

УДК 621.313.3:62-831

**РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ  
СУДОВЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ  
ПОДРУЛИВАЮЩИХ УСТРОЙСТВ, ВИНТОРУЛЕВЫХ КОЛОНОК,  
ПЕРЕГРУЗОЧНЫХ МЕХАНИЗМОВ**

**Уразов Ф.Ф., Поначевная С.А., Нешеретный Н.С.**

*Государственный морской университет имени адм. Ф.Ф. Ушакова, Новороссийск,  
e-mail: uf07211937@mail.ru, rusalsvetik@mail.ru*

В статье представлены конструкции судовых автоматизированных электроприводов подруливающих устройств, винторулевых колонок, перегрузочных механизмов таких машин как: ленточные транспортеры, козловые, порталные и мостовые краны, грузовые лебедки и стрелы. Приведена оценка экономической эффективности данных электроприводов по сравнению с традиционно эксплуатируемыми. Проектная деятельность связывается в статье с интересами, как производства, так и рынка. Модель может быть использована как основа для разработки частных методик, необходимых для решения задач, поставленных перед заказами промышленных предприятий. Целью исследования является анализ путей совершенствования автоматизированных электроприводов вышеперечисленных механизмов как наиболее применяемых в морском и водном транспорте и промышленном производстве. За основной материал исследования были приняты всевозможные мировые патенты, включая авторские разработки. В результате исследования разработаны универсальные конструкции электроприводов, пригодных для вышеперечисленных механизмов спускоподъемных и грузовых лебедок и стрел, ленточных транспортеров, для катков порталных и мостовых кранов.

**Ключевые слова:** электрическая машина, электропривод, рабочий орган механизма, кран

**RESOURCE-SAVING TECHNOLOGY OF AUTOMATED ELECTRIC DRIVES  
OF WORKING BODIES OF LOADING MECHANISMS**

**Urazov F.F., Ponachevnaya S.A., Necheretnyy N.S.**

*State Maritime University named after F.F. Ushakov, Novorossiysk,  
e-mail: uf07211937@mail.ru, rusalsvetik@mail.ru*

The paper presents the design of electric without gear working bodies of reloading mechanisms of such machines as conveyors, gantry, portal and bridge cranes, ship boom, drum mills. The estimation of economic efficiency of electric without gear compared to traditionally exploit. Project activities associated with the interests of the article, both production and market. The model can be used as a basis for the development of individual techniques needed to solve the tasks of the industrial enterprises orders. The goal of the study is to analyze ways to improve the automated electric reloading mechanisms as the most used in industrial production and water transport. During the main study material various patents worldwide, including the author's development were adopted. The study developed a versatile actuator design suitable for lowering lifting and cargo winches and booms conveyor belts, Roller gantry and overhead cranes.

**Keywords:** electric machine, electric drive, the working body of the mechanism, the crane

Общей тенденцией развития современных электроприводов является их компьютеризация и применение электронной силовой преобразовательной техники. Однако преобразование самого силового элемента – рабочего органа механизма и его электродвигателя стоит в стороне.

Рассмотрены вопросы технологических конструкций электроприводов различных судовых механизмов, в том числе отличных от эксплуатируемых на судах. Единой целевой задачей предлагаемых решений является исключение промежуточных конструктивных элементов между рабочим органом механизма и электродвигателем, например, таковых как: валы, муфты, зубчатые передачи, трансмиссии из шкивов и ремней и прочего. Такие электроприводы получили

общее название прямых или безтрансмиссионных. Указанное исполнение позволяет: уменьшить трудозатраты на изготовление электроприводов, экономить расходы на использование материалов, экономить затраты на расходные материалы, например, смазочные масла, повысить в целом коэффициент полезного действия электропривода в виду исключения потерь энергии на промежуточных элементах на трение и сокращения времени протекания динамических процессов (разгона, реверса, торможения) из-за уменьшения момента инерции. Приведем пример согласно патенту РФ [1].

