

УДК 621.86/87

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КООРДИНАТ ТОЧЕК КРЕПЛЕНИЯ УРАВНОВЕШИВАЮЩЕГО КАНАТА НА КОЛЕБАТЕЛЬНОСТЬ ГРУЗА НА СТРЕЛЕ КРАНА-ТРУБОУКЛАДЧИКА

Р.Ю. Сухарев, В.В. Танский
ФГБОУ ВО «СибАДИ», г. Омск, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Работа крана-трубоукладчика в сложных грунтовых условиях оказывает существенное влияние на процесс выполнения работ и режим работы машины. Неровности микрорельефа являются основной причиной для колебаний груза, зачастую приводящих к аварийным ситуациям. В работе рассмотрены инженерные решения, направленные на снижение негативного влияния колебания груза на стреле крана-трубоукладчика. Обоснована необходимость нового инженерного решения, направленного на ограничение амплитуды колебаний груза на стреле крана-трубоукладчика.

Материалы и методы. Для исследования использована математическая модель, где кран-трубоукладчик представляет собой шарнирно сочлененный многозвенник с наложенными на него упруго-вязкими связями. Кинематика звеньев описана с помощью метода однородных координат, динамика звеньев описана системой уравнений Лагранжа 2 рода.

Результаты. Построены следующие зависимости: колебательность груза от координат крепления уравнивающего каната к стреле и грузовому канату, для диапазона углов наклона стрелы от 30° до 80°. Определено влияние координат крепления уравнивающего каната к стреле и грузовому канату на колебательность груза, для фиксированного значения длины грузового каната.

Обсуждение и заключение. Дана оценка влияния координат крепления уравнивающего каната к стреле и грузовому канату на колебательность груза на стреле крана-трубоукладчика.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: кран-трубоукладчик, колебания, груз, колебательность, уравнивающий канат, расчетная схема, грузовой канат, ограничение колебаний.

ВВЕДЕНИЕ

Наличие неровностей микрорельефа при выполнении работ по обустройству газовых и нефтяных месторождений прокладки трубопровода является одним из основных факторов, негативно влияющих на колебания груза на стреле крана-трубоукладчика [2, 6, 7, 8, 10, 22]. Следует учесть, что раскачивание груза на стреле вследствие преодоления неровностей микрорельефа может привести к повреждениям стрелы, самого груза, а также сооружений, расположенных вблизи производимых работ, ведет к снижению скорости и точности выполняемых работ. В процессе укладки трубопровода при наличии колебаний возникает вероятность удара трубы о стенку траншеи, повреждению укладываемого трубопровода и его изоляции. Анализ типовых эксплуатационных дефектов показывает, что большинство нештатных, аварийных ситуации происходят в режиме перемещения крана с грузом [2, 6, 7, 8].

Был проведен анализ инженерных решений, направленных на снижение негативного влияния колебаний груза на стреле крана-трубоукладчика [15, 16, 17, 18, 20]. Полезные модели [15, 16, 17] схожи по принципу действия, эффект в них достигается за счет включения в конструкцию упруго-вязкого тела Фохте, которое, в случае резкого возрастания силы на крюке, позволяет плавно разгрузить кран за счет перераспределения нагрузки на соседние краны.

Полезная модель [18] призвана защитить стрелу от удара об нее груза за счет гашения части энергии удара на деформацию пружины. Работа полезной модели [20] аналогична за исключением того, что предложенная гидравлическая схема позволяет гасить колебания после удара груза о стрелу за счет изменения давления газа в гидропневмоаккумуляторе и рассеивании энергии в регулируемом дросселе.

Рассмотренные инженерные решения снижают негативные влияния колебаний груза на

стреле крана-трубоукладчика. Однако они не решают вопрос с ограничением самих колебаний.

Была выдвинута гипотеза, что ограничение степени свободы груза в поперечной вертикальной плоскости за счет введения в конструктивную схему дополнительной связи позволит снизить амплитуду колебания груза на стреле. Предложен новый способ закрепления груза на стреле при помощи уравнивающего каната (УК), позволяющий существенно снизить амплитуду колебания груза на стреле [19]. Важно понять, какое расположение УК является наиболее эффективным.

Исходя из назначения УК критерий эффективности должен оценивать основные параметры, характеризующие ход колебательного процесса, быть при этом сравнительно легким для представления и измерения. Учи-

тая вышперечисленные требования, за критерий эффективности принимаем колебательность μ .

