

УДК 621.86

ВЛИЯНИЕ АНКЕРОВКИ ВЫНОСНЫХ ОПОР НА УСТОЙЧИВОСТЬ МОБИЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН, ОСНАЩЕННЫХ СТРЕЛОВЫМИ МАНИПУЛЯЦИОННЫМИ СИСТЕМАМИ

Лагерев А.В., Лагерев И.А.

Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского (Брянск, Россия)

В статье представлена математическая модель расчета характеристик против опрокидывания мобильных транспортно-технологических машин, оснащенных грузоподъемными манипуляционными системами. Она позволяет выполнить количественную оценку степени влияния дополнительной анкеровки выносных опор на повышение грузовой устойчивости мобильных машин при проведении погрузочно-разгрузочных работ. Математическая модель носит универсальный характер: она позволяет оценить эффективность дополнительной анкеровки независимо от конструктивного исполнения выносных опор и размещения анкерных устройств. На примере нескольких типов мобильных машин показана эффективность применения выносных опор со встроенными анкерными устройствами на основе прокалывающих грунт рабочих элементов. Предложены зависимости для расчета и выполнен количественный анализ влияния анкеровки на повышение веса транспортируемого груза и максимального вылета манипуляционной системы, а также на уменьшение ширины опорного контура мобильной машины. Выполнен анализ влияния анкеровки на повышение предельно допустимого по условию опрокидывания мобильной машины угла наклона опорной поверхности, на которой может эксплуатироваться мобильная машина. Данные положительные эффекты от дополнительной анкеровки выносных опор имеют важное значение при эксплуатации специальных мобильных машин, производстве погрузочно-разгрузочных работ в экстремальных условиях или при проведении аварийно-спасательных работ при ликвидации последствий природных и техногенных аварий и катастроф. Предложены формулы для линейной двухфакторной аппроксимации основных характеристик грузовой устойчивости по опрокидыванию мобильных машин в зависимости от угла наклона к горизонту опорной поверхности и степени анкеровки выносных опор. Точность аппроксимации лежит максимально в пределах до 10%. Предложенные рекомендации по рациональному выбору точек аппроксимации позволяют существенно повысить ее точность для конкретных условий эксплуатации мобильных транспортно-технологических машин.

Ключевые слова: манипуляционная система, мобильная транспортно-технологическая машина, выносная опора, анкеровка, устойчивость, опрокидывание, повышение устойчивости.

DOI: 10.22281/2413-9920-2018-04-02-152-169

Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (проект №17-79-10274).

Введение.

Общая устойчивость против опрокидывания мобильных транспортно-технологических машин, оснащенных шарнирно-сочлененными стреловыми манипуляционными системами, определяется соотношением опрокидывающего момента, создаваемого весовым воздействием груза и части металлоконструкции самого манипулятора и ветровыми нагрузками, и удерживающим моментом, создаваемым собственным весом машины [1, 2]. Выпускаемые промышленностью манипуляционные системы предназначены для восприятия достаточно высоких значений грузовых моментов [3, 4], что обуславливает эксплуатацию мобильных машин в условиях действия на них больших опрокидывающих моментов.

Для манипуляционных систем, оснащенных навесными рабочими органами (лесопильная головка, фреза, буровая головка и

т.д.), необходимо обеспечить устойчивость во всех рабочих режимах с учетом условий взаимодействия рабочего органа и предмета труда. В этом случае опрокидывающий момент определяется также с учетом усилия, создаваемого рабочим органом [5, 6]. С целью повышения запаса общей устойчивости манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин применяются выносные опоры (аутригеры) [2, 3, 7], на которые устанавливается машина до начала работы.

Передвижение с грузом транспортно-технологических машин, оснащенных манипуляционными системами, манипуляторами для эвакуации автомобилей, манипуляторами для погрузки лома и ряда других мобильных машин, запрещено или допускается со значительными ограничениями. Хотя также имеется ряд оснащенных манипуляционными системами машин, которые могут пере-

двигаться с грузом или вообще не оснащены выносными опорами [8-10].

Вопросы расчетной оценки безопасности колесных и гусеничных мобильных машин, оснащенных манипуляционными системами, по опрокидыванию нашли отражение в [1, 2, 11].

В настоящее время можно говорить о трех подходах к решению важной инженерно-технической задачи, связанной с повышением грузовой устойчивости против опрокидывания мобильных транспортно-технологических машин, оснащенных грузоподъемными манипуляционными системами, особенно, в нестандартных условиях эксплуатации:

1) путем повышения удерживающего момента, создаваемого мобильной машиной, на основе увеличения ее суммарного веса или увеличения ширины опорного контура за счет конструктивного смещения ребра опрокидывания относительно положения центра тяжести машины;

2) путем дополнительной анкеровки базового шасси мобильной машины в целом;

3) путем дополнительной анкеровки выносных опор мобильной машины.

1. Конструктивное исполнение выносных опор мобильных транспортно-технологических машин с дополнительной анкерровкой.

Для опирания и анкеровки (закрепления) на грунтовой опорной поверхности при эксплуатации мобильных транспортно-технологических машин с грузоподъемными манипуляционными системами разработаны конструкции выносных опор, конструктивно объединенных с дополнительными анкерными устройствами [12-14]. Использование таких опор позволяет:

- повысить общую устойчивость мобильной транспортно-технологической машины при работе в условиях действия значительных опрокидывающих и сдвигающих эксплуатационных нагрузок, особенно на слабых грунтах и не строго горизонтальных поверхностях;

- повысить грузо-высотные характеристики манипуляционной системы, т.е. перемещать грузы большего веса в пределах большей по размерам рабочей зоны;

- уменьшить размеры опорного контура в стесненных условиях проведения работ.

К настоящему времени предложено несколько конструкций выносных опор, осна-

щенных дополнительными анкерными устройствами. В зависимости от конструктивного исполнения рабочего элемента анкерного устройства и вида совершаемого им движения при внедрении в грунт их можно разделить на две группы:

- рабочий элемент в виде винтового якоря, совершающего возвратно-поступательное вращательное движение (ввинчивающийся рабочий элемент) [12, 13];

- рабочий элемент в виде плоского ножа, совершающего возвратно-поступательное прямолинейное движение (прокалывающий рабочий элемент) [14, 15].

На рис. 1 показана установка мобильной транспортно-технологической машины со стреловой крано-манипуляторной установкой на выносные опоры, оснащенные анкерным устройством с рабочим элементом в виде винтового якоря [12; 13, 16]. Внедрение рабочего элемента в грунт и его извлечение в обратном направлении осуществляется с помощью приводного гидроцилиндра, включенного в общую гидравлическую систему мобильной машины, и передаточного зубчатого механизма, преобразующего возвратно-поступательное прямолинейное движение штока гидроцилиндра в возвратно-поступательное вращательное движение рабочего элемента.

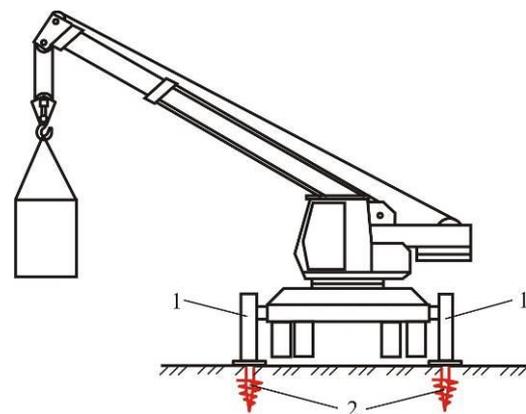


Рис. 1. Выносная опора с возможностью анкеровки типа [16]:

1 – выносная опора; 2 – дополнительное анкерное устройство

Общий вид конструкции мобильной транспортно-технологической машины с выносной опорной, оснащенной анкерным устройством с рабочим элементом в виде плоского ножа, показан на рис. 2 [14, 15].

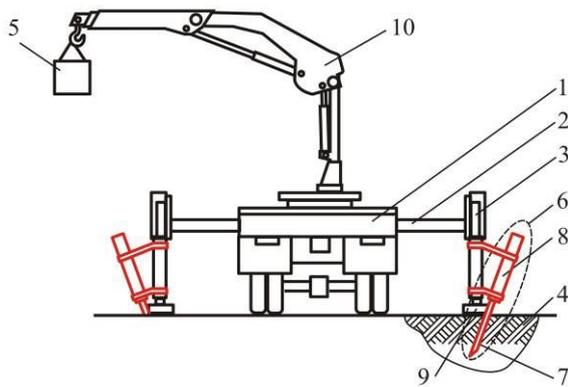


Рис. 2. Выносная опора с возможностью анкерки [14, 15]: 1 – рама мобильной транспортно-технологической машины; 2 – кронштейн; 3 – опорное устройство с гидроприводом; 4 – грунт; 5 – транспортируемый груз; 6 – анкерное устройство; 7 – рабочий элемент анкерного устройства; 8 – гидропривод рабочего элемента анкерного устройства; 9 – опорная плита; 10 – манипуляционная система

Как и в стандартной конструкции, на раме 1 машины закреплен кронштейн 2, снабженный подъемно-опускным с помощью гидропривода опорным устройством 3 для передачи на грунт 4 нагрузки от машины и транспортируемого груза 5 (рис. 2). Опорное устройство дополнено анкерным устройством 6 (рис. 3) для восприятия действующих на машину опрокидывающих и сдвиговых эксплуатационных нагрузок. Рабочий элемент анкерного устройства выполнен в виде плоского ножа 7 с прямолинейной продольной осью, который для установки в свое рабочее положение совершает прокалывающее поступательное движение вдоль линии *ДЕ* в грунте при помощи приводного гидроцилиндра 8, причем плоскость рабочего элемента наклонна по отношению к поверхности грунта и в рабочем положении (рис. 3, б) рабочий элемент находится под опорной плитой 9, т.е. под площадкой контакта опорного устройства с поверхностью грунта [14].

