

УДК 622.242.5-8:550.832

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОДЪЕМА КАРОТАЖНОЙ ЛЕБЕДКИ

¹Однокопылов И.Г., ¹Гнеушев В.В., ²Филиппов А.С.

¹ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»,
Томск, e-mail: odivan@yandex.ru;

²ООО «Тетис-Т», Новокузнецк, e-mail: filippow-as@mail.ru

Проведены исследования динамических ударов электропривода подъема каротажной лебедки. Проведено описание исследуемой каротажной лебедки, которая состоит из электропривода подъема и электропривода кабелеукладчика. Если не обеспечить синхронизацию скоростей кабелеукладчика и барабана лебедки при подъеме геофизического зонда, очередной виток кабеля укладывается внахлест с предыдущим витком. В большинстве случаев происходит срыв нахлестного витка, что сопровождается сильным динамическим ударом. Разработана имитационная модель электропривода подъема каротажной лебедки, состоящая из двухфазной модели асинхронного двигателя, векторного управления, двухмассовой механической системы, в которой учтены изменения параметров механической части привода в зависимости от длины кабеля, а также зависимость статического момента сопротивления от условий работы (в осушенной скважине и в скважине с промывочной жидкостью). На модели проведены исследования срыва нахлестных витков кабеля на барабане. Приведены графики переходных процессов, проведен анализ. Предложены варианты по уменьшению динамических ударов при срыве нахлестных витков кабеля.

Ключевые слова: каротажная лебедка, асинхронный электропривод, механизм подъема, динамический удар, имитационное моделирование, кабелеукладчик

RESEARCH OF DYNAMIC LOADS IN LIFTING ELECTRIC DRIVE OF LOGGING WINCH

¹Odnokopylov I.G., ¹Gneushev V.V., ²Filippov A.S.

¹Tomsk Polytechnic University, Tomsk, e-mail: odivan@yandex.ru;

²ООО «Tetis-T», Novokuzneck, e-mail: filippow-as@mail.ru

The dynamic loads of lifting mechanism are researched for logging winch. A description of the logging winch is shown, which consists of electric drive of the lifting mechanism and electric drive of cable layer. It is very important to provide speeds synchronization of the cable moving and rotation of the winch drum during the lifting of geophysical probe. Manual mode of the cable layer drive or mechanical connection cable layer with drum is often the reason of situation when another cable turn on drum is laid overlapping with the previous turn. In most cases, there is a failure of overlapping turn, which is accompanied by a strong dynamic impact. A simulation model of lift mechanism electric drive of logging winch is offered and consisting of a two-phase model of the induction motor, vector control, two-mass mechanical system, which takes into account changes of the mechanical parameters of the drive, depending on the length of the cable, and the dependence of the load torque on the operating conditions (in a dry well and in the well with wash liquid). Dependencies are shown in the paper. The failure of overlapping cable turn on the drum is performed in the model. The graphs of transient are shown. Analysis of the diagrams says that induction motor and cable assume the dynamic impact. Proposed variants for reducing dynamic impact when the overlapping cable turn fails are given.

Keywords: logging winch, induction electric drive, lifting mechanism, dynamic impact, simulation, cable layer

Каротаж представляет собой геофизические методы исследования строения разреза скважины с помощью подъема в ней геофизического зонда. Для проведения каротажа в скважину на специальном каротажном кабеле спускается каротажный зонд. На земной поверхности с помощью аппаратуры, входящей в комплект каротажной станции, регистрируется информация, поступающая с измерительной установки в процессе перемещения зонда по стволу скважины. Каротажная диаграмма отображает непрерывное изменение физических параметров по стволу скважины в заданном масштабе параметра и глубины [1]. Каротажные работы относятся к геофизическим исследованиям, и их проводят перед гидродинамическими исследованиями скважин [3].

Основным технологическим оборудованием для проведения каротажных работ

является каротажная лебедка. Она предназначена для проведения спускоподъемных операций в процессе геофизических исследований в газовых и нефтяных скважинах глубиной до 5000 м геофизическим кабелем (или проволокой) различного диаметра. От его надежной и бесперебойной работы зависят производительность работ и безопасность обслуживающего персонала [5].

