

SPECIAL ROBOTS FOR ENERGETICS

Sit M.L., (*Institute of Power Engineering of the ASM*), **Shkolnik Sofia**, **Andreev E.**,
Karpov E., **Chistekov M.** (*Lyceum "Rambam", Chisinau*)

Abstract. An overview of robots used in the power industry for diagnostics of power lines, cable lines, for the control, monitoring and maintenance of wind turbines, in nuclear energy, for optimum orientation of solar photovoltaic plants and solar panels for cleaning. Equations of statics and dynamics of robotic car which lifts along the vertical flexible rope are considered. It is presented the design which is made on the basis of "Lego Mindstorms" to solve the problem.

Keywords: Autonomous mobile robot, energetics, vertical rope climbing.

ROBOȚII SPECIALIZAȚI PENTRU ENERGETICĂ

Șit M., (*Institutul de Energetică al AȘM*), **Școlnic S.**, **Andreev Ț.**, **Carpov Ț.**, **Cistekov M.** (*Liceul teoretic „Rambam” din Chișinău*)

Rezumat: O prezentare generală a roboților utilizați în energetică pentru diagnosticarea liniilor electrice, liniilor în cablu, pentru controlul, monitorizarea și mentenanța turbinelor eoliene, în energetica nucleară, pentru orientarea optimă în direcția soarelui a modulelor fotovoltaice și pentru curățarea modulelor solare. Se prezintă ecuațiile ce descriu în statică și în dinamică mișcarea căruciorului robototehnic la ridicarea pe tronsonul flexibil, care nu este fixat rigid în punctul e jos. Se descrie construcția realizată cu utilizarea elementelor din constructorului "Lego Mindstorms".

Cuvinte-cheie: Robot mobil autonom, energetică, ridicarea pe tronson flexibil.

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ РОБОТЫ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Шит М.Л., (*Институт Энергетики АНМ*), **Школьник С.Г.**, **Андреев Э.С.**, **Карпов Э.**, **Чистяков М. А.**,
(*лицей им. Рамбама, г. Кишинев*)

Аннотация. Приведен обзор схем роботов, применяемых в электроэнергетике для диагностики состояния линий электропередач, для контроля кабельных линий, для контроля и обслуживания ветряных турбин, в атомной энергетике, для оптимальной ориентации на солнечных фотоэлектрических станциях и для очистки солнечных батарей. Приведены уравнения статики и динамики робототехнической тележки для подъема по гибкому канату, свободному в нижней точке. Приведена конструкция, выполненная на базе обучающего конструктора "Lego Mindstorms", для решения поставленной задачи.

Ключевые слова: Автономный мобильный робот, энергетика, подъем по гибкому канату.

Введение

Роботы применяются часто там, где работа человека связана с опасностью или, вообще, невозможна. С момента аварии на японской атомной станции Фукусима, был разработан ряд роботов, которые должны были оказать помощь в диагностике повреждений и ликвидации последствий аварии (<http://www.dailytechinfo.org/robots/4986-roboty-zmei-nachinayut-vypolnyat-funkcii-inspektorov-obektov-atomnoy-energetiki.html>).

Также, как известно, профилактика высоковольтных линий электропередачи является важной, но опасной задачей, которая требует прекращения распределения электроэнергии. Разработан робот под названием "Expliner" для автоматизации задач по контролю состояния ЛЭП. Этот робот движется по проводам линии, преодолевает препятствия, такие как прокладки и зажимы подвесок, и все это на высотах в десятки метров. При этом выполняются такие работы, которые человек не может выполнить. Робот выполнен с переменным центром тяжести, что облегчает маневрирование при преодолении препятствий. Робот регистрирует информацию, поступающую по GPS, что позволяет определять координаты поврежденных мест. Применение робота позволяет выявить аномалии в виде ржавчины, дефектов, повреждения поверхности, или изменений диаметра линии, которые могут свидетельствовать о внутренней коррозии.

Реальная задача подъема по вертикальной цилиндрической опоре поставлена в [7]. В предлагаемом устройстве робот инспектирует состояние ветряных турбин (рис.1).



Рис. 1. Схема робота для инспектирования состояния ветровых турбин



Рис. 2. Робот для инспектирования высоковольтных линий электропередач [12]



Рис. 3. Робот для проверки состояния ЛЭП [13]

Канадский [Hydro-Québec Research Institute](#) начал проект, который был спровоцирован ледяным дождем, прошедшим в северной Америке в 1998 г. который привел к мощным перерывам в подаче электроэнергии и оставил миллионы людей без электричества на несколько дней. Была поставлена задача разработать робот, который бы перемещался по линиям электропередач и удалял бы лед с проводов. Первым решением был робот с захватами, подобным лапам ленивца, и снабженным устройством для удаления льда. В последнем варианте робот уже снабжен видеокамерами для контроля состояния линии и инфракрасным датчиком для контроля температур проводов, и был испытан на ЛЭП с током 2000 А и напряжением 735 кВ).