Колебательность – отношение двух соседних максимальных положительных отклонений переходной характеристики, выражаемая в процентах формула 2 [21].

Таким образом, чем ниже значение колебательности, тем эффективнее работа УК.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

На рисунке 1 представлена расчетная схема крана-трубоукладчика, оснащенного УК. При составлении схемы были приняты следующие допущения: кран-трубоукладчик является стационарной и голономной системой, представляет собой шарнирно-сочлененный многосвязник с наложенными на него упруго-вязкими и динамическими связями, внеш-

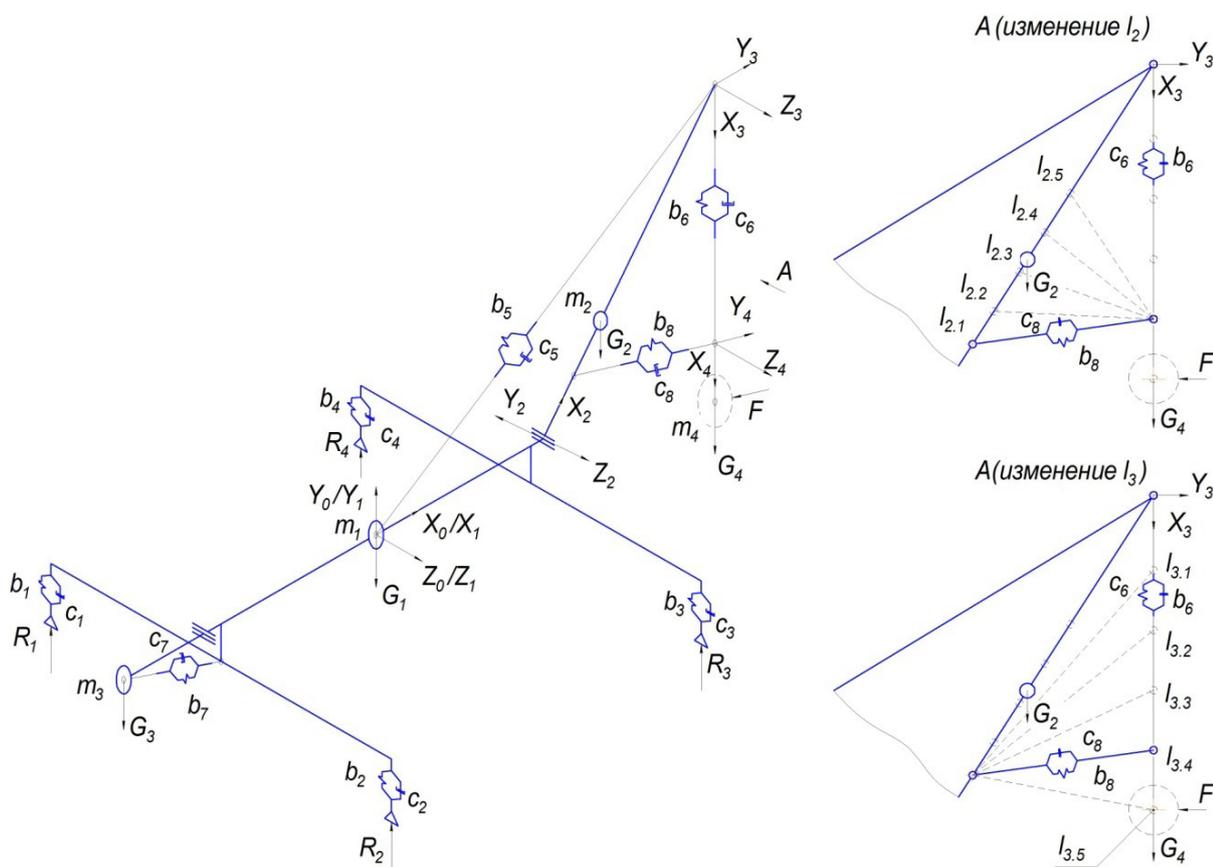


Рисунок 1 – Расчетная схема крана-трубоукладчика
Figure 1 – Design diagram of the pipe-laying crane

ние силы, действующие на кран-трубоукладчик, являются сосредоточенными, люфты и силы сухого трения в шарнирах отсутствуют [2, 4].

