Иркутск: Издательство ИрГТУ, 1999. – 230 с.

13. Герике П.Б. Анализ основных закономерностей изменения технического состояния оборудования экскаваторов типа драглайн /П.Б. Герике// Вестник Кузбасского государственного технического университета, № 1. – Кемерово. – 2016. – С. 70-77.

14. Краковский, Ю. М. Математические и программные средства оценки технического состояния оборудования. / Новосибирск: Наука, 2006. – 227 с.

15. Rudloff L., Arghir M., Bonneau O., Guingo S., Chemla G., Renard E., "Experimental Analysis of the Dynamic Characteristics of A Hybrid Aerostatic Bearing" Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, vol. 134(18) - 2012

REFERENCES

1. RD 15-14-2008. Metodicheskie rekomendatsii o poryadke provedeniya ekspertizy promyshlennoy bezopasnosti kar'ernykh odnokovshovykh ekskavatorov [Methodical recommendations on how to conduct the examination of industrial safety of mining shovels]. Moscow, 2008. 40 p. (rus)

2. RD 15-04-2006. Metodicheskie ukazaniya po provedeniyu ekspertizy promyshlennoy bezopasnosti lentochnykh konveyernykh ustanovok [Methodical recommendations on how to conduct the examination of industrial safety of belt conveyor systems]. Moscow, 2006. 56 p. (rus)

3. Eshcherkin P.V. Razrabotka metodiki diagnostirovaniya i prognozirovaniya tekhnicheskogo sostoyaniya dizel'-gidravlicheskikh burovykh stankov [Development of a technique of diagnosis and prediction of technical condition of the diesel-hydraulic drilling rigs]: PhD thesis excerpt. Kemerowo. 2012. (rus)

4. Bently D.E., Hatch C.T. “Fundamentals of rotating Machinery Diagnostics”, Bently Pressurized Press, 2002, P.726.

5. Gericke P.B., Klishin V.I., Gericke B.L. Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2015. #5. Pp. 64-69. (rus)

6. S. Delvecchio, G. DElia, E. Mucchi, G. Dalpiaz, Advanced signal processing tools for the vibratory surveillance of assembly faults in diesel engine cold tests, Journal of Vibration and Acoustics, April 2010, Vol. 132, Issue 2, 021008-10, ISSN: 1048-9002, doi:10.1115/1.4000807 (eng)

7. Drygin M.Yu. Razrabotka statsionarnogo diagnosticheskogo kompleksa dlya ekskavatora tipa EKG [Development of a stationary diagnostic system for an mining shovel ECG-type]: PhD thesis excerpt. Kemerowo. 2012. (rus)

8. Sushko A. E. Razrabotka spetsial'nogo matematicheskogo i programmnogo obespecheniya dlya avtomatizirovannoy diagnostiki slozhnykh system [Development special mathematical and software for automated diagnosis of complex systems]: PhD thesis excerpt. Moscow. 2007. (rus)

9. Skeinik R., Petersen D. Automated fault detection via selective frequency band alarming in PC-based predictive maintenance systems. CSI, Knaxville, TN 37923, USA. (eng)

10. Shirman A.R., Solov'ev A.B. Prakticheskaya vibrodiagnostika i monitoring sostoyaniya mekhanicheskogo oborudovaniya [The practical vibration analysis and monitoring of mechanical equipment] Moscow: Spectrum engineering Publishers, 1996. 276 p. (rus)

11. Nerazrushayushchiy kontrol': spravochnik. V 7-kh tomakh [Non-destructive testing: Handbook. In 7 Vol. V.7] / Pod. red. V.V. Klyueva. Moscow: Mashinostroenie Publishers, 2005. 828 p. (rus)

12. Luk'yanov A.V. Klassifikator vibrodiagnosticheskikh priznakov defektov rotornykh mashin [The classifier of vibrodiagnostic symptoms of defects rotary machines.]. Irkutsk, 1999. – 230 p. (rus)