Рис. 4. Робот для чистки солнечных панелей

[<http://www.theatlantic.com/technology/archive/2013/11/the-key-to-cheap-renewable-energy-robots/281139/>]

Робот для чистки солнечных панелей использован ночью для чистки солнечных фотовольтаических панелей, что повышает эффективность панелей на 15%. Это изделие особенно необходимо в условиях пустынного климата, где панели может занести песком полностью за 100 дней эксплуатации. В Германии робот, который называют [Momo](#), используется для поворота панелей при слежении за солнцем, что оказывается дешевле, чем делать следящие системы для каждой панели.

В 1999 г. появилось сообщение о мобильных роботах для использования на атомных электростанциях [21]. Разработанный робот двигался по заданной траектории, был снабжен телекамерой. Компания AREVA, занимающаяся обслуживанием ядерных реакторов и разработкой оборудования для АЭС, начала использовать новаторскую технологию для первой в своем роде проверки изнутри первичного контура реактора АЭС в США с помощью дистанционно управляемого робота. Во время недавнего останова оборудования на одной из американских АЭС, AREVA провела осмотр первичного контура реактора при помощи очень сложного «SUSI» робота. Этот небольшой, с дистанционным управлением робот, напоминающий субмарину, произвел осмотр реактора изнутри, а также проверил компоненты реактора с помощью ультразвукового и

визуального тестирования. По результатам, в том числе этих исследований, было вынесено решение о длительном продлении срока эксплуатации обследуемого реактора.



Рис. 5. Робот для обследования атомных реакторов
(<http://alades.livejournal.com/1479962.html>)

Впервые компания AREVA начала использовать робота «SUSI» на рынке Германии и уже широко используют по всей Европе. Теперь «SUSI» технология будет адаптироваться в соответствии с требованиями американских атомных электростанций. Американская компания iRobot предоставила Японии четыре робота для ликвидации последствий аварии на АЭС «Фукусима-1». Оснащённый необходимым оборудованием робот PackBot уже исследовал аварийные блоки станции и взял радиационные пробы в первом и третьем реакторах. Позже к ликвидации последствий планируют привлечь более крупного и крепкого робота Warrior 710. (http://vk.com/video-52374918_166796558)

В <http://www.ee.washington.edu/research/seal/pubfiles/2004912918.pdf> сообщается о роботе, предназначенном для исследования кабельных систем различного назначения.



Рис. 6. Робот для контроля кабельных линий
(http://www.ee.washington.edu/research/seal/pubfiles/ICMA_2005_Proc.pdf)

В [17] предлагается робот для очистки *лопастей* ветроустановки, который позволит избавиться от опасного и тяжелого физического труда при выполнении работ по чистке ветроустановок. В [http://www.intechopen.com/download/get/type/pdfs/id/10093/doc.pdf] также сообщается о роботе для инспекции ЛЭП. При спасательных работах может возникнуть ситуация, когда необходимо подняться по вертикальному канату и доставить (или забрать) груз. Важность этой проблемы подчеркнута американским правительством при объявлении программы DARPA Robotics Challenge, см. <http://2045.ru/news/29747.html> со ссылкой на <http://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/humanoids/darpa-robotics-challenge-here-are-the-official-details>. Известны задачи, связанные с движением робототехнических тележек (РТ) по канату [1-5]. Так, в [5, 6] приведена схема работа, где контроллер связан с лебедкой, которая, наматывая канатик на вал лебедки, поднимается по веревке. Впервые задача подъема робототехнической тележки по канату была поставлена в робототехническом обществе Сиэттла (США) [5] в 2010 году и опубликована на сайте международного общества по робототехнике LUGNET. После этого появились решения этой задачи [2-5]. Однако, до настоящего времени не была разработана теория подъема РТ по канату, а также задача подъема на качающийся канат. Также на сайтах [5, 6, 10] в 2010...2014 гг. была поставлена задача подъема по канату за минимальное время для олимпиад по робототехнике.