Согласно методу однородных координат [1, 2, 3, 5, 9] были составлены матрицы перехода A_i от локальных систем координат к инерциальной. Получены матрицы скоростей U_{ij} . Координаты и скорости точек упруго-вязких тел описываются матрицами соответствующих звеньев, к которым принадлежат тела [11, 12].

Полученные матрицы позволили составить уравнение Лагранжа второго рода в векторно-матричной форме для вынужденных колебаний системы [13, 14].

$$\begin{aligned} & \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^9 tr[U_{ij} H_i U_{iv}^T] q_j'' + \\ & + \sum_{u=1}^8 \sum_{j=1}^9 tr[M_{uj} B_u M_{uv}^T] q_j' + \\ & + \sum_{u=1}^8 \sum_{j=1}^9 tr[M_{uj} N_u M_{uv}^T] q_j + \\ & + \sum_{i=1}^4 m_i g G^T U_{iv} \vec{R}_i = \vec{F}_r U_{iv} \vec{R}_{ir}. \end{aligned} \quad (1)$$

где $i=4$ – количество звеньев, $j=9$ – количество степеней свободы, $u=8$ – количество упругих элементов, U_{ij} – матрица скорости i -го звена по j -й координате, H_i – матрица инерционности i -го элемента, M_{uj} – матрица деформации u -го упругого элемента по j -ой координате, N_u – матрица упругости, B_u – матрица вязкости u -го упругого элемента, G^T – вектор сил тяжести звеньев системы, \vec{R}_i – радиус вектор i -го звена, m_i – масса i -го звена, M_{uv}^T – транспонированная матрица деформации u – упруго-вязкого элемента, q_j – обобщенная координата по степени свободы j , \vec{F}_r – внешняя сила, приложенная к i -му звену расчетной схемы, U_{iv}^T – матрица скорости i -го элемента, U_{iv} – транспонированная матрица скорости i -го элемента, \vec{R}_{ir} – вектор в локальной системе координат звена точки приложения силы.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Был проведен анализ влияния координат точек крепления УК на колебательность груза. На рисунке 1 показана схема проведения машинного эксперимента.

Варьируемыми параметрами являлись:

- координата точки крепления УК к стреле l_2 , по оси X_2 , локальной системы координат $O_2 X_2 Y_2 Z_2$;

- координата крепления УК к грузовому канату l_3 , по оси X_3 , локальной системы координат $O_3 X_3 Y_3 Z_3$;

Значение координат точки крепления УК к стреле варьировалось в диапазоне от 2,3 м до 5,5 м, для точки крепления уравновешивающего каната к грузовому этот диапазон составил от 1,0 м до 4,2 м при фиксированной длине грузового каната 4,2 м. Такие диапазоны продиктованы конструктивными особенностями крана-трубоукладчика и позволяют рассмотреть все возможные варианты крепления уравновешивающего каната. Величина шага в первом и втором случаях составила 0,8 м.

Длина УК в ходе моделирования была переменной и варьировалась исходя из условия натяжения в момент времени $t=0$. Длина грузового каната 4,2 м, масса груза, сила F не изменялись.

В ходе машинного эксперимента к центру масс груза вдоль оси $O_0 X_0$ прикладывался импульс силы F (2 000 Н·с), возбуждающий вынужденные затухающие колебания груза. С целью оценки влияния координат точек крепления УК на колебания груза фиксировалась временная зависимость отклонения груза $l_{гр}$ по оси X_0 , инерциальной системы координат $O_0 X_0 Y_0 Z_0$.

С полученного графика (рисунок 2) снимались значения двух последовательно идущих отклонений $l_{гр1}$ и $l_{гр2}$, а также установившиеся значение $l_{гр,y}$ и рассчитывалось значение колебательности для данного расчетного случая (2) [21].