Описание каротажной лебедки

Вращение барабана лебедки осуществляется от асинхронного электропривода мощностью 5,5 кВт через редуктор и цепную передачу. Электропривод кабелеукладчика состоит из асинхронного двигателя, редуктора и направляющих. Упрощенная кинематическая схема механизма представлена на рис. 1.

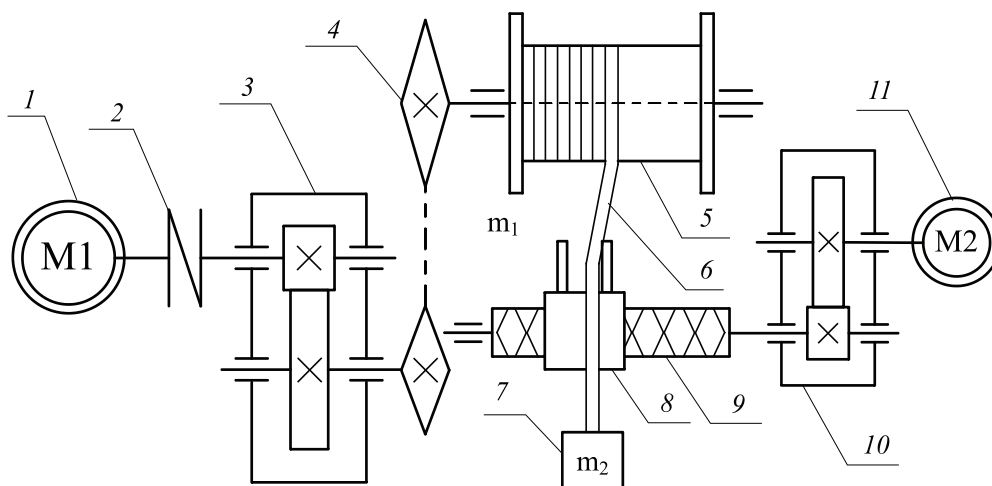


Рис. 1. Упрощенная кинематическая схема механизма подъема кабеля каротажной лебедки:
 1 – электродвигатель привода подъема; 2 – муфта упругая; 3 – редуктор привода подъема;
 4 – цепная передача; 5 – барабан; 6 – кабель; 7 – геофизический зонд; 8 – каретка;
 9 – винтовой вал; 10 – редуктор привода кабелеукладчика;
 11 – электродвигатель привода кабелеукладчика

На данной каротажной лебедке используется специализированный кабель КГ 7×0,75-75-150. Длина кабеля составляет 1000 метров. Кабель выполняет функцию троса, на котором удерживается вес прибора, опускаемого в скважину, и функцию электропитания геофизического зонда.

Каротажная лебедка представляет собой механизм подъема с многослойной навивкой грузонесущего кабеля на барабан, в связи с этим необходимо укладке кабеля на барабан уделять особое внимание.

Кабелеукладка осуществляется с помощью двух вертикально установленных направляющих роликов. Направляющие ролики перемещаются кареткой с помощью реверсивного винтового вала с прямоугольной резьбой. Синхронизация кабелеуклад-

чика с барабаном лебедки осуществляется путем ручной коррекции укладки с помощью частотно-регулируемого двигателя. Лебедка оснащена двумя ленточными тормозами, охватывающими полуокружности обеих реборд бочки барабана. Общий вид каротажной лебедки представлен на рис. 2.

Постановка проблемы

В случае несогласования скорости работы кабелеукладчика с частотой вращения барабана лебедки происходит некорректная укладка кабеля на барабан. Рассмотрим режим подъема. При завышенной скорости работы кабелеукладчика происходит разряженная укладка кабеля, что негативно скажется на следующем слое и при дальнейшей укладке кабеля.