2. Разработка варианта прототипа тележки для движения по вертикальному канату

Для движения по вертикальному канату известны захваты в виде рычагов, а также в виде резиновых колес. Нами рассмотрен для прототипа упругий захват, который может быть выполнен из изделия типа автомобильной шины. Две автомобильные шины охватывают канат с двух сторон (рис.6). За счет регулирования угла охвата шинами каната, расстояния между осями колес и давления в шинах обеспечивается необходимое сцепление шин с канатом. Условием равномерного движения по канату является превышение сил сцепления с канатом силы веса тележки.

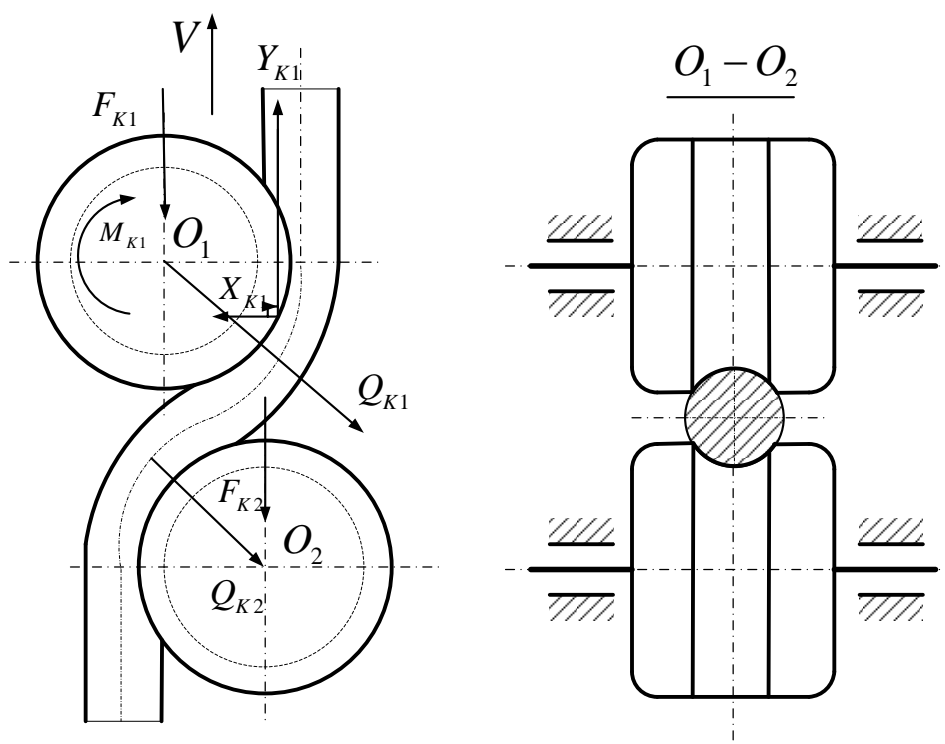


Рис. 7. Схема захвата троса

Последующий материал написан по схеме, изложенной в [19]. Движение тележки обеспечивается за счет силы тяги, создаваемой колесным движителем, который приводится в действие электрическими двигателями, установленными на тележке. Внешним телом в системе «тележка–канат» является канат. Из числа внутренних сил основное влияние на условия движения оказывает крутящий момент движителей и сопротивления в элементах конструкции, передающих крутящий момент к ведущим колесам. Наличие внутренних сопротивлений обуславливает потери энергии в механизмах, из-за которых уменьшается энергия, используемая для преодоления внешних сопротивлений. Внешними силами в рассматриваемом случае будут являться силы, приложенные непосредственно к остову тележки, а именно: сила тяжести (вес тележки), приложенная к центру масс (инерции) тележки; реакция каната, передаваемая на остов через ходовую систему. Для случая неравномерного движения тележки, при составлении уравнений движения на основании принципа Даламбера, к внешним силам относим также силу инерции тележки, приложенную к ее центру масс. Таким образом, внутренние силы не влияют на движение центра масс (центра инерции) тележки как системы; только внешние силы, т.е. силы действия внешних тел на тележку могут изменить ее движение. Чтобы представить себе движение тележки и работу ее движителя в целом, необходимо предварительно рассмотреть качение отдельного колеса и найти основные зависимости между факторами, определяющими условия качения. Эти зависимости могут быть силовыми, связывающими силы и моменты, приложенные к колесу, так и кинематические, связывающие угловую скорость колеса ω_k со скоростью его поступательного движения.