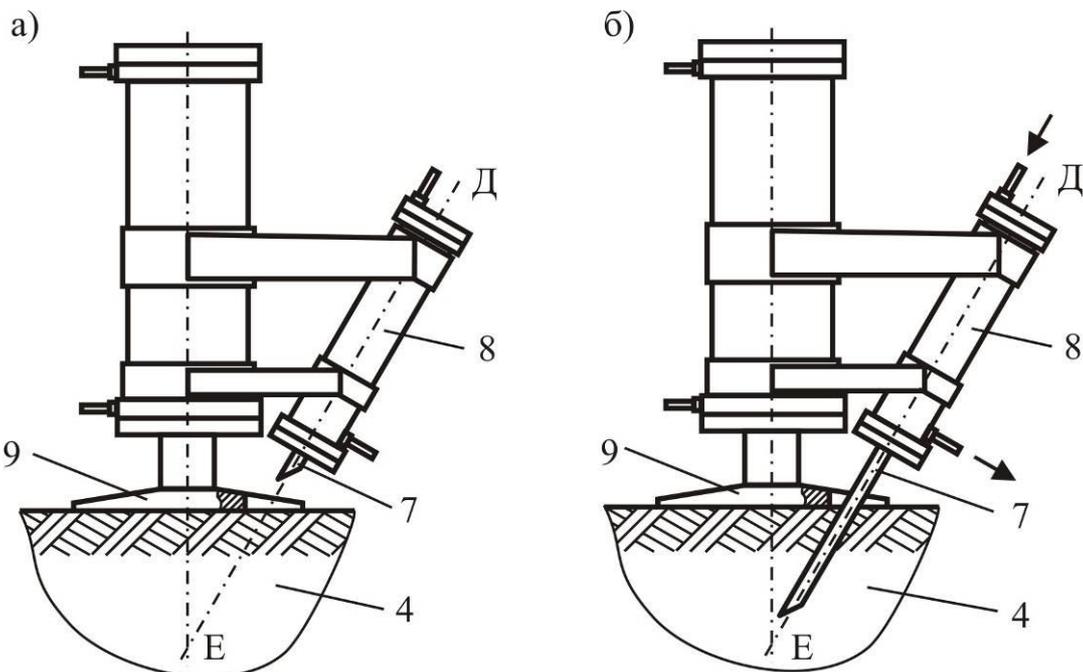


Рис. 3. Анкерное устройство выносной опоры [14]: а – в нерабочем положении; б – в рабочем положении

2. Построение математической модели устойчивости против опрокидывания мобильной машины с манипуляционной системой, оснащенной выносными опорами с прокалывающим рабочим элементом устройства дополнительной анкерки.

Принцип действия конструкции анкерного устройства с прокалывающим рабочим

элементом (рис. 2) заключается в следующем (рис. 4). При работе мобильной транспортно-технологической машины транспортируемый груз вызывает появление опрокидывающего момента $M_{опр,G}$, который преимущественно обуславливает снижение общей устойчивости и может привести к опрокидыванию машины относительно ребра опроки-

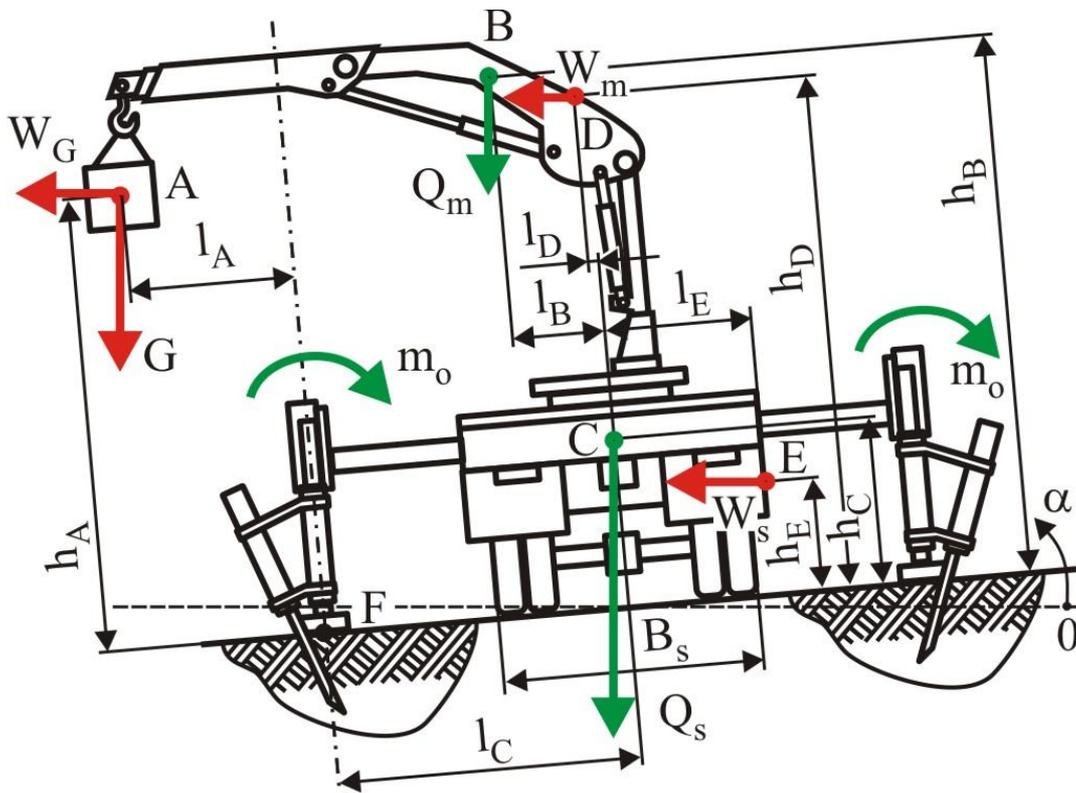


Рис. 4. Расчетная схема мобильной машины с выносной опорой типа [14, 15] при расчете грузовой устойчивости по опрокидыванию

дывания (точка F). Дополнительное негативное воздействие может оказать ветровая нагрузка рабочего состояния на транспортируемый груз W_G , металлоконструкцию манипуляционной системы W_m и шасси мобильной машины W_s . Она приводит к появлению дополнительных опрокидывающих моментов, которые суммируются с $M_{onp,G}$. Дополнительные опрокидывающие моменты также появляются при перемещении груза с ускорением и связаны они с действующими на груз и манипуляционную систему инерционными нагрузками. Таким образом, суммарный опрокидывающий момент составляет:

$$M_{onp} = M_{onp,G} + M_{onp,W_G} + M_{onp,W_m} + M_{onp,W_s} + \sum_i M_{onp,F_i}, \quad (1)$$

где M_{onp,W_G} , M_{onp,W_m} , M_{onp,W_s} - опрокидывающий момент от ветровой нагрузки, действующей на груз, металлоконструкцию манипуляционной системы и базовое шасси соответственно; M_{onp,F_i} - опрокидывающий момент, вызываемый i -й инерционной силой F_i .

Негативное влияние опрокидывающего момента нейтрализуется действием удержи-

вающего момента $M_{вос}$, который в случае использования в конструкции мобильной машины опорных устройств без возможности анкеровки формируется лишь весом металлоконструкции манипуляционной системы Q_m и базового шасси Q_s [14, 17]:

$$M_{вос} = M_{вос,Q_m} + M_{вос,Q_s},$$

где $M_{вос,Q_m}$, $M_{вос,Q_s}$ - удерживающий момент, вызываемый весом металлоконструкции манипуляционной системы и базового шасси соответственно.

При использовании выносных опор с анкеровкой удерживающий момент повышается за счет добавления удерживающих моментов m_o от всех используемых выносных опор с анкеровкой и составляет:

$$M_{вос,o} = M_{вос,Q_m} + M_{вос,Q_s} + 0,5n_o(m_{o,1} + m_{o,2}),$$

где n_o - число используемых выносных опор с анкеровкой; $m_{o,1}$, $m_{o,2}$ - удерживающие моменты выносных опор с анкеровкой, расположенных у противоположного ребра опорного контура мобильной машины и вдоль ребра опрокидывания соответственно.

Механизмы возникновения удерживающих моментов $m_{o,1}$ и $m_{o,2}$ различны, вслед-

ствие чего они неодинаковы по величине и требуют применения разных расчетных методик.

При выполнении условия

$$M_{онр} < M_{вос}$$

необходимость в дополнительной анкеровке отсутствует и поэтому анкерное устройство не участвует в обеспечении общей устойчивости мобильной транспортно-технологической машины. Оно вступает в работу, когда опрокидывающий момент начинает превышать удерживающий момент, т.е. когда

$$M_{онр} > M_{вос}.$$

На рабочий элемент анкерного устройства начинают действовать вырывающие силы

$$F_{o,1} = \Psi_1 \{M_{онр} - M_{вос}\}$$

и

$$F_{o,2} = \Psi_2 \{M_{онр} - M_{вос}\},$$

где $\Psi_j \{\Delta M\}$ - передаточная функция, связывающая силовые факторы $F_{o,j}$ и $\Delta M = M_{онр} - M_{вос}$ (определяется конструкцией и размерами узла крепления выносной опоры с анкерным устройством к раме базового шасси).

Рис. 5 поясняет механизмы возникновения удерживающих моментов $m_{o,1}$ и $m_{o,2}$ при разрушении грунта в процессе вырывания рабочего элемента анкерного устройства.