Пример представлен на рис. 1. Он представляет собой конструкцию с обращенным синхронным электродвигателем с постоянными магнитами возбуждения. Цилиндриче-

ская корпусная часть ротора двигателя может исполнять роль тягового барабана грузовой лебедки, крана, или ленточного транспортера перемещения сыпучих грузов. Наряду с этим эта же часть при изменении положения опоры может выполнять роль опорных роликов передвижения: тележек мостовых кранов, их мостов или всего портального крана.

Второй пример представлен на рис. 2–3. Он является по сути описанным выше электромагнитным движителем, но с использованием электрической редукции. Такая конструкция производится в качестве подруливающего устройства, серийно выпускаемой фирмой Brown Boveri, и она показана на рис. 4. Эта конструкция получила название кольцевой двигатель-двигательной системы.

Следующим примером автоматизированного судового электропривода является винторулевая колонка с безвальным электромагнитным движителем, представленным на рис. 4.

Винторулевая колонка имеет безвальный винтлопастной движитель и механизм поворота плоскости вращения лопастей.

Механизм поворота плоскости лопастей включает в себя два электродвигателя со встроенными электромагнитными тормозами и наружными шестернями, находящимися в зацеплении с косозубым коническим колесом, к которому жестко прикреплена станина винтлопастного электромагнитного движителя, служащая одновременно направляющей насадкой винта.

Данное устройство позволяет повысить качество функциональных возможностей устройства и его быстродействие, сократить время переходных процессов, повысить коэффициент мощности и полезного действия, снизить механические нагрузки на рабочие элементы зубчатой передачи.

Следует подчеркнуть, что во всех приведенных конструкциях в качестве источников возбуждения применены высокоэффективные постоянные магниты из сплава Nd-Fe-B [8]. Кроме этого для электроприводов, не регулируемых по скорости в электродвигателях реализуют принцип электрической редукции за счет правильного выбора соотношения числа полюсов ротора и зубцов сердечника статора.