Прежде чем рассматривать внешние силы и моменты, действующие на тележку при ее движении, рассмотрим основные кинематические характеристики и зависимости, связанные с работой колеса. Так как изучается прямолинейное движение тележки, то рассмотрим движение колеса только в одной плоскости - продольной, которая перпендикулярна к опорной плоскости, причем, примем, что плоскость вращения колеса совпадает с продольной плоскостью. Рассмотрим сначала действительные процессы, происходящие при работе колеса. На рис. 7 показана схема внешних сил и реакций, действующих на колесо при его качении по канату. При этом мысленно отбросим внешнее тело, взаимодействующее с колесом: остов тележки. Действие отброшенного остова тележки на рассматриваемое колесо представлено на схеме: нормальной нагрузкой на колесо $Q_{k1}(Q_{k2})$ (с учетом веса колеса); реакцией $F_{k1}(F_{k2})$ толкающей силы оси колеса на остов тележки (эта реакция направлена в тяговом режиме против направления поступательного движения колеса); ведущего момента $M_{k1}(M_{k2})$, передаваемого на колесо от электродвигателей. Действие отброшенной поверхности пути (троса) заменено: нормальной реакцией $X_{k1}(X_{k2})$ опорной поверхности на колесо; продольной реакцией $Y_{k1}(Y_{k2})$ опорной поверхности, направленной в сторону поступательного движения колеса. Продольная реакция $Y_{k1}(Y_{k2})$ является активной силой, поэтому она называется толкающей силой ведущего колеса [19]. При неравномерном относительном вращении колеса на колесо также действует момент касательных сил инерции, равный произведению момента инерции колеса J_k на угловое ускорение (замедление) колеса

$M_{JK} = J_k \cdot \frac{d\omega}{dt}$. Кроме того, при неравномерном переносном поступательном движении колеса возникают силы инерции, равнодействующая которых равна $P_{JK} = m_k \cdot dv / dt$.

2.3. Описание конструкции

Привод переднего колеса тележки (оно же и ведущее колесо захвата) (рис.7) осуществляется от двух моторов, привод заднего колеса захвата осуществляется от отдельного привода через редуктор с передаточным отношением равным единице. Задняя пара колес тележки – ведомая. Колеса большого диаметра, установленные выше контроллера, служат для "мягкой" посадки машины при ее спуске с троса. Перед машиной установлены ограничительные пластины, которые служат для ограничения возможных колебаний каната и успокоения этих колебаний. При подъезде тележки к канату срабатывает фотоэлектрический датчик, происходит захват каната движителями, и электрические моторы (приводы движителей) начинают работать синхронно на подъем тележки (синхронизация моторов с целью обеспечения одинаковой скорости их вращения обеспечивается программно). Данная конструкция является наиболее близкой по принципу действия к описанной в [2] и отличается от нее большей скоростью подъема и возможностью подъема на качающийся канат.

