтах.

В теории считается, что при давлении плоского штампа на грунт в грунте возникают нормальные напряжения σ , которые определяются по зависимости [8]:

$$\sigma = \frac{N}{A}$$

где N – вертикальная нагрузка на грунт, кН;
 A – площадь поперечного сечения образца, м².

Считается, что изменение напряжения в грунте по глубине изменяется ступенчато, причем каждая ступень выдерживается до прекращения деформации грунта, т.е. до стабилизации осадки [9].

В песчаных грунтах стабилизация осадки происходит в течение нескольких минут, а в глинистых грунтах она может длиться несколько суток. На проседание грунта существенное влияние оказывают пористость, температура, показатель консистенции грунтов и т.п. [10].

2. Описание конструкции предлагаемого устройства

Предлагаемое устройство обеспечения горизонтирования кранов на слабонесущих грунтах предполагает увеличение площади опорной поверхности под крановыми опорами и (или) ходовым оборудованием. Для этого на раме 5 крана с установленной на ней стрелой 4 (рис. 1) спереди или сзади установлены кронштейны 8, в которых горизонтально размещается вал с барабаном 7. На барабане расположена гибкая лента 9, которая может быть выполнена в форме траков. Барабан свободно вращается на валу для разматывания и последующего опускания ленты.

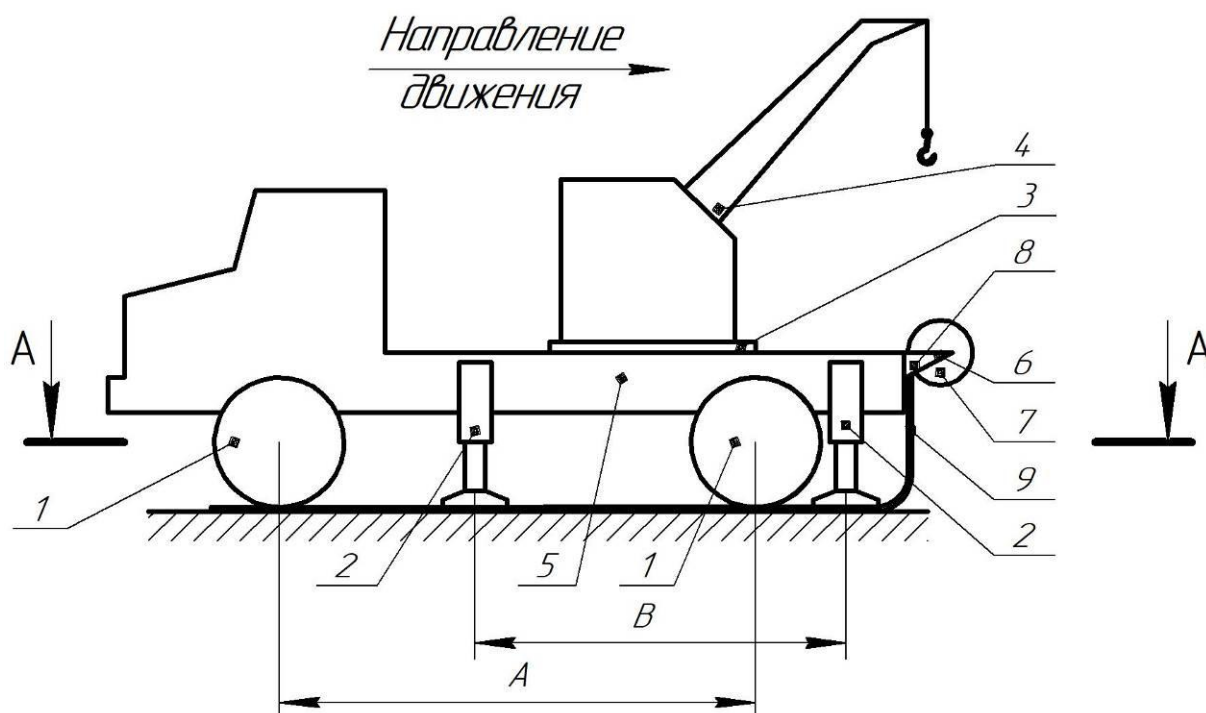


Рис. 1. Стреловой кран с устройством обеспечения устойчивости

Барабан 7 с лентой 9 состоящий из двух частей и, располагающийся на оси 6 (рис.1) может перемещаться вдоль оси 6. Ширина барабана 7 должна быть не менее расстояния между крайними внешними точками ходового оборудования 1 и выносных опор 2 (аутригеров) (рис. 2).