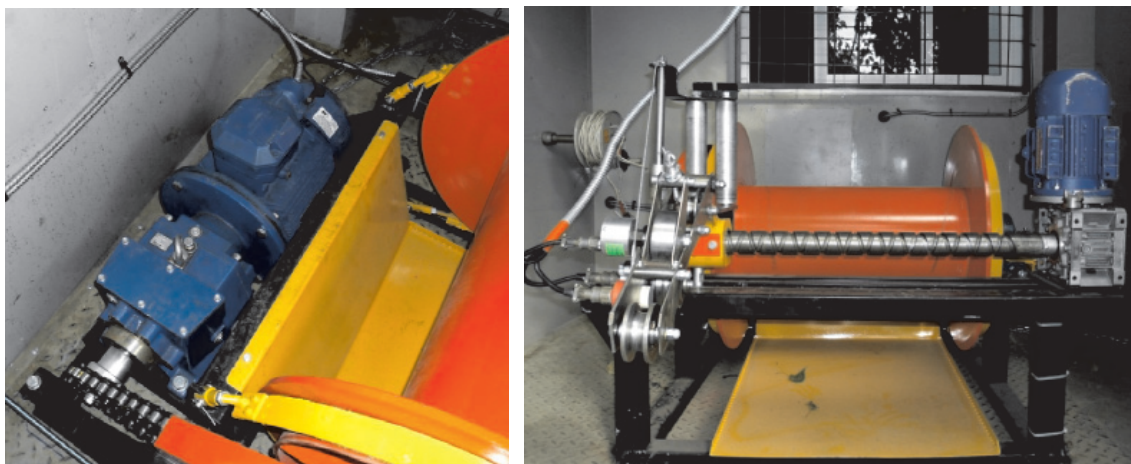


Рис. 2. Общий вид каротажной лебедки

При пониженной скорости вращения кабелеукладчика происходит поджатие витков кабеля, что, конечно, благоприятно сказывается на укладке кабеля. Кабель укладывается равномерно, без зазоров. Однако, если дальше не обеспечить синхронизацию скоростей кабелеукладчика и барабана лебедки, очередной виток кабеля укладывается внахлест с предыдущим витком. В большинстве случаев происходит срыв нахлестного витка на место, практика показывает что барабан успевает повернуться приблизительно на четверть оборота. Если срыва не происходит, необходимо производить остановку привода и устранять нахлест.

Во время срыва нахлестного витка ощущаются большие динамические удары, затухающие во времени. Это, безусловно, вносит негативный эффект в работу электропривода, что сказывается на долговечности работы всего оборудования каротажной лебедки. Изучение динамических ударов при срыве витка является целью предлагаемой работы. Поставленная задача – частичное уменьшение или полное устранение динамических ударов при срыве нахлестных витков наматываемого кабеля. Исследование пиковых перегрузок в грузоподъемных машинах является актуальной темой [7, 8].

Особенности электропривода подъема каротажной лебедки при имитационном моделировании

Для подробного изучения поставленной проблемы была разработана имитационная

модель механизма подъема кабеля. Асинхронный двигатель АИМ-М112М-4 представлен двухфазной моделью в dq системе координат [4]. Частотное регулирование реализовано с помощью векторного способа управления двигателем. Для плавного пуска под нагрузкой в модель включен S-образный задатчик интенсивности. Механическая часть электропривода подъема реализована с помощью двухмассовой механической системы [2], в которой первая масса включает в себя двигатель, редуктор, цепную передачу и барабан. Второй массой является прибор с кабелем, опускаемый в скважину. Упругим элементом является кабель. Длина кабеля, его жесткость, а также другие механические параметры меняются в зависимости от положения груза. Расчетные параметры механической системы привода в зависимости от длины кабеля L приведены на рис. 3. Параметры механической системы приведены к относительным единицам: момент сопротивления на валу двигателя M_c и скорость вращения ω приведены к номинальным значениям двигателя, а момент инерции J барабана – к его максимальному значению.

В процессе каротажных работ велика вероятность поглощения пластовой жидкости, при котором происходит осушение ствола скважины. Это приводит к увеличению нагрузки на электропривод лебедки, т.к. вес кабеля в воздухе больше, чем в жидкости. Графики статических моментов нагрузки, приведённых к валу двигателя, при различных условиях работы приведены на рис. 4.