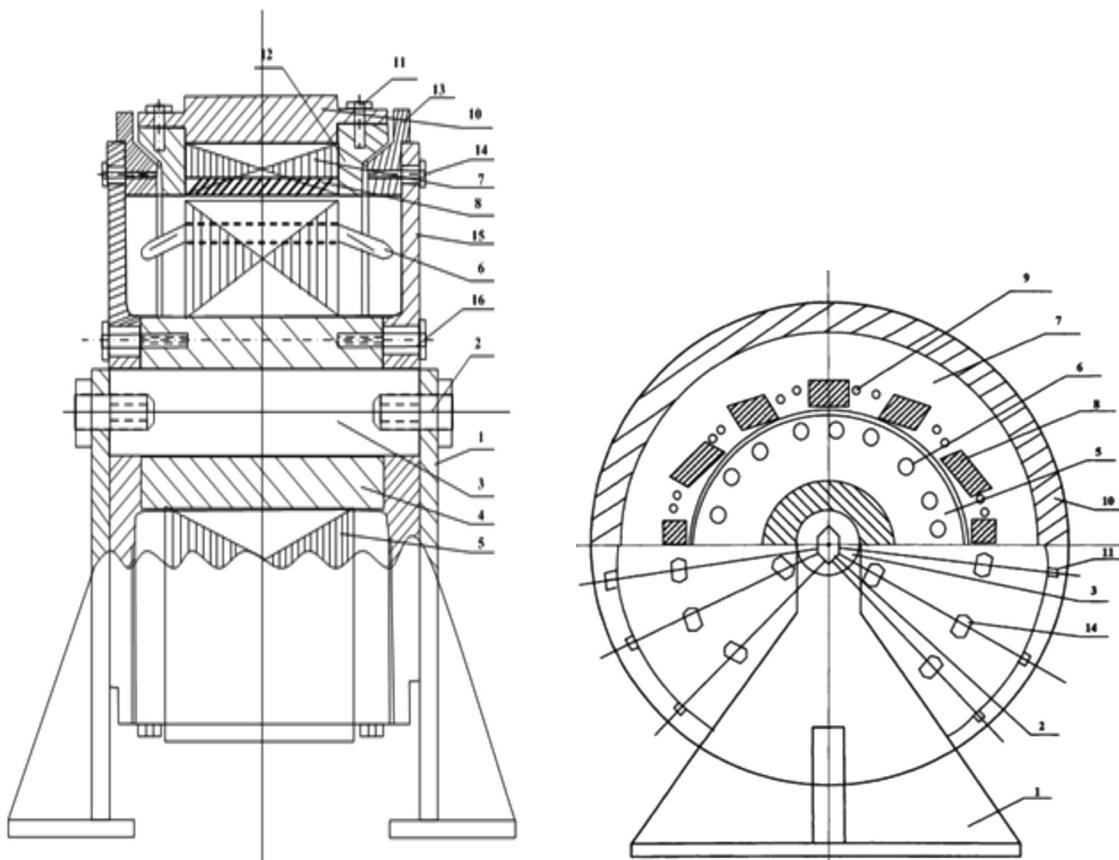


Рис. 1. Электродвигатель рабочего органа перегрузочной машины системы прямого привода

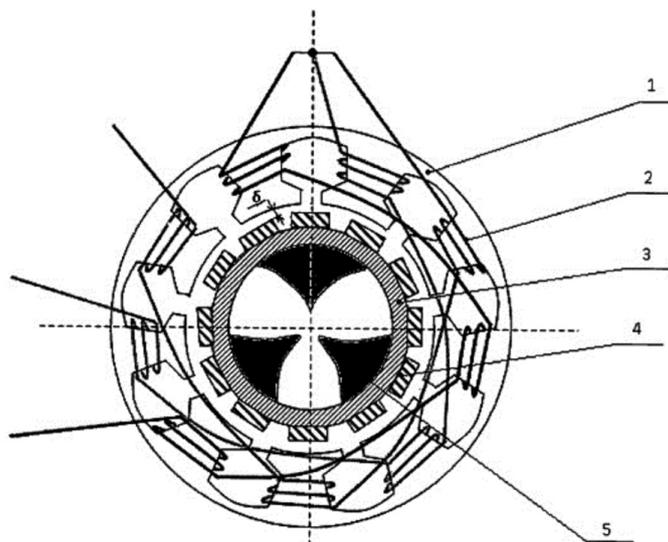


Рис. 2. Поперечный разрез электромагнитного движителя

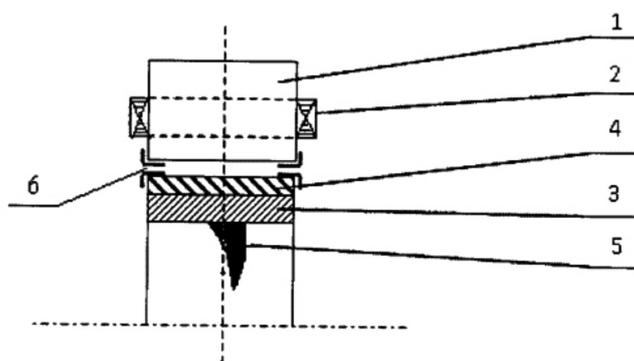


Рис. 3. Половина продольного разреза электромагнитного движителя

Возможен вариант без применения вспомогательного двигателя, но с использованием преобразователя частоты подключенного к сети частоты 50 Гц и питающего обмотку статора на частоте 5 Гц.

При снижении материалоемкости и сокращении эксплуатационных расходов предлагаем устройство, которое в реализации приведет, по оценке авторов, к повышению энергетической эффективности примерно в 3,5 раза при значениях  $\eta = 0,85 \cos\phi = 0,85$ .