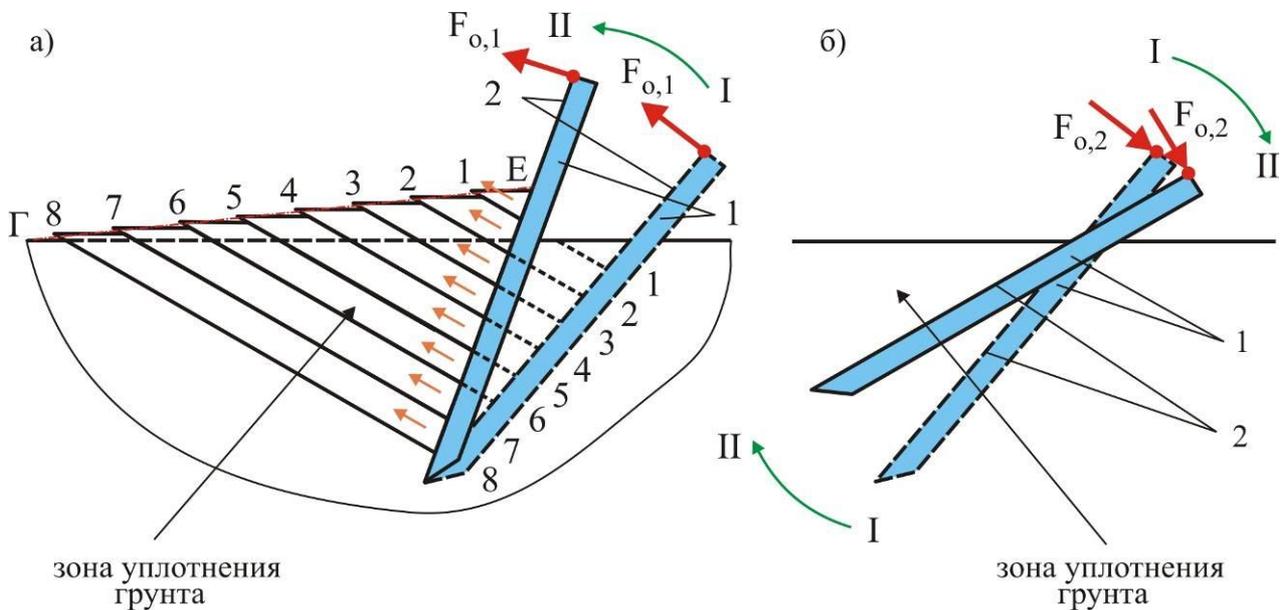


Рис. 5. Схема разрушения грунта при наличии анкеровки [14, 17]:

а – опора вне ребра опрокидывания; б – опора вдоль ребра опрокидывания

1 – рабочий элемент; 2 – передняя поверхность рабочего элемента

У выносных опор, расположенных у противоположного ребра опорного контура мобильной машины, сила $F_{o,1}$ монотонно возрастает с ростом разности моментов ΔM (рис. 5, а). Она достигает своего максимального значения $F_{o,1}^{max}$ в тот момент, когда происходит исчерпание способности грунта сопротивляться давлению со стороны передней поверхности рабочего элемента анкерного устройства, вызываемого действием вырывающей силы $F_{o,1}$, и рабочий элемент начинает поворотное перемещение в объеме грунта из положения I в положение II. При его движении происходит последовательное раз-

рушение грунта путем поочередного смещения его смежных слоев вдоль линий сдвига 1-1, 2-2, ..., 8-8 (рис. 5, а) с образованием характерного выпучивания первоначально ровной поверхности перед передней поверхностью рабочего элемента (линия GE). Угол наклона линий сдвига, приблизительно равный углу внутреннего трения в различных грунтах, и сила сопротивления сдвигу слоев грунта зависят от прочностных свойств грунта [14, 17].

При нахождении рабочего элемента под опорным устройством показанная на рис. 5, а схема разрушения изменяется, так как расположенная на площадке контакта опорная

плита препятствует свободному смещению соседних слоев грунта вдоль линий сдвига 1-1, 2-2, ..., 8-8 и выпучиванию грунта по линии GE. Как результат, плоский механизм свободного разрушения грунта путем смещения его слоев только вдоль одной совокупности линий сдвига изменяется на более энергозатратный объемный механизм стесненного разрушения, так как параллельно во времени происходит также сложное пространственное смещение слоев грунта вдоль второй совокупности линий сдвига, расположенных приблизительно перпендикулярно к первой. Это обуславливает повышение величины вырывающей силы $F_{o,1}^{\max}$, создаваемой анкерным устройством [14, 17]. Величина силы $F_{o,1}^{\max}$ зависит от прочностных свойств грунта и условий его разрушения при вырывании рабочего элемента под действием опрокидывающего момента, поэтому она может несколько отличаться для разных выносных опор одной мобильной машины.

У выносных опор, расположенных вдоль ребра опрокидывания, сила $F_{o,2}$ также монотонно возрастает с ростом разности моментов ΔM (рис. 5, б). Поворотное перемещение рабочего элемента в объеме грунта из положения I в положение II начинается при начале опрокидывания мобильной машины. При этом рабочий элемент воздействует на грунт своей тыльной поверхностью, уплотняя его, что и приводит к возникновению силы сопротивления со стороны уплотняющегося грунта. Величина силы сопротивления грунта и, в конечном итоге, величина удерживающего момента $m_{o,2}$ также определяются прочностными свойствами грунта.

Расчетный удерживающий момент $m_{o,j}$, развиваемый одной выносной опорой с анкерровкой, определяется значением силы $F_{o,j}^{\max}$ и составляет:

$$m_{o,j} = \Delta M_{\max} = (M_{\text{онп}} - M_{\text{вс}})_{\max} = \Psi_j^{-1} \{F_{o,j}^{\max}\},$$

где $\Psi_j^{-1} \{F_{o,j}\}$ - передаточная функция, обратная по отношению к передаточной функции $\Psi_j \{\Delta M\}$.

Условие общей устойчивости мобильной машины, установленной на негоризонтальной поверхности с помощью аустрiggers с

дополнительными анкерными устройствами, в общем случае имеет вид:

$$M_{\text{онп},G} + M_{\text{онп},W_G} + M_{\text{онп},W_m} + M_{\text{онп},W_s} + \sum_i M_{\text{онп},F_i} < < M_{\text{вс},Q_m} + M_{\text{вс},Q_s} + 0,5n_o(m_{o,1} + m_{o,2}).$$

Применительно к расчетной схеме мобильной транспортно-технологической машины, оснащенной манипуляционной системой (рис. 4), данное условие примет вид:

$$\begin{aligned} & k_G G_{\max}(l_A + h_A \sin \alpha) + \\ & + W_G(h_A \cos \alpha - l_A \sin \alpha) + \\ & + W_m[h_D \cos \alpha + (l_C - l_D) \sin \alpha] + \\ & + W_s[h_E \cos \alpha + (l_C + B_s / 2) \sin \alpha] = \\ & = Q_s(l_C \cos \alpha - h_C \sin \alpha) + \\ & + Q_m[(l_C - l_B) \cos \alpha - h_B \sin \alpha] + \sum_{i=1}^{i=n_o} m_{o,i}, \end{aligned} \quad (2)$$

где k_G - коэффициент перегрузки, учитывающий негативное влияние случайных и инерционных нагрузок; G_{\max} - наибольший допустимый вес груза на максимальном вылете манипуляционной системы; Q_m, Q_s - вес металлоконструкции манипуляционной системы и базового шасси соответственно; l_A - вылет манипуляционной системы за ребро опрокидывания; l_C - полуширина опорного контура; h_A, h_B, h_C, h_D, h_E - высотные координаты характерных точек мобильной машины (рис. 4); l_B, l_D - горизонтальные координаты характерных точек мобильной машины (рис. 4); B_s - база базового шасси; α - угол отклонения опорной поверхности грунта от горизонтальной плоскости.

Соотношение (2) позволяет произвести приближенную оценку эффективности использования выносных опор с анкерровкой.

Согласно (2) наибольший допустимый вес груза на максимальном вылете манипуляционной системы может быть определен на основании зависимости

$$\begin{aligned} G_{\max(o)} = \{ & M_o + Q_s(l_C \cos \alpha - h_C \sin \alpha) + \\ & + Q_m[(l_C - l_B) \cos \alpha - h_B \sin \alpha] - \\ & - W_G(h_A \cos \alpha - l_A \sin \alpha) - \\ & - W_m[h_D \cos \alpha + (l_C - l_D) \sin \alpha] \cos \alpha - \\ & - W_s[h_E \cos \alpha + (l_C + B_s / 2) \sin \alpha] \cos \alpha \} / \\ & / [k_G(l_A + h_A \sin \alpha)], \end{aligned} \quad (3)$$

где $M_o = \sum_{i=1}^{i=n_o} m_{o,i}$ - суммарный удерживающий момент выносных опор с анкерровкой.

Наибольший допустимый вес транспортируемого груза на максимальном вылете манипуляционной системы при сохранении

исходного значения ее вылета за ребро опрокидывания l_A и полуширины опорного контура l_C может быть повышен в \bar{G} раз:

$$\bar{G} = G_{\max(o)} / G_{\max(b)} = 1 + \frac{M_o}{Q_s(l_C \cos \alpha - h_C \sin \alpha) + Q_m[(l_C - l_B) \cos \alpha - h_B \sin \alpha] - W}$$

или на величину:

$$\Delta G_{\max} = G_{\max(o)} - G_{\max(b)} = (\bar{G} - 1) \frac{Q_s(l_C \cos \alpha - h_C \sin \alpha) + Q_m[(l_C - l_B) \cos \alpha - h_B \sin \alpha] - W}{k_G(l_A + h_A \sin \alpha)},$$

где $G_{\max(b)}$, $G_{\max(o)}$ - допустимый вес транспортируемого груза при использовании выносных опор без дополнительной анкерровки и с дополнительной анкерровкой соответственно; W - полная ветровая нагрузка, равная:

$$W = W_G(h_A \cos \alpha - l_A \sin \alpha) + W_m[h_D \cos \alpha + (l_C - l_D) \sin \alpha] \cos \alpha + W_s[h_E \cos \alpha + (l_C + B_s / 2) \sin \alpha] \cos \alpha.$$

Допустимый вылет манипуляционной системы за ребро опрокидывания l_A при сохранении исходного значения наибольшего допустимого веса транспортируемого груза на максимальном вылете манипуляционной системы G_{\max} и полуширины опорного контура l_C может быть повышен до значения

$$l_{A(o)} = \frac{M_o + Q_s(l_C \cos \alpha - h_C \sin \alpha) + Q_m[(l_C - l_B) \cos \alpha - h_B \sin \alpha] - k_G G_{\max} h_A \sin \alpha - W_1}{k_G G_{\max} - W_G \sin \alpha},$$