Предлагаемое устройство работает следующим образом. После остановки крана, при помощи привода вращения (условно не

показан) приводится во вращение горизонтально установленная ось барабана 6 с лентой 9, установленная в кронштейнах 8 спереди (сзади) машины. При вращении барабана 6 происходит опускание ленты 9, горизонтальная поверхность которой соприкасается с колесом машины. После опускания ленты в указанное положение машина начинает движение вперед при расположении барабана спереди или назад при расположении

барабана сзади, совершая наезд на ленту. За счет сил сцепления между колесами крана и лентой происходит ее разматывание. Движение крана производится до тех пор, пока ходовое оборудование 1 полностью не разместится на ленте 9.

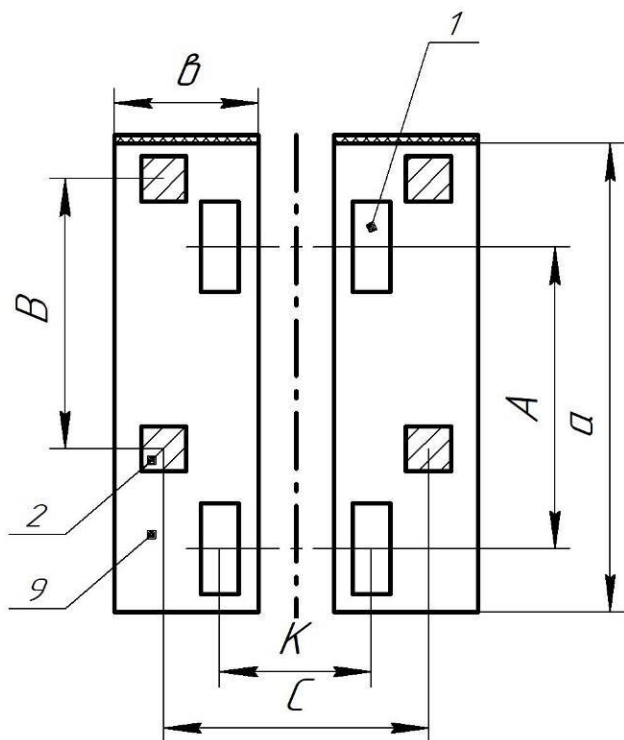


Рис.2. Стреловой кран с устройством обеспечения устойчивости (сечение А-А)

Считаем, что ширина ленты должна быть не менее расстояния от линии сбегания ленты с барабана 6 до точки касания ходового оборудования 1 с поверхностью грунта, причём общая длина ленты 9 не менее базы машины. После этого опускаются аутригеры 2 и располагаются на ленте 9.

Предлагаемое устройство позволяет значительно увеличить площадь опорной поверхности, что ведет к обеспечению горизонтирования машин на слабонесущих грунтах, а также позволяет автоматизировать процесс повышения устойчивости стрелового крана на слабонесущих грунтах за счёт укладки опорной поверхности под стреловой кран.

3. Цель исследования

Горизонтирование поверхности нарушается в процессе просадки грунтов под вы-

носными опорами и ходовым оборудованием транспортного средства. Это нарушение имеет негативное влияние не только на эксплуатационные показатели кранов, но и на безопасность их работы, проявляемую в возможном опрокидывании.

На данном этапе целью теоретических исследований является процесс начальной установки стрелового самоходного крана с устройством обеспечения устойчивости предлагаемой конструкции перед началом работ.

4. Теоретические исследования

Рассмотрим условие обеспечения горизонтирования стрелового самоходного крана при наезде на ленту перед его остановкой для выполнения работ. Для этого рассмотрим изменение давления на грунт под ходовым оборудованием транспортных средств, находящихся в состоянии движения. Для этого представим транспортное средство как связанную систему (рис. 3) с инерциальной системой отсчета, расположенной в центре тяжести системы (точка O) в момент времени t перед началом торможения [11, 12] на ленте.