$$\mu = \frac{l_{gp2} - l_{gp,y}}{l_{gp1} - l_{gp,y}} \cdot 100\%. \quad (2)$$

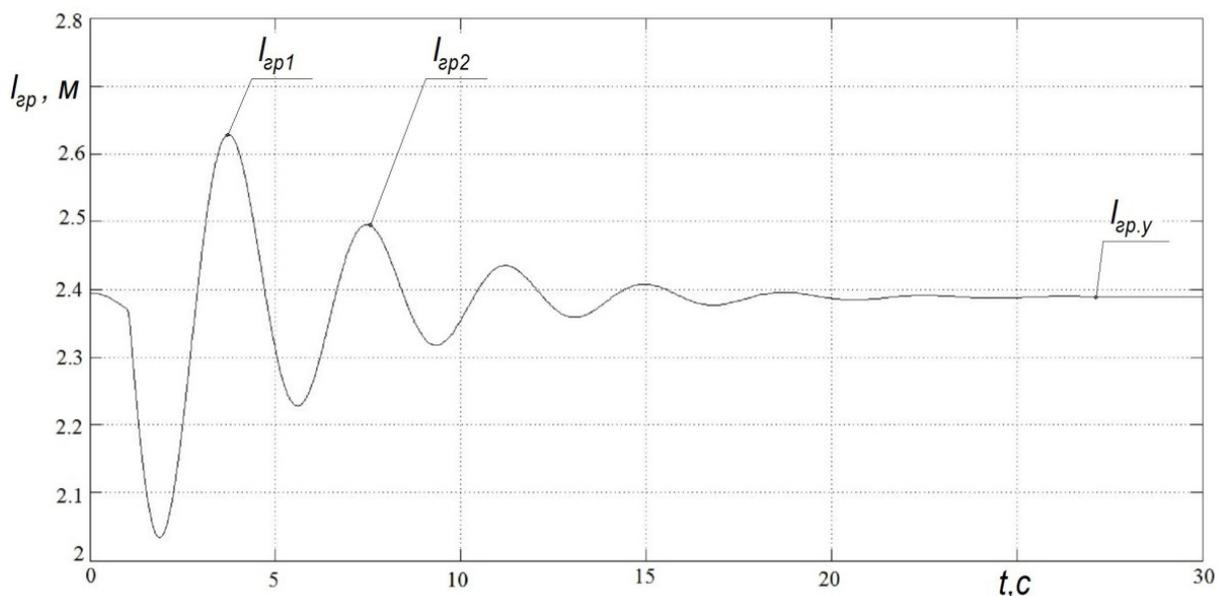


Рисунок 2 – Временная зависимость отклонения груза по оси X_0 , угол наклона стрелы $\alpha_2=70^\circ$, координата точки крепления уравновешивающего каната к стреле 3,1м, координата точки крепления к грузовому канату 1,8 м
Fig. 2 – Time dependence of the load deviation along the X_0 axis, the boom angle $\alpha_2=70^\circ$, the coordinate of the balancing rope attachment point to the boom of 3.1 m, the coordinate of the anchorage point to the load rope 1.8 m

Исследования проводились для диапазона углов наклона стрелы α_2 от 30° до 80° с шагом 10° . Такой диапазон α_2 позволяет охватить большинство значений углов наклона стрелы, при которых производятся работы крана-трубоукладчика в колонне. Порядок проведения исследования представлен в таблице 1, где $I_{2,1}-I_{2,5}$ координаты точек крепления УК к стреле, $I_{3,1}-I_{3,5}$ координаты точек крепления УК к грузовому канату, рисунок 1. В скобках указаны значения в метрах в соответствующей локальной системе координат. По полученным данным были построены поверхности (рисунок 3).

Таблица 1
ПЛАНИРОВАНИЕ МАШИННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА
Table 1
PLANNING OF THE MACHINE EXPERIMENT

Факторы	$I_{2,1}(2,3)$	$I_{2,2}(3,1)$	$I_{2,3}(3,9)$	$I_{2,4}(4,7)$	$I_{2,5}(5,5)$
$I_{3,1}(1,0)$	$\mu_{1,1}$	$\mu_{1,2}$	$\mu_{1,3}$	$\mu_{1,4}$	$\mu_{1,5}$
$I_{3,2}(1,8)$	$\mu_{2,1}$	$\mu_{2,2}$	$\mu_{2,3}$	$\mu_{2,4}$	$\mu_{2,5}$
$I_{3,3}(2,6)$	$\mu_{3,1}$	$\mu_{3,2}$	$\mu_{3,3}$	$\mu_{3,4}$	$\mu_{3,5}$
$I_{3,4}(3,4)$	$\mu_{4,1}$	$\mu_{4,2}$	$\mu_{4,3}$	$\mu_{4,4}$	$\mu_{4,5}$
$I_{3,5}(4,2)$	$\mu_{5,1}$	$\mu_{5,2}$	$\mu_{5,3}$	$\mu_{5,4}$	$\mu_{5,5}$

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из графиков видно, что координаты точек у основания стрелы (2,3;3,1;3,9) и координаты точек на конце грузового каната (3,4;4,2) позволяют добиться наиболее эффективной работы УК, т.к. колебательность в этих случаях равна нулю. Влияние координат точек на конце грузового каната легко объясняется сокращением длины маятника, что будет справедливо для любой длины грузового каната. Вопрос влияния координат точек у основания стрелы требует дополнительных исследований для различных длин грузового каната.