13. Gericke P.B. Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2016. #1. Pp. 70-77. (rus)

14. Krakovskiy, Yu. M. Matematicheskie i programmnye sredstva otsenki tekhnicheskogo sostoyaniya oborudovaniya [Mathematical and software evaluation of the technical state of equipment]. Novosibirsk, 2006. – 227 p. (rus)

15. Rudloff L., Arghir M., Bonneau O., Guingo S., Chemla G., Renard E., "Experimental Analysis of the Dynamic Characteristics of A Hybrid Aerostatic Bearing" Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, vol. 134(18) – 2012 (eng)

Поступило в редакцию 8.08.2016
Received 8 August 2016

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

УДК 621.873

РЕШАЮЩАЯ РОЛЬ ДИНАМИКИ
DYNAMICS ARE DECIDED

Фёт Штефан [1],
доктор техн. наук, профессор, e-mail: Voeth@tfh-bochum.de
Vöth Stefan [1],Dr. Sc., Professor
Тюленев Максим Анатольевич [2],
канд. техн. наук, доцент, e-mail: tma.geolog@kuzstu.ru
Tyulenev Maxim [2],Ph.D., Associated Prof.

[1] Zentrum für Antriebs- und Fördertechnik, Technische Fachhochschule Georg Agricola für Rohstoff, Herner Straße 45, 44787 Bochum
[2] Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, Россия, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28
[2] T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28 street Vesennyaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation

Аннотация: *Типичные нестационарные состояния лебедок подъемных кранов и подобного оборудования приводят к значительным динамическим нагрузкам. В свою очередь, это ведет к значительным, подобным толчку, нагрузкам на компоненты грузоподъемного механизма, в частности, сцепление и редуктор. Эти действия особенно усиливаются при возрастающих скоростях и ускорениях, что весьма важно, например, для быстро движущихся перегрузочных кранов. В данной работе обсуждается образование видов нагрузки на систему – по аналогии с прыжком на эластичном тросе (тарзанке) – и способы решения данной проблемы в ближайшем будущем.*

Abstract: *By the typical non-steady-state service hoists of cranes and similar equipment are situated to considerable dynamics. This dynamics leads to considerable, also push-like loads on the lifting gear components like couplings and gearings. Increasingly these effects develop at rising speeds and accelerations. Thus the topic is, for example, for quickly running transhipment cranes of importance. In analogy to a bungee jump it is discussed which load cases of interest appear and how may be dealt with them in future in a conceivable manner.*

Ключевые слова: *динамика, прыжок, пружинящий трос, ускорение, динамическая нагрузка, лебедка.*

Keywords: *dymanics, jump, bungee rope, acceleration, dynamic load, crane.*

Прыжок

Независимо от того, прыгали ли вы когда-нибудь сами или нет, вы можете легко это себе представить: прыгун стоит на платформе с пружинящем тросом, прикрепленным к ноге (рис. 1). На рисунке: $H_{ц.т.}$ – высота центра тяжести прыгуна, $H_п$ – высота прыгуна, $H_о$ – общая высота от края платформы до уровня ее основания, $H_{ост}$ – расстояние от края полностью растянутого каната до уровня основания платформы, $L_0 + \Delta L$ – длина троса с учетом его динамического растяжения.

И вот он устремляется в свободное падение. Прыгун моментально ускоряется и на максимальной скорости падает на тросе. Трос все более и более вытягивается, до тех пор пока прыгун полностью не останавливается – падение прекращается. Приблизительно он испытывает вот такое ускорение:

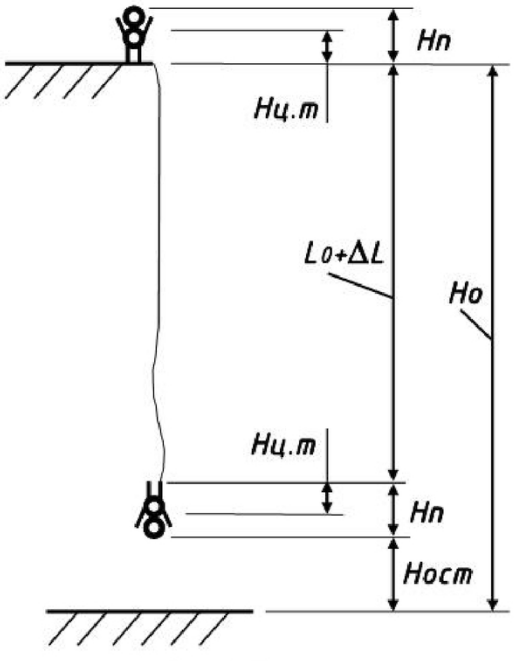

Рис. 1. Тарзанка

$$a = \sqrt{\frac{H}{m}}g,$$

где H – высота падения, m – масса прыгуна, g – ускорение свободного падения.

Теперь трос натянут по максимуму. В тот момент, когда прыгун достиг полной остановки, он резко взмывает вверх. Трос опять ускоряет прыгу-