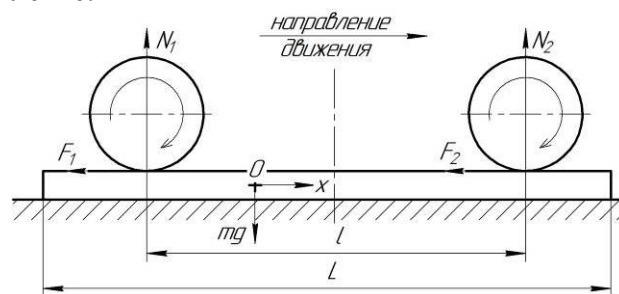


Рис. 3. Схема транспортного средства в движении

На рис. 3 показано: O – центр тяжести системы; mg – сила тяжести системы; N_1 и N_2 – давления на колёса; F_1 и F_2 – силы трения качения; l – колёсная база машины; L – длина полотна.

Выберем направление оси x , совпадающее с направлением движения машины. При моделировании считаем, что ходовое оборудование перемещается со скоростью v и располагается на полотне (после наезда). При этом оси колёс неподвижны, и совершают

поступательное движение вместе с транспортным средством. Колеса, перемещаясь по ленте, вращаются с заданными угловыми скоростями вращения. Коэффициент трения качения между колесом и полотном равен f .

В этом случае на систему будут действовать силы нормального давления на колеса N_1 и N_2 и соответствующие силы трения качения (рис. 3).

Очевидно, что

$$N_1 + N_2 = m \cdot g. \quad (1)$$

Пусть в момент времени t транспортное средство находилось в равновесии, тогда из уравнения равновесия относительно точки O , получим:

$$\sum M_0 = 0;$$

$$N_1 \left(\frac{l}{2} + x \right) = N_2 \left(\frac{l}{2} - x \right). \quad (2)$$

Здесь x перемещение центра тяжести указанной системы в условиях заданного моделирования.

Из проекции на ось x получим:

$$F = F_1 + F_2 = f \cdot m \cdot g = f(N_1 + N_2). \quad (3)$$

Используя зависимость (1), преобразуем выражение (2) виду:

$$\frac{N_1 \cdot l}{2} + N_1 \cdot x + \frac{N_2 \cdot l}{2} + N_2 \cdot x$$

$$= \frac{l}{2}(N_1 - N_2) + x(N_1 + N_2)$$

Тогда

$$(N_1 + N_2) = \frac{(N_2 - N_1)l}{2x}.$$

Откуда

$$2xmg = (N_2 - N_1)l.$$

Используя закон сохранения количества движения механической системы, получим:

$$m \frac{dv}{dt} = \frac{m \cdot g \cdot x}{l}.$$

Откуда

$$mv \frac{dv}{dx} = m \cdot g \cdot x.$$

Произведём разделение переменных:

$$\int mv dv = \int mgx dx. \quad (4)$$

Проинтегрируем выражение (4):

$$\frac{mv^2}{2} + C_1 = \frac{mgx^2}{2} + C_2. \quad (5)$$

Используем начальные условия: при $x = 0$, $v = 0$, получим, что $C_1 = C_2 = C$. Тогда выражение (5) будет иметь вид:

$$\frac{mv^2}{2} = \frac{mgx^2}{2}. \quad (6)$$

При $x=l/2$ выражение (6) будет иметь вид:

$$v^2 = \frac{gl^2}{4}. \quad (7)$$

Если в качестве начальных условий принять скорость перемещения машины $v=v_0$, то получим:

$$x = \frac{v_0}{\sqrt{g \cdot l}}. \quad (8)$$

4. Результаты и их анализ

Полученное выражение позволяет выявить физическую природу неравномерности распределения давления под опорами ходового оборудования [6] для транспортного средства, находящегося в процессе движения в произвольный момент времени t . Видно, что смещение центра тяжести от положения равновесия зависит от скорости перемещения транспортного средства и расстояния между опорами (колесами).