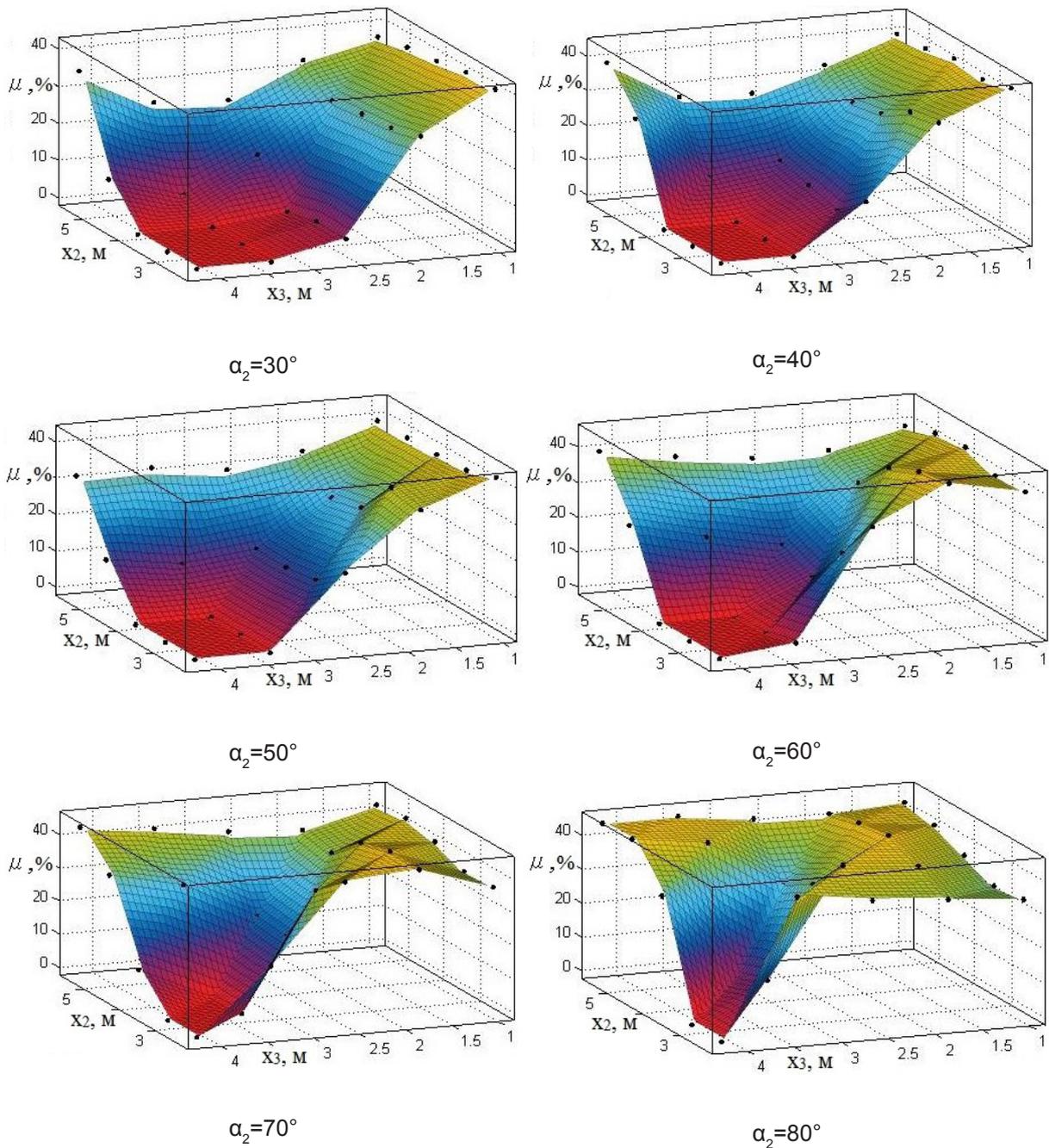


Рисунок 3 – Зависимость координат точек крепления уравновешивающего каната на колебательность груза для диапазона α_2 от 30° до 80°
 Figure 3 – Coordinates' dependence of the balancing rope attachment points on the oscillation of the load, for the range α_2 from 30° to 80° range