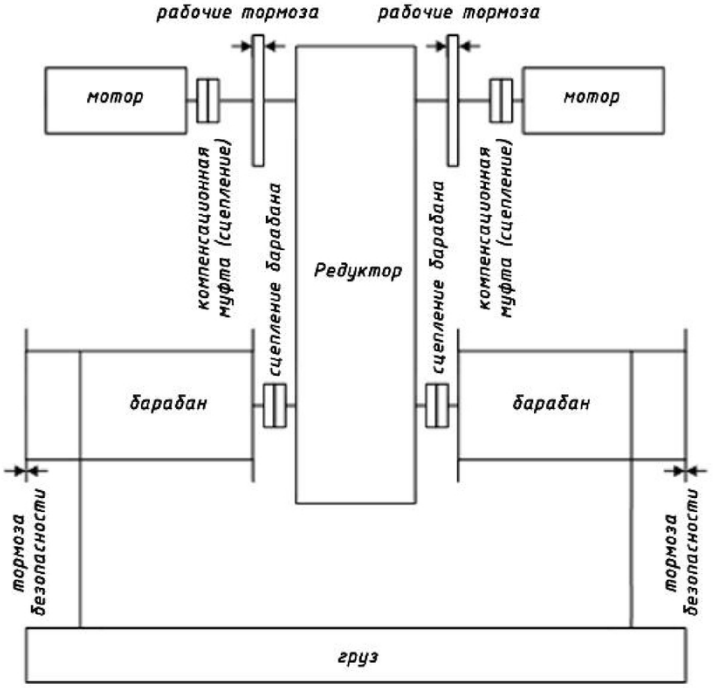

Рис. 2. Схема лебедки

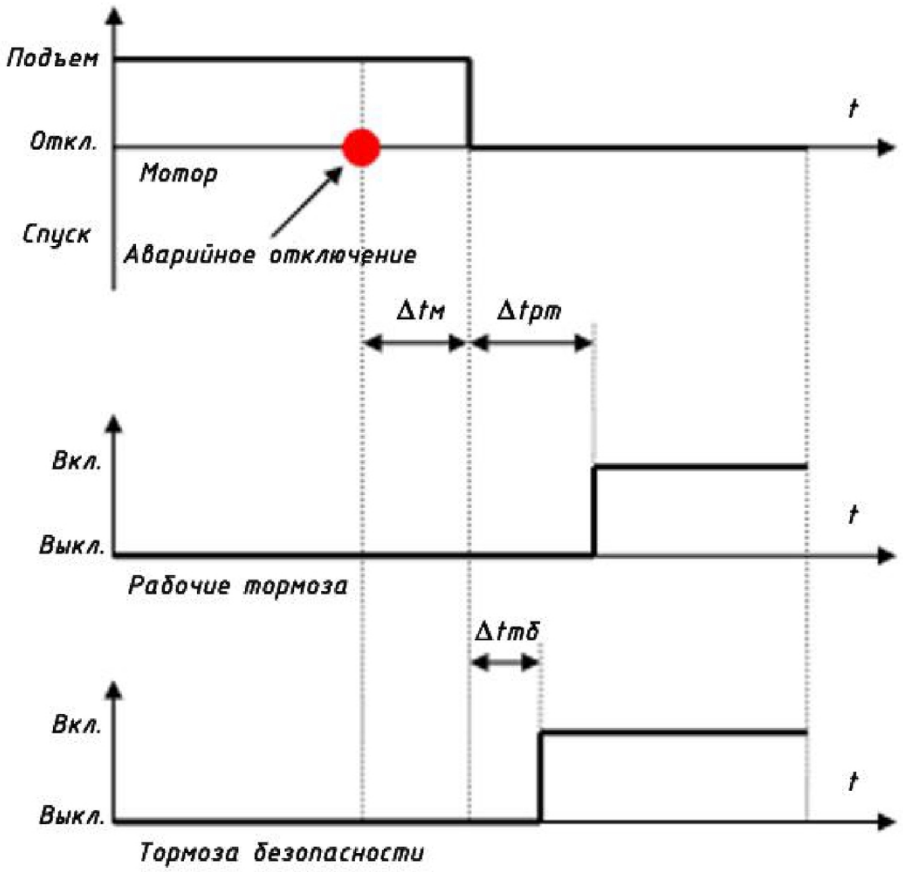

Рис. 3. Работа в режиме торможения: Δtм – время с момента аварийного отключения до момента срабатывания системы торможения, $\Delta t_{РТ}$ – время срабатывания рабочего тормоза, $\Delta t_{тб}$ – время срабатывания тормоза безопасности

на до момента полной остановки и прыгун снова летит свободно.

Теперь, конечно, прыгун не долетает до платформы. Несколько раз он будет падать вниз и лететь вверх, до тех пор пока он, наконец, не

приводом расположены сцепление и рабочие тормоза, на стороне груза между приводом и барабаном – также сцепление и тормоза безопасности, расположенные по обеим сторонам. В случае внезапного отключения срабатывают совместно ра-