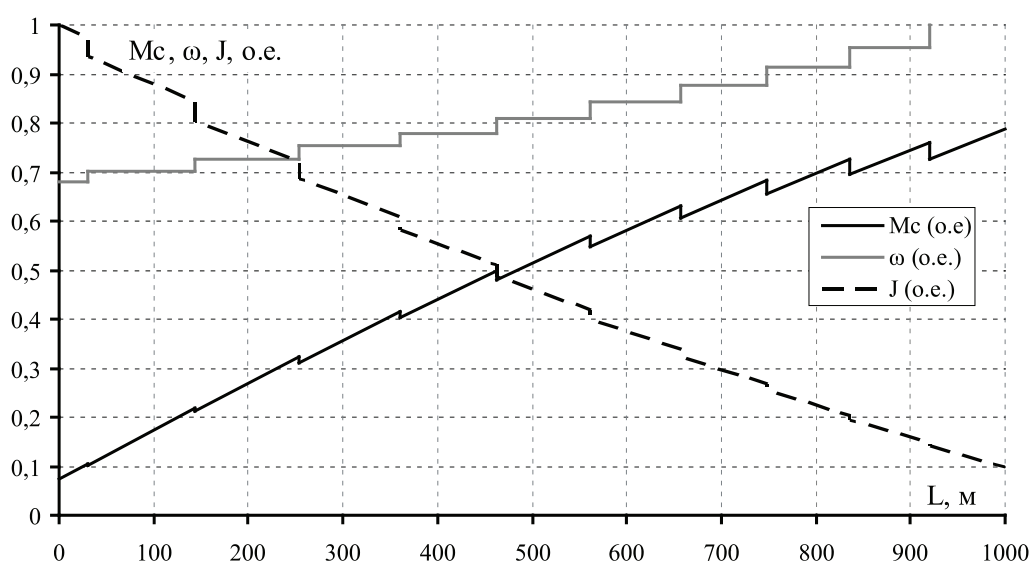


Рис. 3. Расчетные параметры механической системы привода в зависимости от длины отвеса кабеля

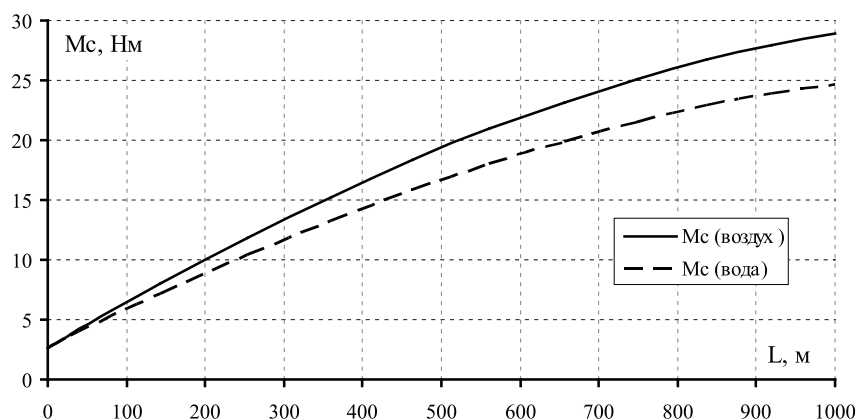


Рис. 4. Статические моменты сопротивления на валу двигателя (в осушенной скважине и в скважине с промывочной жидкостью)

Результаты имитационного моделирования

На основе разработанной имитационной модели были получены графики переходных процессов при динамических ударах – срыв витка кабеля на барабане при подъеме груза. Ток двигателя I , скорости первой ω_1 и второй ω_2 массы, момент на валу двигателя M представлены на рис. 5. Из полученных графиков следует, что при срыве витка на начальном этапе времени происходит сброс нагрузки – двигатель разгоняется до скорости, близкой к скорости холостого хода, ток и момент уменьшаются. Вторая масса при этом продолжает дви-

гаться по инерции с прежней скоростью, т.к. срыв происходит за короткий промежуток времени. Далее после выборки кабеля происходит динамический удар – резкое приложение нагрузки. Двигатель при этом принимает значительную часть удара – трехкратное увеличение тока с 4,5 до 17 А, регуляторы находятся в насыщении, скорость падает. Поведение второй массы меняется незначительно. Это говорит о том, что остальная часть динамического удара пришлось на кабель, упругость которого сдмпфировала удар. После это система успокаивается и приходит к прежним значениям скорости и момента.