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Щербаков В.С., Корытов М.С., Котыкин С.В. Система автоматизации моделирования стреловых грузоподъемных кранов. Омск: СибАДИ, 2012. 143 с.
2. Щербаков В.С., Шабалин А. Н., Корытов М.С. Методы управления комплектом машин трубоукладочной колонны. Омск: СибАДИ, 2014. 151 с.
3. Щербаков В.С., Сухарев Р.Ю. Совершенствование системы управления рабочим органом цепного траншейного экскаватора. Омск : СибАДИ, 2011. 149 с.
4. Танский В.В. Влияние координат точки крепления уравнивающего каната на колебания груза крана-трубоукладчика // Вестник СибАДИ. 2017. выпуск 1 (53). С. 48–53.
5. Автоматизация процесса моделирования траектории движения рабочего органа робота манипулятора/ В.С. Щербаков И.А. Реброва, М.С. Корытов. Омск: СибАДИ, 2009. 106 с.
6. Горбатов В.А., Соколов С.М., Пальянов П.А. Проектирование обустройства нефтяных месторождений и его научное обоснование// Нефтяное хозяйство. 2005. №9. С. 114–119.
7. Минкин М.А., Потапова О.А. Особенности обустройства нефтяных и газовых месторождений России и основания и фундаменты зданий и сооружений// Вестник Московского государственного строительного университета. 2006. №1. С. 180–187.
8. Попов М.Ю., Осипов С.П. Особенности эксплуатации стреловых кранов и кранов-трубоукладчиков в режиме перемещения с грузом в условиях промышленного бездорожья// Механизация строительства. 2013. № 11 (833). С. 22–25.
9. Система управления краном-трубоукладчиком, исключая опрокидывание трубоукладочной колонны/ Шабалин А.Н. // Материалы VII Всероссийской научно-практической конференции ФГБОУ ВПО «СибАДИ» (с международным участием) «Развитие дорожно-транспортного комплекса и строительной инфраструктуры на основе рационального природопользования», г. Омск. 2012. С. 83–87.
10. Семин Е.Л. Капитальный ремонт магистральных трубопроводов с применением грунтовых и инвентарных опор// Трубопроводный транспорт: теория и практика. №4(26). 2011. С. 25–27.
11. Щербаков В.С., Милушенко С.А. Совершенствование системы управления выглаживающей плитой асфальтоукладчика. Омск : СибАДИ, 2010. 161 с.
12. Щербаков В.С., Корытов М.С., Григорьев М.Г. Автоматизация проектирования устройств управления положением платформы строительной машины. Омск : СибАДИ, 2011. 119 с.
13. Стабилизация несущей платформы в горизонтальной плоскости/ В.С. Щербаков, М.С. Корытов, М.Ю. Архипенко, Н.А. Камуз // Строительные и дорожные машины. 2013. №2. С. 36–40.
14. Методика проверки положения грузоподъемного крана в пространстве конфигураций по ограничению на устойчивость / В.С. Щербаков, М.С. Корытов, Н.А. Камуз // Материалы 66-й Междунар. науч.-практ. конф. «Ориентированные фундаментальные и прикладные исследования – основа модернизации и инновационного развития архитектурно-строительного и дорожно-транспортного комплексов России», г. Омск, 2012. С. 408 – 412.
15. Кран-трубоукладчик: пат. 131 371 Российская Федерация, МПК В66С23/88./ Щербаков В.С., Шабалин А.Н. № 2013115403/11. 2 с.
16. Кран-трубоукладчик: пат. 140 144 Российская Федерация, МПК В66С23/88./ Щербаков В.С., Шабалин А.Н. № 20131155120/11. 2 с.
17. Кран-трубоукладчик: пат. 146 007 Российская Федерация, МПК В66С23/88./ Щербаков В.С., Корытов М. С., Шабалин А.Н. № 2014117386/11. 2 с.
18. Кран-трубоукладчик: пат. 140 492 Российская Федерация, МПК В66С23/88./ Щербаков В.С., Шабалин А.Н. № 20131155099/11. 2 с.
19. Кран-трубоукладчик: пат. 158 094 Российская Федерация, МПК В66С23/26./ Щербаков В.С., Корытов М. С., Танский В.В. № 2015120191/11. 2 с.
20. Кран-трубоукладчик: пат. 158 181 Российская Федерация, МПК В66С23/26./ Щербаков В.С., Танский В.В. № 2015120193/11. 2 с.
21. Щербаков В.С., Лазута И.В. Теория автоматического управления. Линейные непрерывные системы. Омск: СибАДИ, 2013. 143 с.
22. Танский В.В. Обоснование расчетной схемы крана-трубоукладчика //Техника и технологии строительства. 2017. выпуск 4 (8). С. 54–60.