т.е. в \bar{l}_A раз:

$$\bar{l}_A = l_{A(o)} / l_{A(b)} = 1 + \frac{M_o}{Q_s(l_C \cos \alpha - h_C \sin \alpha) + Q_m[(l_C - l_B) \cos \alpha - h_B \sin \alpha] - k_G G_{\max} h_A \sin \alpha - W_1}$$

или на величину:

$$\Delta l_A = l_{A(o)} - l_{A(b)} = (\bar{l}_A - 1) \frac{Q_s(l_C \cos \alpha - h_C \sin \alpha) + Q_m[(l_C - l_B) \cos \alpha - h_B \sin \alpha] - k_G G_{\max} h_A \sin \alpha - W_1}{k_G G_{\max} - W_G \sin \alpha},$$

где $l_{A(b)}$, $l_{A(o)}$ - допустимый вылет манипуляционной системы за ребро опрокидывания при использовании выносных опор без дополнительной анкерровки и с дополнительной анкерровкой соответственно; W_1 - часть ветровой нагрузки, равная:

$$W_1 = W_G h_A \cos \alpha + W_m[h_D \cos \alpha + (l_C - l_D) \sin \alpha] \cos \alpha + W_s[h_E \cos \alpha + (l_C + B_s / 2) \sin \alpha] \cos \alpha.$$

Допустимая полуширина опорного контура l_C при сохранении исходных значений наибольшего допустимого веса груза на максимальном вылете манипуляционной системы G_{\max} и ее допустимого вылета за ребро опрокидывания l_A может быть уменьшена до значения

$$l_{C(o)} = \frac{-M_o + k_G G_{\max}(l_A + h_A \sin \alpha) + Q_s h_C \sin \alpha + Q_m(l_B + h_B \sin \alpha) + W_2}{[Q_m + Q_s - (W_m + W_s) \sin \alpha] \cos \alpha},$$

т.е. в \bar{l}_C раз:

$$\bar{l}_C = l_{C(o)} / l_{C(b)} = 1 - \frac{M_o}{k_G G_{\max} (l_A + h_A \sin \alpha) + Q_s h_C \sin \alpha + Q_m (l_B + h_B \sin \alpha) + W_2}$$

или на величину:

$$\Delta l_C = l_{C(b)} - l_{C(o)} = (1 - \bar{l}_C) \frac{k_G G_{\max} (l_A + h_A \sin \alpha) + Q_s h_C \sin \alpha + Q_m (l_B + h_B \sin \alpha) + W_2}{[Q_m + Q_s - (W_m + W_s) \sin \alpha] \cos \alpha},$$

где $l_{C(b)}$, $l_{C(o)}$ - допустимая полуширина опорного контура при использовании выносных опор без дополнительной анкеровки и с дополнительной анкеровкой соответственно; W_2 - часть ветровой нагрузки, равная:

$$W_2 = W_G (h_A \cos \alpha - l_A \sin \alpha) + [W_m (h_D \cos \alpha - l_D \sin \alpha) + W_s (h_E \cos \alpha + 0,5 B_s \sin \alpha)] \cos \alpha.$$

Приведенные выше зависимости позволяют оценить эффективность дополнительной анкеровки выносных опор мобильных транспортно-технологических машин в зависимости от создаваемого суммарного удерживающего момента M_o , ветровой нагрузки W и отклонения опорной площадки от горизонтальной плоскости.

3. Результаты расчетной оценки эффективности дополнительной анкеровки выносных опор мобильных транспортно-технологических машин и их анализ.

Для количественной оценки эффективности дополнительной анкеровки выносных опор были рассмотрены 4 варианта эксплуатирующихся мобильных машин, оснащенных манипуляционными системами, отличающихся различными значениями максимальных грузовых моментов (табл. 1). При задании величины ветровой нагрузки на элементы мобильных машин в рабочем состоянии принимались условия их использования на промышленных, транспортных и строительных объектах (ветровое давление принимается равным 125 Па [18]). Значения W_G, W_m, W_s рассчитывались согласно [19].

Таблица 1

Технические характеристики мобильных машин для различных вариантов оценки эффективности дополнительной анкеровки

Техническая характеристика	Вариант расчета			
	1	2	3	4
Тип манипуляционной системы	Fassi M30A.13	Fassi F65A.0.22	Soosan SCS 333	Kanglim KS 1256 GII
Тип базовой машины	GAZ-Next	Hyundai HD-120 Extra Long	Hyundai HD-78	Isuzu FVR-34UL-QDUS
Грузоподъемность манипуляционной системы, кН	9,95	29,2	32,0	70,0
Максимальный вылет манипуляционной системы, м	4,7	7,1	7,5	18,7
Максимальный вылет манипуляционной системы за ребро опрокидывания, м	3,3	4,8	5,4	15,95
Максимальный грузовой момент, кН·м	30,6	60,5	82,0	150,0
Вес металлоконструкции манипуляционной системы, кН	2,6	8,2	10,56	30,0
Снаряженный вес базового шасси, кН	27,0	65,4	46,5	93,0
Ширина опорного контура, м	2,8	4,6	4,2	5,7
База базового шасси, м	2,0	2,4	2,1	2,4

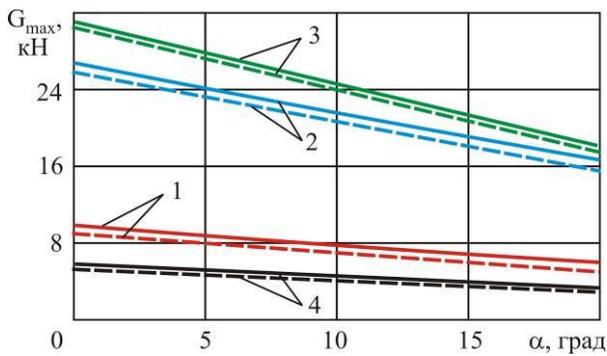


Рис. 6. Влияние угла отклонения опорной площадки от горизонтальной плоскости и ветровой нагрузки на величину наибольшего допустимого веса груза на максимальном вылете манипуляционной системы:
 ——— - ветровая нагрузка отсутствует;
 - - - - - ветровая нагрузка присутствует
 (номера графиков соответствуют вариантам расчета)

На рис. 6 приведены графики, характеризующие влияние угла отклонения опорной площадки от горизонтальной плоскости α и ветровой нагрузки на величину наибольшего допустимого веса груза на максимальном вылете манипуляционной системы G_{\max} для расчетных вариантов эксплуатирующихся машин. Учет ветровых нагрузок приводит к снижению величины G_{\max} , однако не изменяет качественный характер зависимостей $G_{\max}(\alpha)$. В исследованном интервале значений $\alpha \in [0; 20^\circ]$ и ветровых нагрузок, соответствующих рекомендуемым условиям эксплуатации мобильных машин с манипуляционными системами, зависимости $G_{\max}(\alpha)$ являются линейными и могут быть выражены в виде

$$G_{\max}(\alpha) = G_{\max}(0) - v_G \alpha, \quad (4)$$

где $G_{\max}(0), v_G$ - расчетные коэффициенты, значения которых приведены в табл. 2.

На рис. 7 приведены графики, характеризующие величину и направленность влияния дополнительной анкеровки выносных опор мобильных машин на основные параметры их устойчивости против опрокидывания. Относительная степень дополнительной анкеровки выражается безразмерным коэффициентом

$$\bar{M}_o = M_o / M_G,$$

где M_G - грузовой момент манипуляционной системы (крана-манипулятора).

Для каждого сочетания типа базовой машины и типа манипуляционной системы характерны свои количественно различные зависимости основных параметров устойчивости мобильной машины против опрокидывания $G_{\max(o)}(\bar{M}_o), \bar{G}(\bar{M}_o), \Delta G_{\max}(\bar{M}_o), l_{A(o)}(\bar{M}_o), \bar{l}_A(\bar{M}_o), \Delta l_A(\bar{M}_o), l_{C(o)}(\bar{M}_o), \bar{l}_C(\bar{M}_o)$ и $\Delta l_C(\bar{M}_o)$. Однако качественно их вид сходен: в исследованном интервале значений $\bar{M}_o \in [0; 0,4]$ и ветровых нагрузок, соответствующих рекомендуемым условиям эксплуатации мобильных машин с манипуляционными системами, эти зависимости при $\alpha = const$ являются линейными и могут быть выражены в виде

$$Y(M_o) = Y(0) - v_Y \bar{M}_o,$$

где $Y(0)$ - значение параметра Y при $\bar{M}_o = 0$; v_Y - угловой коэффициент прямой $Y(M_o)$.

Зависимости основных параметров устойчивости мобильной машины против опрокидывания $Y(\alpha)$ при $\bar{M}_o = const$ имеют незначительно нелинейный характер. На рис. 8 показаны графики наибольшего допустимого веса груза на максимальном вылете манипуляционной системы $G_{\max}(\alpha, \bar{M}_o = const)$ при двух уровнях дополнительной анкеровки для расчетных вариантов эксплуатирующихся машин и наличия ветровой нагрузки.

В результате, обобщенные зависимости $Y(\bar{M}_o, \alpha)$ при графическом представлении приближенно характеризуются плоской поверхностью. Как пример, рис. 10 для одного из расчетных вариантов оценки эффективности дополнительной анкеровки (манипуляционная система - Fassi M30A.13; базовая машина - GAZ-Next) показаны графики зависимостей изменения основных параметров устойчивости от опрокидывания данной мобильной машины при совместном учете двух исследованных характеристик - угла отклонения опорной площадки от горизонтальной плоскости α и степени дополнительной анкеровки выносных опор \bar{M}_o .