При малых скоростях движения величина смещения будет стремиться к нулю, что обеспечит равномерность распределения нагрузки под опорами. При более высокой скорости необходимо изменять моменты инерции системы относительно положения центра тяжести. При остановке крана величина смещения будет равна нулю и распределение давления под опорами должно быть равномерным. Но, учитывая инерционность системы даже при незначительной скорости, нагрузка под ходовым оборудованием при движении по слабонесущим грунтам будет смещаться в сторону, противоположную направлению движения, создавая заведомо нарушение горизонтирования платформы и создавая, тем самым, неравномерность нагрузки под выносными опорами и нарушение устойчивости крана.

Предлагаемое техническое решение позволяет компенсировать неравномерность распределения нагрузки под опорами в мо-

мент установки крана и обеспечивает его устойчивую работу на слабонесущих грунтах.

5. Заключение

1. Изменение напряжения в слабонесущих грунтах по глубине происходит в течение нескольких минут в течение определенного периода времени (от нескольких минут до нескольких часов). При работе стреловых самоходных кранов на грунтах такого типа существенное влияние, кроме нагрузки от крана, оказывают пористость, температура, показатель консистенции грунтов и т.п.

2. Рассмотрение стрелового самоходного крана как связанной системы с инерци-

альной системой отсчета, расположенной в ее центре тяжести в произвольный момент времени, позволило выявить физическую природу неравномерности распределения давления под опорами ходового оборудования в момент его установки с использованием предлагаемого устройства обеспечения устойчивости перед началом работы.

3. Предложенный вариант модернизации стрелового самоходного крана за счёт увеличения площади опорной поверхности, позволит обеспечивать его устойчивость в процессе эксплуатации на слабонесущих грунтах.

Список литературы

1. Раннев А.В., Корелин В.Ф., Жаворонков А.В., Кузин Э.Н. Строительные машины: Справ.: В 2 т. Т.1: Машины для строительства промышленных, гражданских сооружений и дорог. М.: Машиностроение, 1991. 496 с.

2. Жильцов А.В., Чернов А.В. Автоматизация обеспечения устойчивости самоходных грузоподъемных машин на выносных опорах // Лучшие работы студентов и аспирантов технологического факультета: сб. ст./ ТулГУ. Тула, 2007. С.219-222.

3. Чернов А. В. Предотвращение опрокидывания мобильных грузоподъемных машин с учетом просадки выносных опор при помощи автоматизации системы управления // Лучшие работы студентов и аспирантов технологического факультета: сб. ст. / ТулГУ. Тула, 2007. С.223-226.

4. Щербakov В.С., Кorytov М.С. Определение диапазонов управляемых координат автокрана для системы автоматического управления // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2009. Т.5. № 5. С. 209-214.

5. Бычков И.С. Оценка устойчивости грузоподъемного крана, оборудованного грунтовыми якорями // Вестник СибАДИ. 2017. № 3 (55). С. 7-11.

6. Лагерев А.В., Лагерев И.А. Влияние анкерования выносных опор на устойчивость

References

1. Rannev A.V., Korelin V.F., Zhavoronkov A.V., Kuzin E.N. *Stroitelnye mashiny. Spravochnik: V 2t. T.1: Mashiny dlya stroitelnykh, grazhdanskikh sooruzheniy i dorog* [Construction machines: In 2 vol. Vol. 1: Machines for construction of industrial, civil constructions and roads]. Moscow, Mashinostroenie, 1991. 496 p. (In Russian)

2. Zhiltcov A.V., Chernov A.V. *Avtomatizatsiya obespecheniya ustoychivosti samokhodnykh gruzopodemnykh mashin na vynosnykh oporakh* [Automation of the sustainability self-propelled lifting machines on external supports]. The Best works of students and postgraduates of the faculty of technology, 2007, pp. 219-222. (In Russian)

3. Chernov A.V. *Predotvrachshenie oprokidyvaniya mobilnykh mashin s uchetom prosadki vynosnykh opor pri pomoshchi avtomatizatsiyi sistemy upravleniya* [Prevention of overturning of mobile lifting machines taking into account the installation of outriggers by means of automation of the control system]. The Best works of students and postgraduates of the faculty of technology, 2007, pp. 223-226. (In Russian)

4. Shcherbakov V.S., Korytov V.S. *Opreделение diapazonov upravlyemykh koordinat avtokrana dlya sistemy avtomaticheskogo upravleniya* [Determination of ranges of controlled coordinates of the crane for the auto-