INFLUENCE ANALYSIS OF THE ATTACHMENT COORDINATES
RELATING TO THE CARGO OSCILLATIONS ON THE PIPE
LAYING CRANE'S BOOM

R. Y. Sukharev, V.V. Tanskiy

ABSTRACT

Introduction. *The work of a crane - a pipe-laying machine in difficult ground conditions has a significant influence on the process of performing the work and the mode of the machine operation. The unevenness of the microrelief is the main reason for the fluctuations in the load, often leading to emergency situations. Therefore, engineering solutions aimed at reducing the negative impact of cargo oscillations on the boom of a crane - a pipe laying - are considered in the article. Moreover, the necessity of a new engineering solution aimed at limiting the amplitude of load oscillations on a crane arm - a pipe laying - is substantiated.*

Materials and methods. *The mathematical model is used in the research, where the crane - pipe layer is a hinged articulated link with elastic-viscous bonds superimposed on it. Additionally, the kinematics of the links are described by the method of homogeneous coordinates; the dynamics of the links are described by a system of Lagrange Equations of the 2nd type.*

Results. As a result, the following dependencies are constructed: the oscillation of the load from the coordinates of the attachment of the balancing rope to the boom and the load rope, for a range of boom with angles' range from 30 ° to 80 °. Also the influence of the coordinates of the attachment of the balancing rope to the boom and the load rope on the oscillation of the load is determined for a fixed value of the length of the cargo rope.

Discussion and conclusion. The estimation of the effect of the coordinates of fastening the balancing rope to the boom and the cargo rope on the oscillation of the load on the boom of the crane - the pipe-layer is given.

KEYWORDS: crane-pipe laying machine, oscillations, cargo, oscillation, balancing rope, design scheme, cargo rope, vibration restriction.