Для практических расчетов поверхность $Y(\bar{M}_o, \alpha)$ допустимо аппроксимировать плоскостью вида

$$A_Y \alpha + B_Y \bar{M}_o + C_Y Y + D_Y = 0.$$

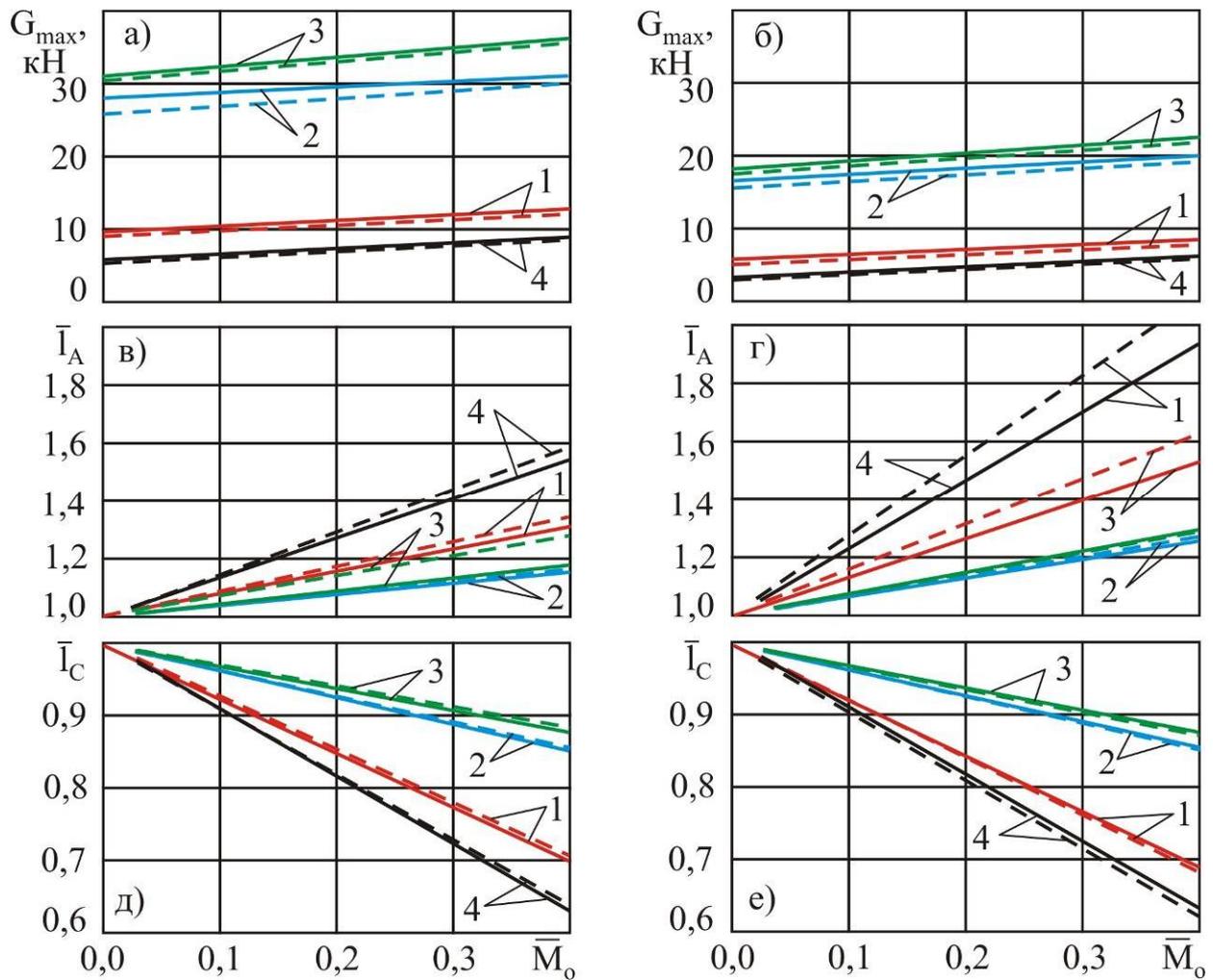


Рис. 7. Влияние дополнительной анкеровки выносных опор мобильных машин на основные параметры их устойчивости против опрокидывания: а, б - допустимый вес груза на максимальном вылете манипуляционной системы; в, г - допустимый вылет манипуляционной системы за ребро опрокидывания; д, е - допустимая полуширина опорного контура; а, в, д - $\alpha = 0^\circ$; б, г, е - $\alpha = 20^\circ$ (— - ветровая нагрузка отсутствует; - - - - - ветровая нагрузка присутствует; номера графиков соответствуют вариантам расчета)

Таблица 2

Значения расчетных коэффициентов в зависимостях (4) и (6) для исследованных вариантов мобильных машин

Коэффициент	Значение коэффициента для варианта				
	1	2	3	4	
$G_{\max}(0)$, кН	9,74 / 8,90	26,8 / 25,8	31,1 / 30,4	5,74 / 5,33	
v_G	Н/град	11,2/11,1	29,4 / 29,6	37,1 / 37,1	6,8 / 6,9
	Н/рад	196,0 / 193,8	513,3 / 516,5	647,3 / 648,3	119,1 / 119,7
$\alpha_{\lim}(0)$, град	57,4 / 55,4	59,8 / 58,6	52,3 / 51,7	47,4 / 45,7	
$v_{\alpha_{\lim}}$, град	39,0 / 44,3	19,3 / 20,8	18,5 / 19,3	59,3 / 63,5	

Примечание: В числителе - при отсутствии ветровой нагрузки, в знаменателе - при наличии ветровой нагрузки

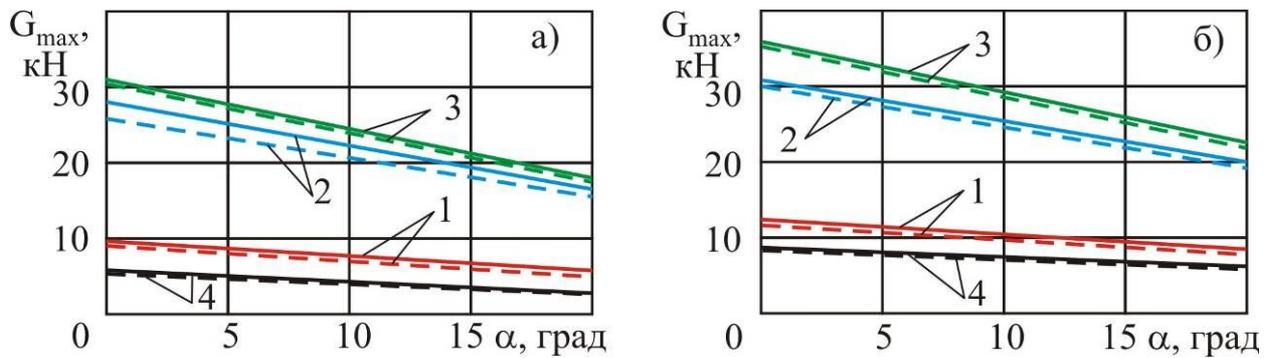


Рис. 9. Влияние дополнительной анкеровки выносных опор мобильных машин на величину допустимого веса груза на максимальном вылете манипуляционной системы:

а - $\bar{M}_o = 0$; б - $\bar{M}_o = 0,4$ (——— - ветровая нагрузка отсутствует; - - - - - ветровая нагрузка присутствует)

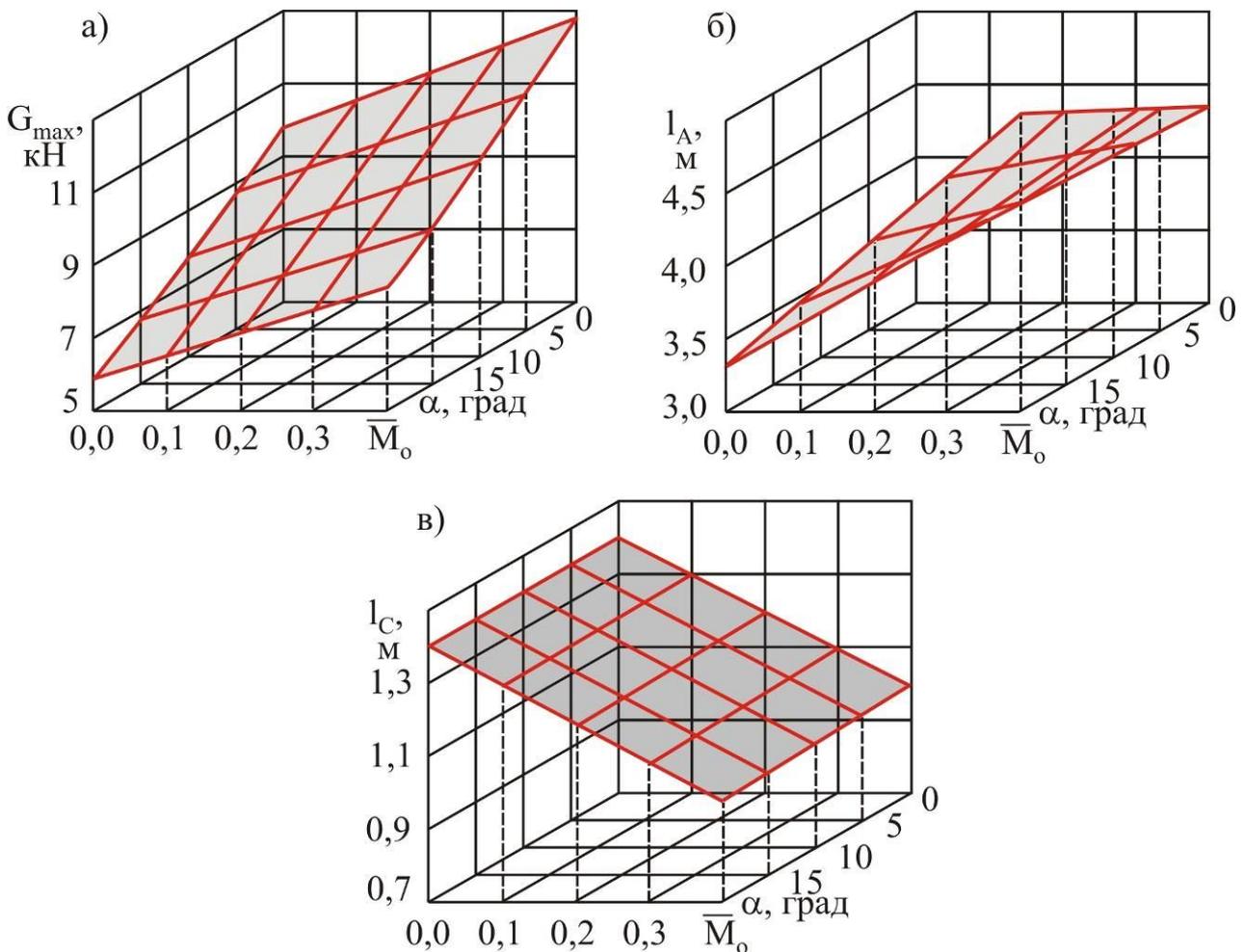


Рис. 10. Изменение основных параметров устойчивости против опрокидывания мобильных машин в зависимости от угла отклонения опорной площадки от горизонтальной плоскости и степени дополнительной анкеровки выносных опор: а - допустимый вес груза на максимальном вылете манипуляционной системы; б - допустимый вылет манипуляционной системы за ребро опрокидывания; в - допустимая полуширина опорного контура