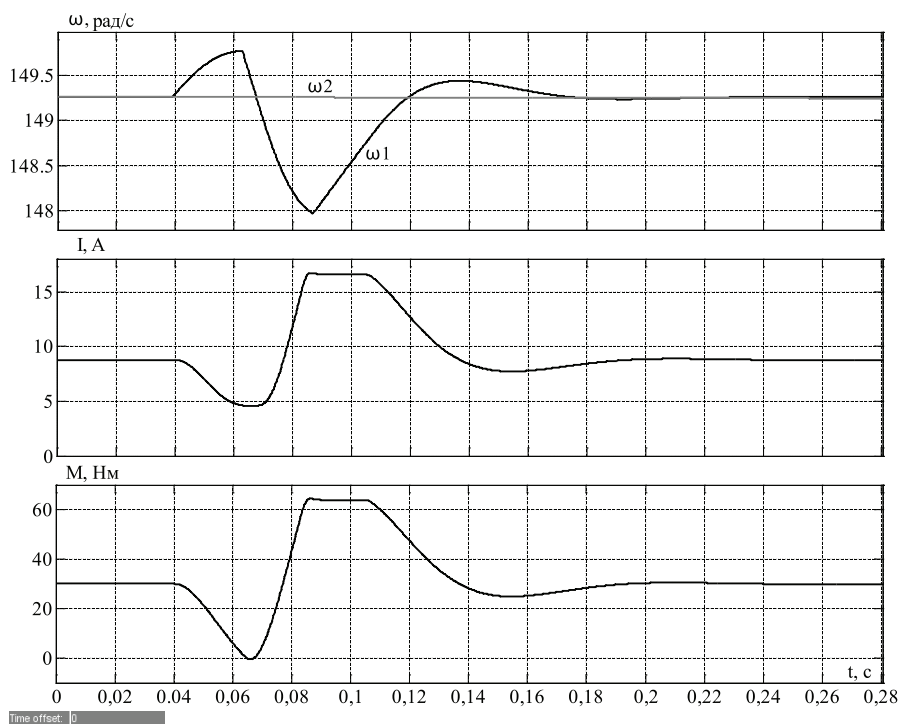


Рис. 5. Переходные процессы электропривода подъема каротажной лебедки при срыве нахлестных витков кабеля

Исходя из полученных результатов моделирования можно сформулировать пути решения проблемы динамических ударов при срыве нахлестных витков кабеля каротажной лебедки. Одним из лучших вариантов решения проблемы является автоматизация привода кабелеукладчика, т.е. создание системы, которая избегала бы нахлестных витков в принципе. Это дорогостоящий способ, требующий внесения изменений в конструкцию кабелеукладчика. Необходимо внедрить датчики усилий, датчик положения барабана, контроллер для сбора и обработки информации, что позволит уложить кабель встык без зазоров. Альтернативой датчикам может служить компьютерное зрение, построенное на основе видеокамеры с последующей микропроцессорной обработкой.

Вторым способом являются поиски оптимального управления грузоподъемными механизмами, например рассмотренные в работе [6]. Одним из вариантов решения поставленной задачи является внесение корректировок в систему управления электроприводом лебедки для смягчения динамических ударов. Для этого необходимо диагностировать срыв нахлестных витков. Это можно сделать на первом этапе, когда происходит сброс нагрузки. При подъеме прибора из скважины маловероятна ситуация, в которой происходит сброс нагрузки до уровня холостого хода, момент при этом равен нулю. Такая ситуация показана на рис. 5, в диапазоне времени 0,04...0,065 с. После сброса нагрузки (срыв витка) произойдет ударное приложение нагрузки, которое будет продолжаться с момента времени 0,065 по 0,11 с. Смягчить удар можно с помощью адаптивирования коэффициентов регуляторов системы управления в сторону их ослабления. Данный способ не требует дорогостоящих изменений конструкции электропривода, а позволяет с помощью программных доработок смягчить динамический удар. Именно такой способ и будет выбран авторами для последующей работы.

Выводы

Разработана имитационная модель асинхронного электропривода подъема каротажной лебедки, состоящая из асинхронного двигателя, представленного в двухфазной системе координат, частотного регулирования с векторным законом управления, механической части, представленной двухмассовой системой. В модели учтены изменения механических параметров (момент инерции, жесткость кабеля) в зависимости от длины кабеля, опускаемого в скважину, влияние воды в скважине.

Проведены исследования срыва нахлестных витков кабеля на барабане. Приведены графики переходных процессов. Проведен анализ полученных результатов. Предложе-

ны варианты по уменьшению динамических ударов при срыве нахлестных витков кабеля с помощью адаптации коэффициентов регуляторов системы управления.