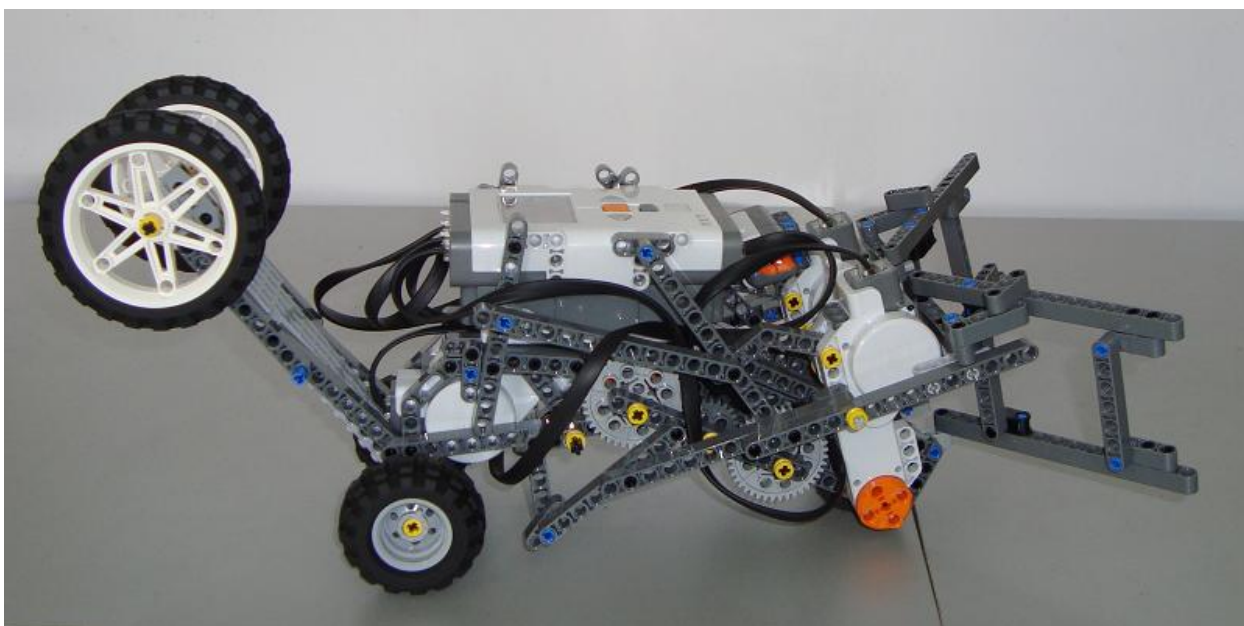


Рис. 8. Робототехническая тележка для подъема по канату

Выводы

1. Общим для роботов, применяемых в энергетике, является наличие тележки, которая перемещается как с помощью магнитных присосков по металлическим колоннам энергоустановок, так и с помощью колес, катящихся по проводам линий электропередач.
2. Приведена схема захвата в виде пары резиновых шин, в которых регулируется давление, с целью обеспечения подъема тележки по вертикальному канату.
3. Приведен макет технического решения для плавной установки машины на горизонтальную поверхность при ее спуске по канату.
4. Показано, как спроектировать робота в рамках проекта "Lego Mindstorms" для подъема по вертикальному, закрепленному только сверху, канату.

Литература

- [1] <http://ncostaengineering.weebly.com/rope-climber.html>
- [2] http://www.youtube.com/watch?v=Cv_xlV0Df7Q
- [3] <http://www.youtube.com/watch?v=gi7GesmY16w&feature=related>

- [4] http://www.youtube.com/watch?v=bMmAUnka_MA&feature=related
- [5] http://www.lugnet.com/org/us/smart/~48/ideas/past_challenges_long
- [6] http://www.lugnet.com/org/us/smart/~48/ideas/complete_list
- [7] <http://technicallylearning.org/uploads/RobotOlympics.pdf>
- [8] <http://www.treehugger.com/renewable-energy/new-rope-climbing-robot-inspects-wind-turbines-better-than-humans.html>
- [9] <http://www.robotee.com/index.php/2013/04/>
- [10] <http://www.railab.ru/tekushchie-reglamenty.html>
- [11] <http://www.youtube.com/watch?v=nWOfQeiWylM>
- [12] <http://www.houseofjapan.com/robots/high-voltage-line-inspection-robot>
- [13] <http://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/industrial-robots/linescout-robot-climbs-on-live-power-lines-to-inspect-them>
- [14] http://ir.canterbury.ac.nz/bitstream/10092/4129/1/12612290_Cable%20Climbing%20Robot.pdf
- [15] Bing Jiang, Alanson P. Sample, Ryan M. Wistort and A. V. Mamishev, Autonomous Robotic Monitoring of Underground Cable Systems. Proceedings of the IEEE International Conference on Mechatronics & Automation Niagara Falls, Canada • July 2005. pp.673-679. http://www.ee.washington.edu/research/seal/pubfiles/ICMA_2005_Proc.pdf
- [16] http://www.iaarc.org/publications/fulltext/Maintenance_robot_for_wind_power_blade_cleaning.pdf
- [17] Bing Jiang, A. Mamishev, Robotic Monitoring of Power Systems, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 19, NO. 3, July 2004 p. 912-018.
- [18] M. Nayyerloo, XiaoQi Chen, Wenhui Wang, and J.G. Chase, Cable-Climbing Robots for Power Transmission Lines Inspection. <http://www.intechopen.com/books/mobile-robots-state-of-the-art-in-land-sea-air-and-collaborative-missions/cable-climbing-robots-for-power-transmission-lines-inspection>.
- [19] Savochnik V.A. Teagovaia dinamica colesnogo tractora. Uchebnoe posobie dlea studentov vuzov, obuceaiuschihse po spetsialnosti “Avtomobile – i tractorostroenie“. – M.: MGTU “MAMI”, 2005. – 97 c. (in Russian)
- [20] N. Kita, A.J. Davison, Mobile sensing robots for nuclear power plant inspection. Advanced Robotis, 1999, Vol.13, N3, pp. 355-356.
- [21] Zhenmao Chen and Kendzo Miya Detection and sizing of defects in structural components of a nuclear power plant by ECT. Review of Quantitative Nondistructive Evaluation Kit. Vol.25, 2005, pp.789-796.

Сведения об авторах:



Шит Михаил Львович – к.т.н., ведущий научный сотрудник лаборатории «Энергетической эффективности и возобновляемых источников энергии» Института энергетики АН Молдовы. Область научных интересов: робототехника, автоматическое управление технологическими процессами в энергетике, в промышленности, в сельском хозяйстве, тепловые насосы. E-mail: mihail_sit@mail.ru