REFERENCES

1. Sherbakov V.S., Koritov M.S., Kotkin S.V. *Sistema avtomatizatsii modelirovaniya strelovykh gruzopod'yemnykh kranov* [The automation system simulation jib cranes]. Omsk, SibADI, 2012. 143 p.
2. Sherbakov V.S., Koritov M.S., Shabalin A. N. *Metody upravleniya komplektom mashin truboukladchoy kolonny* [A set of management practices of the column pipe-laying machines]. Omsk, SibADI, 2014. 151 p.
3. Sherbakov V.S., Sukharev R.Y. *Sovershenstvovaniye sistemy upravleniya rabochim organom tsepnogo transheyngo ekskavatora* [Improving governance working body of the chain trencher]. Omsk, SibADI, 2011. 149 p.
4. Tanskiy V.V. *Vliyaniye koordinat toчки krepeleniya uravnoveshivayushchego kanata na kolebaniya gruzha krana – truboukladchika* [Effect reference point mount counterbalancing ropes wavering cargo pipe-laying crane]. *Vestnik SibADI*, 2017, no. 1 (53), pp. 48-53.
5. Sherbakov V.S., Koritov M.S., Rebrova I.A. *Avtomatizatsiya protsessa modelirovaniya trayektorii dvizheniya rabocheho organa robota manipulyatora* [Automation simulation trajectory of the working body of the robot manipulator]. Omsk, SibADI, 2009. 106 p.
6. Gorbatiykov V.A. *Proyektirovaniye obustroystva neftyanykh mestorozhdeniy i yego nauchnoye obosnovaniye* [Designing the arrangement of oil fields and its scientific justification]. *Neftyanoye khozyaystvo – Oil Industry*, 2005, no. 9, pp. 114-119.
7. Minkin M.A., Potapov O.A. [Features of the arrangement of oil and gas fields in Russia and the foundations and foundations of buildings and structures]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo stroitel'nogo universiteta - Bulletin of the Moscow State University of Civil Engineering*, 2006, no. 1, pp. 180-187.
8. Popov M.Y., Osipov S.P. *Osobennosti ekspluatatsii strelovykh kranov i kranov-truboukladchikov v rezhime peremeshcheniya s gruzom v usloviyakh promyslovogo bezdorozh'ya* [Features of operation of jib cranes and pipe-laying cranes in the mode of moving with cargo in off-road fishing conditions]. *Mekhanizatsiya stroitel'stva - Mechanization of construction*, 2013, no. 11(833), pp. 22-25.
9. Shabalin A. N. *Sistema upravleniya kranom - truboukladchikom isklyuchayushchaya oporkidnyye truboukladchoy kolonny* [The control system of the crane - the pipe laying device, which excludes the overturning of the pipe-laying column]. *Materialy VII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii FGBOU VPO «SibADI» «Razvitiye dorozhno-transportnogo kompleksa i stroitel'noy infrastruktury na osnove ratsional'nogo prirodoopol'zovaniya»* [Materials of the VII All-Russian Scientific and Practical Conference "SibADI" "The development of the road transport complex and the construction infrastructure on the basis of rational nature management"]. 2012. pp. 83-87.
10. Semin E.L. *Kapital'nyy remont magistral'nykh truboprovodov s primeneniym gruntovykh i inventarnykh opor* [Overhaul of main pipelines using ground and inventory supports. Pipeline transport: theory and practice]. *Truboprovodnyy transport: teoriya i praktika*, 2011, no. 4 (26), pp. 25-27.
11. Sherbakov V.S., Milyshenko S.A. *Sovershenstvovaniye sistemy upravleniya vyglazhivayushchey plitoy asfal'toukladchika* [Improving governance screed paver]. Omsk, SibADI, 2010, 161 p.
12. Sherbakov V.S., Koritov M.S., Grigorev M.G. *Avtomatizatsiya proyektirovaniya ustroystv upravleniya polozheniyem platformy stroitel'noy mashiny* [Design automation controls the position of a construction machine platform]. Omsk, SibADI, 2011. 119 p.
13. Sherbakov V.S., Koritov M.S., Arkhipenko M.Y., Kamuz N.A. *Stabilizatsiya nesushchey platformy v gorizontal'noy ploskosti* [Stabilization of the support base horizontally]. *Stroitel'nyye i dorozhnyye mashiny - Building and road machines*, 2013, no. 2, pp. 36-40.
14. Sherbakov V.S., Koritov M.S., Kamuz N.A. *Metodika proverki polozheniya gruzopod'yemnogo krana v prostranstve konfiguratsiy po ogranicheniyu na ustoychivost'* [Methods of checking the position of the crane in the configuration space to limit the stability]. *Materialy 66-y Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. "Oriyentirovannyye fundamental'nyye i prikladnyye issledovaniya - osnova modernizatsii i innovatsionnogo razvitiya arkhitekturno-stroitel'nogo i dorozhno-transportnogo kompleksov Rossii"*, 2012, no. 66, pp. 408-412.
15. Sherbakov V.S., Shabalin A. N. *Kran – truboukladchik* [Pipe-laying crane]. Patent RF, no 2013115403/11, 2013.
16. Sherbakov V.S., Shabalin A. N. *Kran – truboukladchik* [Pipe-laying crane]. Patent RF, no 2013155120/11, 2014.
17. Sherbakov V.S., Shabalin A. N., Koritov M.S. *Kran – truboukladchik* [Pipe-laying crane]. Patent RF, no 2014117386/11, 2014.
18. Sherbakov V.S., Shabalin A. N. *Kran – truboukladchik* [Pipe-laying crane]. Patent RF, no 2013155099/11, 2014.
19. Sherbakov V.S., Koritov M.S., Tanskiy V.V. *Kran – truboukladchik* [Pipe-laying crane]. Patent RF, no 2015120191/11, 2015.
20. Sherbakov V.S., Tanskiy V.V. *Kran – truboukladchik* [Pipe-laying crane]. Patent RF, no 2015120193/11, 2015.
21. Sherbakov V.S., Lazuta I.V. *Teoriya avtomaticheskogo upravleniya. Lineynyye nepreryvnyye sistemy* [Theory of automatic control. Linear continuous systems]. Omsk, SibADI, 2013. 143 p.
22. Tanskiy V. V. *Obosnovaniye raschetnoy skhemy krana-truboukladchika* [Justification of the design scheme of the pipe-laying crane] *Tekhnika i tekhnologii stroitel'stva*, 2017, no 4 (8), pp. 54-60.

Поступила 21.02.2018 принята к публикации 20.04.2018.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