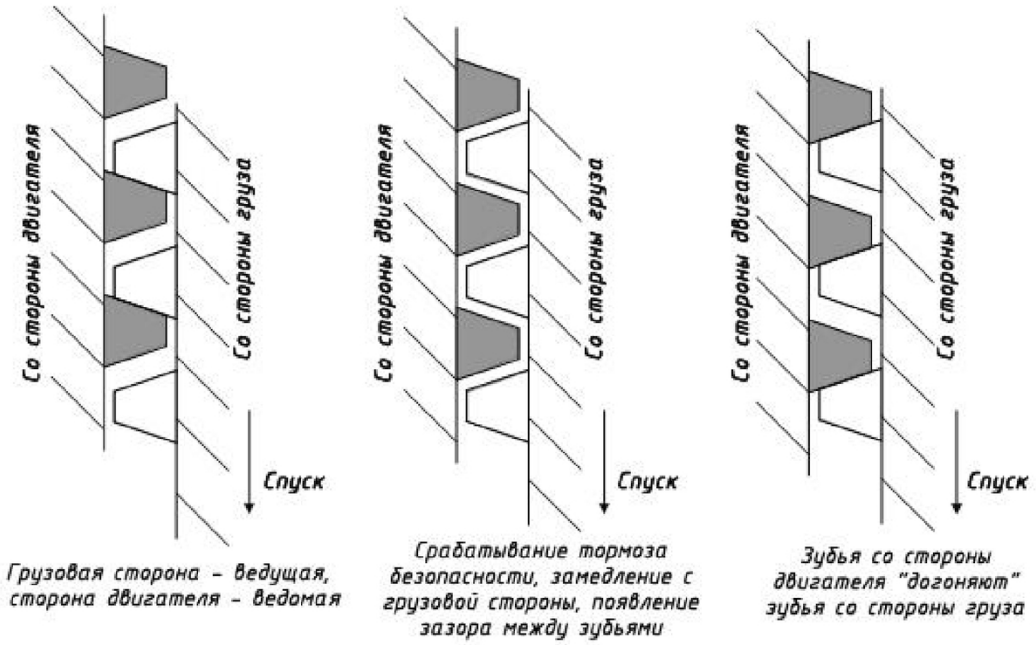

Рис. 4. Изменение положения зацеплений

остановится полностью. Что же, это было довольно динамично.

Подъемник (лебедка)

Интересно, что лебедка подъемного крана ведет себя практически так же, как тарзанка. Представьте себе следующую схему, которая могла бы описать лебедку подъемного крана (рис. 2).

Производительность двух двигателей объединена редуктором лебедки. На выходном приводе усилие распределяется снова на два барабана, на которые нагрузка передается через тросовый привод. На стороне двигателя между двигателем и

бочие тормоза и тормоза безопасности, согласно схеме отключения (рис. 3).

1. Прыгун спрыгивает с платформы и двигается с постоянным ускорением: При внезапном отключении лебедке необходимо некоторое время для того, чтобы сработал предохранитель. Тем временем лебедка ускоряется точно так же, как и в свободном падении, особенно при условиях предельной нагрузки.

2. Растянутый трос тянет прыгуна за ноги: В момент снижения происходит то же самое, что и при экстренном отключении. Блокираторы

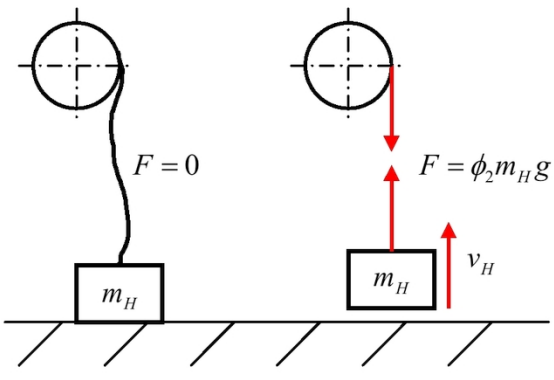

Рис. 7. Динамический фактор ϕ_2 при отрыве груза от земли

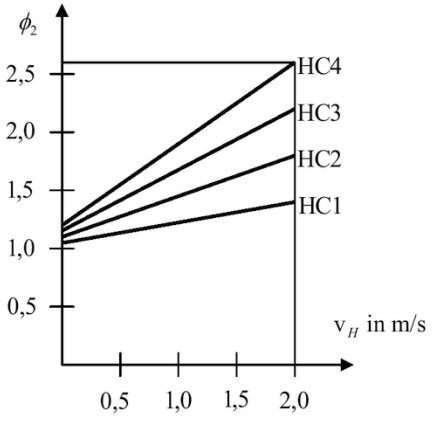

Рис. 8. Динамический фактор ϕ_2 согласно стандарту EN 13001-2

диска тросового барабана разрывают соединение в тросовом барабане максимально быстро и барабан останавливается. Со стороны двигателя никаких изменений не ощущается. Из-за люфта между приводом и сцеплением происходит небольшое смещение (рис. 4). Затем объекты со стороны двигателя сталкиваются с неподвижным тросовым барабаном и механизм стопорится.

3. Прыгун замедляется и трос натянут по максимуму: посмотрите еще раз на описанную ситуацию экстренного отключения – с движением после промежутка. После того, как произошел толчок, кинетическая энергия со стороны двигателя должна сохраняться в эластичности системы. Она переносится на сигнальные системы, подшипники и все остальные элементы в двигателе (рис. 5).