Поэтому приближенная оценка рассмотренных выше параметров устойчивости от опрокидывания мобильной транспортно-тех-

нологической машины может быть выполнена по зависимости

$$Y(\alpha; \bar{M}_o) = \frac{D_Y - A_Y \alpha - B_Y \bar{M}_o}{C_Y}. \quad (5)$$

Расчетные зависимости для определения коэффициентов A_Y, B_Y, C_Y, D_Y в выражении (5) зависят от выбранного множества из трех опорных точек, которые используются для проведения аппроксимации. Целесообразно ориентироваться на один из четырех вариантов выбора точек аппроксимации:

- вариант 1: используется множество опорных точек P_1, P_2, P_3 с координатами

$$\begin{cases} P_1(\alpha_1 = 0; \bar{M}_{o,1} = 0; Y_1); \\ P_2(\alpha_2 = 0; \bar{M}_{o,2} = \bar{M}_{o,\max}; Y_2); \\ P_3(\alpha_3 = \alpha_{\max}; \bar{M}_{o,3} = 0; Y_3), \end{cases}$$

- вариант 2: используется множество опорных точек P_1, P_2, P_3 с координатами

$$\begin{cases} P_1(\alpha_1 = \alpha_{\max}; \bar{M}_{o,1} = 0; Y_1); \\ P_2(\alpha_2 = 0; \bar{M}_{o,2} = \bar{M}_{o,\max}; Y_2); \\ P_3(\alpha_3 = \alpha_{\max}; \bar{M}_{o,3} = \bar{M}_{o,\max}; Y_3), \end{cases}$$

- вариант 3: используется множество опорных точек P_1, P_2, P_3 с координатами

$$\begin{cases} P_1(\alpha_1 = 0; \bar{M}_{o,1} = 0; Y_1); \\ P_2(\alpha_2 = \alpha_{\max}; \bar{M}_{o,2} = 0; Y_2); \\ P_3(\alpha_3 = \alpha_{\max}; \bar{M}_{o,3} = \bar{M}_{o,\max}; Y_3), \end{cases}$$

- вариант 4: используется множество опорных точек P_1, P_2, P_3 с координатами

$$\begin{cases} P_1(\alpha_1 = 0; \bar{M}_{o,1} = 0; Y_1); \\ P_2(\alpha_2 = 0; \bar{M}_{o,2} = \bar{M}_o; Y_2); \\ P_3(\alpha_3 = \alpha_{\max}; \bar{M}_{o,3} = \bar{M}_{o,\max}; Y_3), \end{cases}$$

где $\alpha_{\max}, \bar{M}_{o,\max}$ - верхние значения интервалов изменения параметров α и \bar{M}_o соответственно, в пределах которых выполняется аппроксимация функции двух переменных $Y(\bar{M}_o, \alpha)$.

Входящие в выражение (5) коэффициенты A_Y, B_Y, C_Y, D_Y выражаются следующими зависимостями:

- вариант 1

$$A_Y = \bar{M}_{o,\max} (Y_3 - Y_1);$$

$$B_Y = \alpha_{\max} (Y_2 - Y_1);$$

$$C_Y = -\alpha_{\max} \bar{M}_{o,\max};$$

$$D_Y = -\alpha_{\max} \bar{M}_{o,\max} Y_1,$$

- вариант 2

$$A_Y = \bar{M}_{o,\max} (Y_2 - Y_3);$$

$$B_Y = \alpha_{\max} (Y_1 - Y_3);$$

$$C_Y = -\alpha_{\max} \bar{M}_{o,\max};$$

$$D_Y = -\alpha_{\max} \bar{M}_{o,\max} (Y_1 + Y_2 - Y_3),$$

- вариант 3

$$A_Y = -\bar{M}_{o,\max} (Y_2 - Y_1);$$

$$B_Y = -\alpha_{\max} (Y_3 - Y_2);$$

$$C_Y = -\alpha_{\max} \bar{M}_{o,\max};$$

$$D_Y = -\alpha_{\max} \bar{M}_{o,\max} Y_1,$$

- вариант 4

$$A_Y = \bar{M}_{o,\max} (Y_3 - Y_2);$$

$$B_Y = \alpha_{\max} (Y_2 - Y_1);$$

$$C_Y = -\alpha_{\max} \bar{M}_{o,\max};$$

$$D_Y = -\alpha_{\max} \bar{M}_{o,\max} Y_1.$$

Вследствие отмеченной ранее незначительной нелинейности функции $Y(\alpha; \bar{M}_o = const)$ для аппроксимации (5) характерна некоторая погрешность расчета параметра устойчивости Y , причем она зависит от выбранного варианта аппроксимации. В опорных точках аппроксимации данная погрешность равна 0, а максимума она достигает в угловой точке области $[0 \leq \alpha \leq \alpha_{\max}; 0 \leq \bar{M}_o \leq \bar{M}_{o,\max}]$, не совпадающей ни с одной из опорных точек.

Анализ точности аппроксимационной зависимости (5) был выполнен на примере манипуляционной системы Fassi M30A.13, установленной на шасси мобильной машины GAZ-Next (вариант 1, табл. 1). Применительно к данной мобильной машине в зависимости от возможного варианта выбора точек аппроксимации выражение (5) в области $[0 \leq \alpha \leq \alpha_{\max}; 0 \leq \bar{M}_o \leq \bar{M}_{o,\max}]$ принимает следующий вид:

- для варианта 1

$$\hat{G}_{\max}(\alpha, \bar{M}_o) = 9742 - 196\alpha + 7727,5\bar{M}_o;$$

- для варианта 2

$$\hat{G}_{\max}(\alpha, \bar{M}_o) = 10273 - 222,6\alpha + 6400\bar{M}_o;$$

- для варианта 3

$$\hat{G}_{\max}(\alpha, \bar{M}_o) = 9742 - 196\alpha + 6400\bar{M}_o;$$

- для варианта 4

$$\hat{G}_{\max}(\alpha, \bar{M}_o) = 9742 - 222,6\alpha + 7727,5\bar{M}_o.$$

В качестве исследуемой погрешности рассматривалась относительная погрешность аппроксимации параметра устойчивости (наи-

больший допустимый вес груза на максимальном вылете манипуляционной системы) $G_{\max}(\alpha, \bar{M}_o)$:

$$\delta_{G_{\max}} = \left(\frac{\hat{G}_{\max}}{G_{\max}} - 1 \right) \cdot 100\%,$$

где \hat{G}_{\max} - приближенная оценка параметра устойчивости G_{\max} в соответствии с выражением (5).

Результаты расчетов погрешности $\delta_{G_{\max}}$ приведены на рис. 11. Для всех вариантов выбора точек аппроксимации наблюдается сравнительно небольшая погрешность (в максимальном размере менее 10%, что соответ-

ствует точности инженерных расчетов. Аппроксимация на основе опорных точек согласно вариантам 1 и 2 во всей области $[0 \leq \alpha \leq \alpha_{\max}; 0 \leq \bar{M}_o \leq \bar{M}_{o,\max}]$ приводит к завышенным оценкам наибольшего допустимого веса груза на максимальном вылете манипуляционной системы $\hat{G}(\alpha; \bar{M}_o)$, что недопустимо с точки зрения обеспечения безопасности при эксплуатации мобильной машины. Варианты 3 и 4 являются более предпочтительными, так как для них характерны как завышенные, так и заниженные оценки аппроксимации параметра устойчивости $\hat{G}(\alpha; \bar{M}_o)$.