Для большинства эксплуатируемых промышленных электроприводов в динамических процессах можно пренебречь электромагнитной частью переходного процесса и считать его чисто электромеханическим. Тогда интегрированием уравнения равновесия моментов в динамике можно будет определить дополнительное время переходного

процесса из-за наличия дополнительных движущихся масс для электроприводов, не имеющих безтрансмиссионного привода и соответственно рассчитать дополнительные затраты электроэнергии.

Оценка влияния полных инерционных масс электропривода на продолжительность времени переходных процессов состоит в следующем. Время любого переходного процесса определяется путем решения системы уравнений. Для коллекторной машины постоянного тока с электромагнитным возбуждением или с таковым синхронной машины или асинхронной машины система уравнений всегда имеет три уравнения, а именно: два уравнения равновесия напряжений по цепям двух обмоток и одного уравнения равновесия моментов на валу машины. В простых, часто встре-

чающихся случаях, когда переходный процесс идет с неизменным током цепи возбуждения, система уравнений упрощается до двух уравнений – одного равновесия напряжений по цепи обмотки якоря и второго равновесия моментов на валу машины. В этом случае при двух искомым неизвестных переменных – токе цепи якоря  $i_a(t)$  и угловой скорости вращения якоря  $\omega(t)$ , решение всегда представляется в виде суммы двух решений: одного, как общего решения однородного уравнения (свободный режим) и второго, как частного решения неоднородного уравнения (принужденный режим). Однако, сам вид решения возможен в одном из трех вариантах, два из которых установившиеся и один неустановившийся. Последний получается, если действительные части комплексных корней характеристического уравнения будут положительными. Если корни будут комплексными, но с отрицательными вещественными частями, то процесс будет колебательным, но с получением установившегося режима. Если корни будут вещественными и отрицательными, то процесс будет установившемся экспоненциальным по характеру. Этот чаще всего встречающийся вариант получается когда выполняется неравенство  $T_{эм} > 4T_a$ , где  $T_{эм} = J_{\Sigma} \frac{R_{ад}}{C_M \Phi}$  есть электромеханическая по-

стоянная времени, а  $T_a = L_a/R_{ад}$  есть электромагнитная постоянная времени, где  $L_a$  и  $R_{ад}$  есть индуктивность обмотки якоря и активное сопротивление цепи якоря.

Для этого случая считают, что можно пренебречь электромагнитной частью переходного процесса и считать его чисто электромеханическим. Тогда для определения времени переходного процесса достаточно решить одно уравнение равновесия моментов на валу машины:

$$M_{эм}(\omega) - M_c(\omega) = J_{\Sigma} \frac{d\omega}{dt} \quad (2)$$

в виде

$$t = \int_{\omega_i}^{\omega_{i+1}} \frac{J_{\Sigma}}{M_{эм}(\omega) - M_c(\omega)} d\omega \quad (3)$$

где  $J_{\Sigma}$  суммарный приведенный к валу электродвигателя момент инерции.

Если взять пример реостатного способа пуска в ход электродвигателя (ЭД) грузовой лебедки или тележки крана, или всего крана, и полагать, что:

- $m_p, m_6$  – массы груза и барабана лебедки;
- пуск (разгон) идет ступенями с числом  $k$  и на каждой ступени начальные и конечные скорости ЭД  $\omega_i$  и  $\omega_{i+1}$ ,  $\vartheta_k$  – линейные скорости перемещения массы механизма;