Также при повторной нагрузке для лебедки это ведет к экстремальным натяжениям. Представьте, что груз столкнулся с препятствием во время подъема. Даже с самыми быстрыми действующими тормозами безопасности на тросовом барабане это приведет к чрезвычайной напряженности тросового привода (рис. 6), а на двигатель будет оказано максимальное давление. Сторона двигателя продолжает пытаться ускориться от тросового барабана, но она прижата к нему. Этого с трудом, но можно избежать, резко остановив подъемный барабан.

4. Натянутый трос расслабляется, и прыгун летит вверх: Опять момент экстренного отключения: сторона двигателя в сильнейшем напряжении, которое требует сброса. Эта последовательность напряженности и расслабления будет повторяться до тех пор, пока не включится рабочий тормоз.

Еще раз случай застрявшего груза: тросовый двигатель в максимальном напряжении. Напряженность сохраняется, если тормоз безопасности срабатывает вовремя и четко. Резкий сброс напряжения имеет место, как только тормоз отключается. Или, наоборот, тормоз не может выдержать напряжения, и сброс наступает непосредственно в результате скольжения тормоза.

Процессы

Все вышеописанные четыре процесса являются динамическими. Нагрузки в них существенно выше обычных нагрузок. Без других мер динамические факторы ϕ (фактор максимального динамического груза и квазистатического груза) достигают гораздо больших значений.

Эти процессы происходят по аналогии с появлением динамической силы троса в момент подъ-

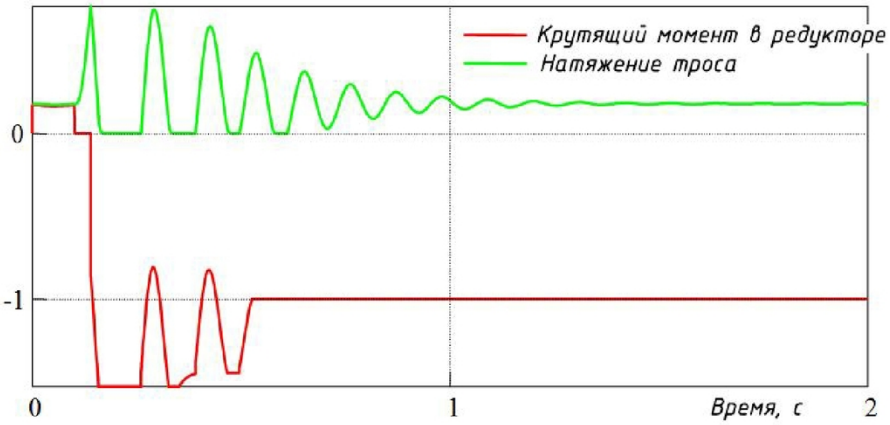

Рис. 5. Относительное изменение внутренних сил в момент экстренного отключения

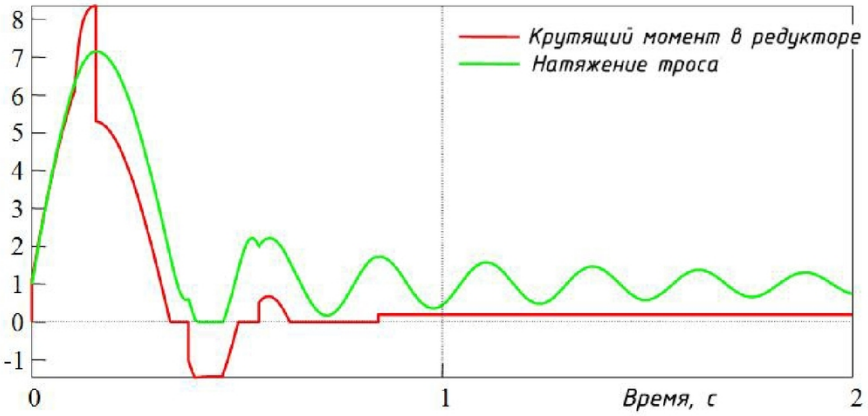

Рис. 6. Относительное изменение внутренних сил при столкновении с препятствием