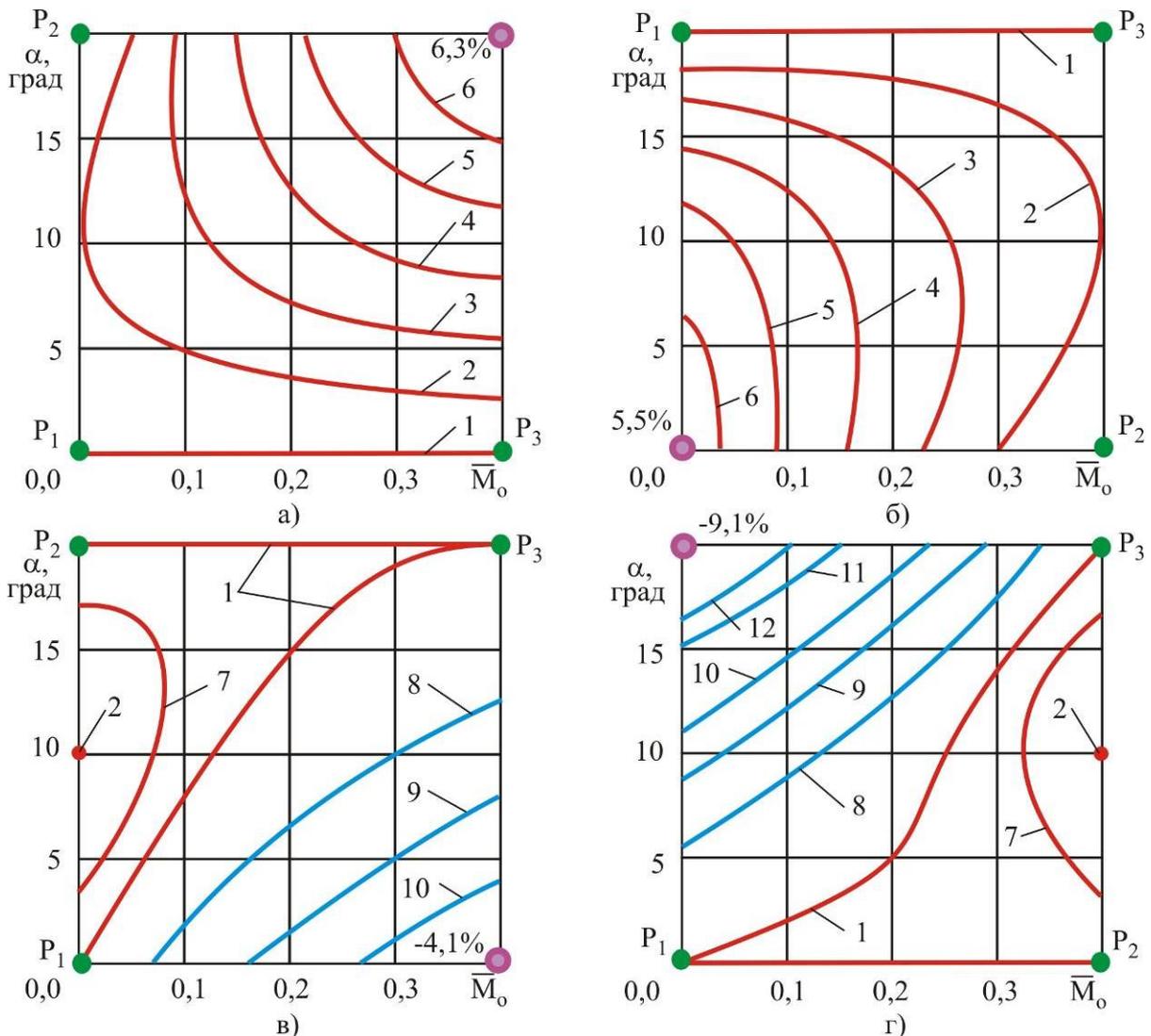


Рис. 11. Линии равных значений относительной погрешности аппроксимации наибольшего допустимого веса груза на максимальном вылете манипуляционной системы для разных вариантов выбора точек аппроксимации:

а – вариант 1; б – вариант 2; в – вариант 3; г – вариант 4

(значение погрешности для кривых: 1 – 0%; 2 – 1%; 3 – 2%; 4 – 3%; 5 – 4%; 6 – 5%; 7 – 0,5%; 8 – -1%; 9 – -2%; 10 – -3%; 11 – -4%; 12 – -5%)

Последние оценки следует считать благоприятными, так как они обеспечивают большую безопасность при эксплуатации мобильной машины. Кроме того, для этих вариантов наблюдается невысокий в среднем уровень погрешности в пределах всей области $[0 \leq \alpha \leq \alpha_{\max}; 0 \leq \bar{M}_o \leq \bar{M}_{o,\max}]$. Можно рекомендовать использовать аппроксимацию параметров устойчивости мобильных машин по варианту 3 для случая, когда машина работает при сравнительно небольших уклонах опорной поверхности α и значительной дополнительной анкерровке выносных опор. Вариант 4 наиболее подходит для случая, когда мобильная машина работает при значительных уклонах опорной поверхности α и практически любой дополнительной анкерровке выносных опор.

На основании зависимости (3) можно определить предельный угол наклона опорной площадки α_{\lim} , при достижении которого наибольший допустимый вес груза на максимальном вылете манипуляционной системы становится равным 0:

$$G_{\max}(\alpha_{\lim}) = 0.$$

В этом случае мобильная машина теряет устойчивость и опрокидывается под действием лишь собственного веса – веса металлоконструкции манипуляционной системы Q_m и базового шасси Q_s .

Рис. 12 дает представление о влиянии дополнительной анкерровки выносных опор на величину угла α_{\lim} . Видно, что для рассмотренных реальных вариантов мобильных машин этот угол является значительным, существенно превышающим имеющиеся паспортные рекомендации заводов-изготовителей по безопасной эксплуатации мобильных кранов-манипуляторов даже при отсутствии дополнительной анкерровки выносных опор. Поэтому он не представляет большого практического интереса при нормальных условиях эксплуатации кранов-манипуляторов.

Угол α_{\lim} может быть приближенно определен в результате решения упрощенного нелинейного алгебраического уравнения вида

$$M_o + Q_s(l_C \cos \alpha_{\lim} - h_C \sin \alpha_{\lim}) + Q_m[(l_C - l_B) \cos \alpha_{\lim} - h_B \sin \alpha_{\lim}] = 0,$$

в котором не учитываются слагаемые, связанные с ветровыми нагрузками на транс-

портируемый груз, манипуляционную систему и базовую машину. При отсутствии дополнительной анкерровки выносных опор предельный угол наклона опорной площадки α_{\lim} определяется как

$$\alpha_{\lim} = \arctg \left[\frac{Q_s l_C + Q_m (l_C - l_B)}{Q_s h_C + Q_m h_B} \right].$$

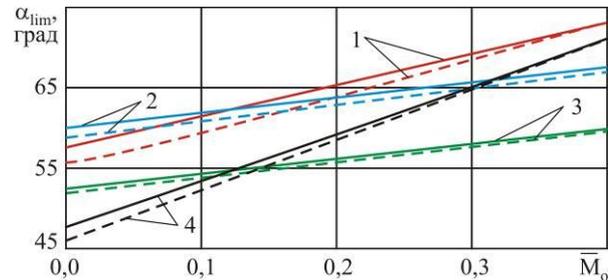


Рис. 12. Влияние дополнительной анкерровки выносных опор на величину предельного угла наклона опорной площадки мобильной машины: ——— - ветровая нагрузка отсутствует; - - - - ветровая нагрузка присутствует (номера графиков соответствуют вариантам расчета)

Значения угла α_{\lim} , рассчитанные по данным упрощенным зависимостям, являются завышенными на $1...3^\circ$. В исследованном интервале значений $\bar{M}_o \in [0; 0,4]$ и ветровых нагрузок, соответствующих рекомендуемым условиям эксплуатации мобильных машин с манипуляционными системами, зависимости $\alpha_{\lim}(\bar{M}_o)$ являются линейными и могут быть выражены в виде

$$\alpha_{\lim}(\bar{M}_o) = \alpha_{\lim}(0) - v_{\alpha_{\lim}} \bar{M}_o, \quad (6)$$

где $\alpha_{\lim}(0)$, $v_{\alpha_{\lim}}$ – расчетные коэффициенты, значения которых приведены в табл. 2.

Предельный угол наклона опорной площадки α_{\lim} может приниматься во внимание при возможных экстремальных условиях эксплуатации кранов-манипуляторов, связанных с их использованием в чрезвычайных ситуациях. Анализ данных на рис. 12 показывает, что дополнительная анкерровка выносных опор мобильных транспортно-технологических машин способна существенно повысить величину предельного угла наклона опорной площадки, при котором еще возможна эксплуатация машин в чрезвычайных условиях.

Выводы.

1. Разработанная математическая модель расчета характеристик против опрокидывания мобильных транспортно-технологических машин, оснащенных грузоподъемными манипуляционными системами, позволяет выполнить количественную оценку степени влияния дополнительной анкеровки выносных опор на повышение грузовой устойчивости мобильных машин при проведении погрузочно-разгрузочных работ.

Математическая модель носит универсальный характер, так как она позволяет оценить эффективность дополнительной анкеровки независимо от конструктивного исполнения выносных опор и размещения анкерных устройств.

2. На примере нескольких типов мобильных машин показана эффективность применения выносных опор со встроенными анкерными устройствами на основе прокалывающих грунт рабочих элементов. Анкеровка выносных опор позволяет повысить величину наибольшего допустимого веса транспортируемого груза на максимальном вылете манипуляционной системы и величину допустимого вылета манипуляционной системы за ребро опрокидывания, а также уменьшить допустимую ширину опорного контура мобильной машины. Данные положительные эффекты от дополнительной анкеровки выносных опор имеют важное значение при эксплуатации специальных мобильных машин и производстве погрузочно-разгрузочных работ в экстремальных условиях или при проведении аварийно-спасательных работ при ликвидации последствий природных и техногенных аварий и катастроф.

3. Предложенные аппроксимационные формулы для приближенной оценки основных характеристик грузовой устойчивости по опрокидыванию мобильных машин на основе их линейной зависимости от угла наклона к горизонту опорной поверхности и относительной степени дополнительной анкеровки выносных опор достаточно точно позволяют выполнить необходимые расчеты. Точность аппроксимации лежит максимально в пределах до 10%. Предложенные рекомендации по рациональному выбору точек аппроксимации позволяют заметно повысить ее точность для конкретных условий экс-

плуатации мобильных транспортно-технологических машин.

Список литературы

1. Методические рекомендации. Краны стреловые самоходные. Нормы расчета устойчивости против опрокидывания: РД НИИ-ИК-05-07. – Утв. Ростехнадзором 01.03.07 г.
2. Александров, М.П. Грузоподъемные машины / М.П. Александров. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана – Высшая школа, 2000. – 552 с.
3. Белецкий, Б.Ф. Строительные машины и оборудование / Б.Ф. Белецкий, И.Г. Булгакова. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2005. – 608 с.
4. Лагереv, И.А. Сравнительный анализ гидравлических кранов-манипуляторов транспортно-технологических машин и гидравлических манипуляторов промышленных роботов / И.А. Лагереv // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2016. – №3. – С. 16-43. DOI: 10.5281/zenodo.1198767
5. Анисимов, Г.М. Основы научных исследований лесных машин / Г.М. Анисимов, А.М. Кочнев. – М.: Лань, 2010. – 526 с.
6. Емтыль, З.К. Совершенствование кинематики, динамики и конструкции лесопромышленных гидроманипуляторов: автореферат дис. ... докт. техн. наук / Емтыль Зауркан Камболетович. – Воронеж: ВГЛТА, 2002. – 35 с.
7. Подъемно-транспортные машины: атлас конструкций / Под ред. М.П. Александрова, Д.Н. Решетова. – М.: Машиностроение, 1987. – 122 с.
8. Autocrane Company [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.autocrane.com>.
9. Terex Cranes [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.terex.com/cranes/ru/products/pickcarrycranes/index.htm>.
10. Timbco, TimberPro and Pat Crawford Companies [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://timberpro.com>.
11. Надежность в технике. Оценка параметров безопасности колесных и гусеничных машин по опрокидыванию. Характеристики динамической и статической устойчивости: РД 50-233-81. – Утв. Госкомитет по стандартам 01.01.1982 г. – введ. в действие 01.01.82 г.