Работа выполнена в рамках государственного задания «Наука», 2015 г.

Список литературы

1. Геофизические методы исследования скважин. Справочник геофизика / Под ред. М. Запорожца. – М.: Недра, 1983. – 591 с.
2. Грузоподъемные машины: учебник для вузов по специальности «Подъемно-транспортные машины и оборудование» / М.П. Александров, Л.Н. Колобов, Н.А. Лобов и др.: – М.: Машиностроение, 1986 – 400 с., ил.
3. Однокопылов И.Г., Гнеушев В.В., Сизиков Д.А., Шишляев В.В. Автоматизация процесса нагнетания при гидродинамических исследованиях фильтрационных характеристик угольных пластов // Известия Томского политехнического университета. – Томск: Изд-во Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2013. – № 5. – С. 50–54.
4. Однокопылов И.Г., Деметьев Ю.Н. Обеспечение живучести асинхронных электроприводов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. – Челябинск: Изд-во Южно-Уральский государственный университет, 2014. – № 2. – С. 55–61.
5. Стрельченко В.В. Геофизические исследования скважин: учебник для вузов. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2008. – 551 с.
6. Chun Peng Zhang, Qing Yan Wang, Peng Zhang, Ping Yu, Wei Lin, Analysis and Research of the Winch System, Applied Mechanics and Materials. – 2013. – Vol. 401–403. – P. 36–40.
7. Stanislaw Michalowski, Wieslaw Cichocki, The Peak Dynamic Loading of a Winch in Term of the Rope Flexibility, Key Engineering Materials. – 2013. – Vol. 542. – P. 105–117.
8. Stefan Chwastek, Optimisation of Crane Mechanisms – Selected Problems, Key Engineering Materials. – 2013. – Vol. 542. – P. 43–58.

References

1. Geofizicheskie metody issledovaniya skvazhin. Spravochnik geofizika. Pod red. M. Zaporozhca. M.: Nedra, 1983, 591 p.
2. Gruzopodemnye mashiny: Uchebnik dlja vuzov po special'nosti «Podemno-transportnye mashiny i oborudovanie», M.P. Aleksandrov, L.N. Kolobov, N.A. Lobov i dr.: M.: Mashinostroenie, 1986–400 p.
3. Odnokopylov I.G., Gneushev V.V., Sizikov D.A., Shishljaev V.V. Avtomatizacija processa nagnetaniya pri gidrodinamicheskikh issledovaniyah fil'tracionnyh harakteristik ugot'nyh plastov. Izvestija Tomskogo politehnicheskogo universiteta. Izdvo: Nacional'nyj issledovatel'skij Tomskij politehnicheskij universitet (Tomsk). 2013. no. 5. pp. 50–54.
4. Odnokopylov I.G., Dement'ev Ju.N., Obespechenie zhivuchesti asinhronnyh jelektroprivodov. Vestnik Juzhno-Ural'skogo Gosudarstvennogo Universiteta. Serija: Jenergetika. Izdatel'stvo: Juzhno-Ural'skij gosudarstvennyj universitet (Cheljabinsk). 2014. no. 2. pp. 55–61.
5. Strel'chenko V.V. Geofizicheskie issledovaniya skvazhin. Uchebnik dlja vuzov. M.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2008. 551 p.
6. Chun Peng Zhang, Qing Yan Wang, Peng Zhang, Ping Yu, Wei Lin, Analysis and Research of the Winch System, Applied Mechanics and Materials, 2013, Vol. 401 403, pp. 36–40.
7. Stanislaw Michalowski, Wieslaw Cichocki, The Peak Dynamic Loading of a Winch in Term of the Rope Flexibility, Key Engineering Materials, 2013, Vol. 542, pp. 105–117.
8. Stefan Chwastek, Optimisation of Crane Mechanisms Selected Problems, Key Engineering Materials, 2013, Vol. 542, pp. 43–58.

Рецензенты:

Пугачев Е.В., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Электромеханика», Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк;

Лукутин Б.В., д.т.н., профессор кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий», Томский политехнический университет, г. Томск.

Работа поступила в редакцию 06.03.2015.