12. А.с. 606804 СССР: МПИ2 В66С 23/78. Выносная опора грузоподъемной машины / Пенчук В.А., Прилепский Р.К., Баранчиков А.В.; заявитель и патентообладатель Макевский инженерно-строительный институт и комбинат «Донецктяжстрой». – № 2421965/27; заявл. 18.11.76; опубл. 15.05.78, Бюл. 18.
13. Пат. 61699 Рос. Федерация: МПК5 В66 С 23/78. Выносная опора землеройно-транспортной машины / Левченко С.А., Миркин С.Н., Егоров К.Д.; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова». – № 2006133490/22; заявл. 18.09.2006; опубл. 10.03.2007, Бюл. 7.
14. Пат. 165312 Рос. Федерация: МПК7 В66С23/64. Выносная опора подъемно-транспортной машины / Лагерев И.А., Ковальский В.Ф., Толкачев Е.Н., Шатунова Е.А., Лагерев А.В.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «БГУ имени академика И.Г. Петровского». – №2016116467; заявл. 26.04.16; опубл. 10.10.2016, Бюл. 28.
15. Лагерев, И.А. Повышение безопасности эксплуатации мобильных транспортно-технологических машин с манипуляционными системами при работе с аутригерами / И.А. Лагерев, А.В. Лагерев // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2017. - №3. – С. 296-302. DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-03-296-302
16. Бычков, И.С. Оценка устойчивости грузоподъемного крана, оборудованного грунтовыми якорями / И.С. Бычков // Вестник СибАДИ. – 2017. - № 3 (55). – С. 7-11.
17. Лагерев, И.А. Моделирование рабочих процессов манипуляционных систем мобильных многоцелевых транспортно-технологических машин и комплексов / И.А. Лагерев. – Брянск: РИО БГУ, 2016. – 371 с. DOI: 10.5281/zenodo.1198980
18. Соколов, С.А. Металлические конструкции подъемно-транспортных машин / С.А. Соколов. – СПб.: Политехника, 2005. – 423 с.
19. Лагерев, А.В. Нагруженность подъемно-транспортной техники / А.В. Лагерев. – Брянск: БГТУ, 2010. – С. 125-143.

Сведения об авторах

Лагерев Александр Валерьевич – доктор технических наук, профессор, заместитель директора по научной работе НИИ фундаментальных и прикладных исследований ФГБОУ ВПО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского», bsu-avl@yandex.ru.

ORCID: 0000-0003-0380-5456.

Лагерев Игорь Александрович – доктор технических наук, доцент, проректор по инновационной работе ФГБОУ ВПО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского»,

lagerev-bgu@yandex.ru.

ORCID: 0000-0002-0921-6831.

THE INFLUENCE OF ANCHORING OF REMOTE SUPPORTS ON THE STABILITY OF MOBILE TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL MACHINES EQUIPPED WITH BOOM LIFT MANIPULATORS

Lagerev A.V., Lagerev I.A.

Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University (Bryansk, Russian Federation)

The article presents a mathematical model for calculating the characteristics of stability against overturning for mobile transport and technological machines equipped with boom lift manipulators. This model allows us to perform a quantitative assessment of the degree of influence of anchoring of outriggers on the increase of cargo stability of mobile machines during loading and unloading operations. The mathematical model is universal: it allows to estimate efficiency of additional anchoring irrespective of a design of outriggers and placement of anchor devices. On the example of several types of mobile machines shows the effectiveness of outriggers with built-in anchor devices on the basis of piercing working elements. The quantitative analysis of the impact of anchoring on the increase in the weight of the transported cargo and the maximum departure of the handling system and the reducing the width of the support contour of the mobile machine was performed. The analysis of the influence of anchoring on the increase of the maximum allowed angle of inclination of the support surface on which the mobile machine can be operated under the condition of stability against overturning was performed. These positive effects of additional anchoring of outriggers are important in the operations of special mobile machines, in the operations of loading and unloading operations in extreme conditions or during rescue operations in the aftermath of natural and man-made accidents and catastrophes. The formulas for linear two-factor approximation of the main characteristics of cargo stability against overturning of mobile machines depending on the angle of inclination to the horizon of the support contour and the degree of anchoring of outriggers was proposed. The accuracy of the approximation is maximum within 10%. The proposed recommendations for the rational choice of approximation points can significantly improve its accuracy for specific operating conditions of mobile transport and technological machines.

Keywords: boom lift manipulator, mobile transport and technological machine, remote support, anchoring, stability, overturning, increasing stability

DOI: 10.22281/2413-9920-2018-04-02-152-169

The study was supported by the grant of Russian science Foundation (project No. 17-79-10274)

References

1. RD NIIK-05-07. *Metodicheskie rekomendatsii. Krany strelovye samokhodnye. Normy rasheta ustoychivosti protiv oprokidyvaniya* [Methodical recommendation. Self-propelled jib cranes. Norms of calculation of stability against overturning]. Moscow, Rostekhнадзор, 2007. (In Russian)
2. Aleksandrov M.P. *Gruzopodemnyye mashiny* [Lifting-transport machines]. Moscow, MGТУ imeni N.E. Bauman, 2000. 552 p. (In Russian)
3. Beletskiy B.F. *Stroitelnye mashiny i oborudovaniya* [Construction machinery and equipment]. Rostov-na-Donu, Feniks, 2005. 608 p. (In Russian)
4. Lagerev I.A. Comparative analysis of hydraulic crane-manipulating installations transport and technological machines and industrial robots hydraulic manipulators. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2016, No.3, pp. 16-49. DOI: 10.5281/zenodo.1198767 (In Russian)
5. Anisimov G.M., Kochnev A.M. *Osnovy nauchnykh issledovaniy lesnykh mashyn* [Fundamentals of scientific research of forestry machinery]. Moscow, Lan, 2010. 526 p. (In Russian)
6. Emyl Z.K. Improving the kinematics, dynamics and design of timber cranes. Diss. Doct. Sci. (Engineering). Voronezh, 2002. 35 p. (In Russian)
7. Aleksandrov M.P., Reshetov D.N. Lifting-transport mashines. Moscow, Mashinostroenie, 1987. 122 p. (In Russian)
8. Autocrane Company. Available: <http://www.autocrane.com>.
9. Terex Cranes. Available: <http://www.terex.com/cranes/ru/products/pickcarrycranes/index.htm>.
10. Timbco, TimberPro and Pat Crawford Companies. Available: <http://timberpro.com>.
11. 1. RD 50-233-81. *Nadezhnost v tekhnike. Otsenka parametrov bezopasnosti kolesnykh i gusenichnykh mashin po oprokidyvaniyu. Kharakteristiki dinamicheskoy i staticheskoy ustoychivosti* [Reliability in technology. Assessment of safety parameters of wheeled and

tracked vehicles for tipping. Dynamic and static stability characteristics]. Moscow, Goskomitet po standartam, 1982. (In Russian)

12. Patent USSR 606804, B66C 23/78. *Vynosnaya opora gruzopodemnoy mashiny* [Outrigger of lifting machine]. Penchuk V.A., Prilepskiy R.K., Baranchikov A.V. Published 15.05.1978. (In Russian)

13. Patent RU 61699, B66C 23/78. *Vynosnaya opora zemleroyno-transportnoy mashiny* [Outrigger of earth-moving transport machine]. Levchenko S.A., Mirkin S.N., Egorov K.D. Published 10.03.2007. (In Russian)

14. Patent RU 165312, B66C23/64. *Vynosnaya opora podemno-transportnoi mashiny* [Outrigger of lifting and transport machines]. Lagerev I.A., Kovalskiy V.F., Tolkachev E.N., Shatunova E.A., Lagerev A.V. Declared 26.04.2016. Published 10.10.2016. (In Russian)

15. Lagerev I.A., Lagerev A.V. Improving the safety of operation mobile transport and technological machines with manipulators when working with outriggers. *Nauchno-tekhnicheskiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2017, No.3, pp. 296-302. DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-03-296-302 (In Russian)

16. Bychkov I.S. *Otsenka ustoychivosty gruzopodemnogo krana, oborudovannogo grunтовыми yakoryami* [Evaluation of the stability of a crane equipped with ground anchors]. *Vestnik Si-*

bADI, 2017, No.3, pp. 7-11. DOI: 10.26518/2071-7296-2017-3(55)-7-11 (In Russian)

17. Lagerev I.A. *Modelirovanie rabochikh protsessov manipulyatsionnykh sistem mobilnykh mnogotselnykh transportno-tekhnologicheskikh mashin i kompleksov* [Modeling of work processes in manipulation systems for mobile multi-purpose transport and technological machines and complexes]. Bryansk, RIO BGU, 2016. 371 p. DOI: 10.5281/zenodo.1198980 (In Russian)

18. Sokolov S.A. *Metallicheskie konstruksii podemno-transportnykh mashin* [Lifting-transport machines metall constructions]. SPb, Politehnika, 2005. 423 p. (In Russian)

19. Lagerev A.V. *Nagruzhenost podemno-transportnoy tekhniki* [Load lifting and transport equipment]. Bryansk, BGTU, 2010. 180 p. (In Russian)

Authors' information

Alexander V. Lagerev - Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice director of Research Institute of Fundamental and Applied Research at Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University, bsu-avl@yandex.ru.

ORCID: 0000-0003-0380-5456.

Igor A. Lagerev - Doctor of Technical Sciences, Assistant Professor, Vice rector for Innovations at Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University, lagerev-bgu@yandex.ru.

ORCID: 0000-0002-0921-6831.

Дата принятия к публикации
(Date of acceptance for publication)
19.03.2018

Дата публикации
(Date of publication):
25.06.2018