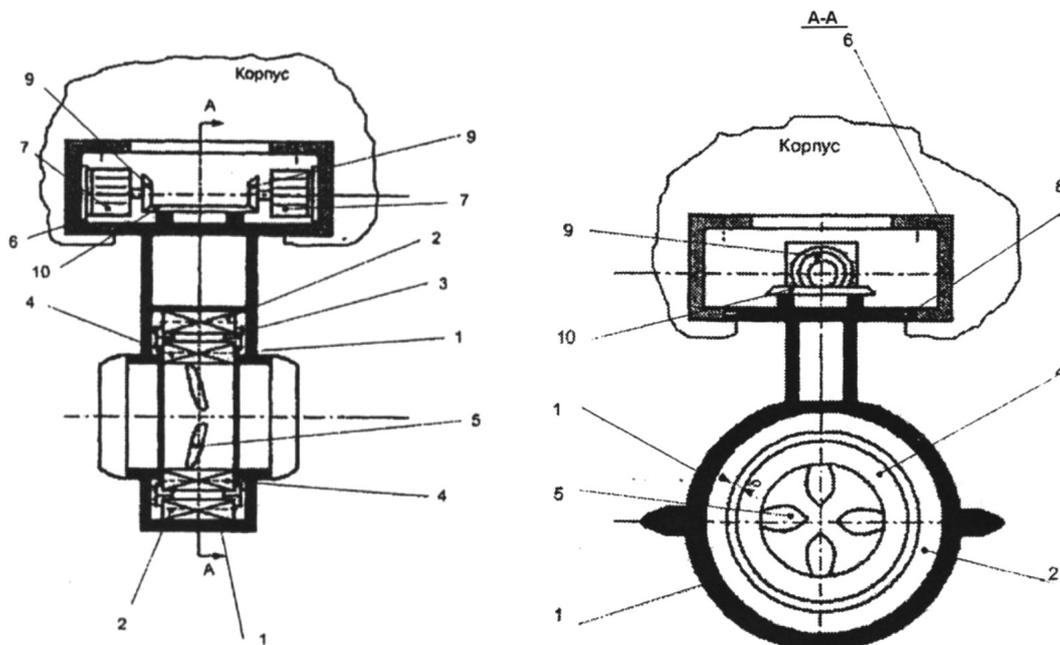


Рис. 4. Винторулевая колонка с безъявным электромагнитным двигателем: 1, 6 – корпус, 2 – короткозамкнутая пусковая обмотка, 3, 8 – подшипник скольжения, 4 – шихтованный сердечник ротора, 5 – лопасти, 7 – электродвигатели, 9 – шестерни, 10 – косозубое коническое колесо

– между валом ЭД и валом рабочего органа механизма имеется редуктор с числом ступеней  $j$  и на каждой ступени имеется момент инерции вращающихся частей  $J_j$ ;

– рабочий орган механизма (например, барабан лебедки) имеет скорость вращения  $\omega_m$ ;

– линейная поступательная скорость перемещения массы  $m_{mx}$  полезной части механизма, например груза или тележки с грузом, или всего крана с грузом есть  $\vartheta_{mx}$ ,

то приведенный к валу электродвигателя момент инерции будет равен:

$$J_{\Sigma} = J_d + \sum_j \frac{J_j}{i_j^2} + \sum_k m_{mx} \rho_k^2 \quad (4)$$

где  $i_j = \omega_j / \omega_d$ ,  $\rho_k = \vartheta_k / \omega_d$ ,  $m_{mx} = m_r + m_b$  для грузового барабана грузоподъемной лебедки;  $m_{mx} = m_r + m_t$  для тележки крана с грузом;  $m_{mx} = m_r + m_k$  для крана с грузом,  $m_{mx} = m_r + m_c$  для грузовой стрелы с грузом.

Для выражений (2) и (3) имеются для каждого вида электродвигателя свои зависимости  $M_{\Sigma}(\omega)$  и для каждого вида механизма имеются свои зависимости статического момента  $M_c(\omega)$  от скорости  $\omega$ .

В частных случаях имеем:

– для механизма подъема, спуска груза  $M_c(\omega) = const$ ;

– для механизма наматывающего устройства  $M_c(\omega) = const / \omega$ ;

– для механизма вентилятора или центробежного нагнетателя  $M_c(\omega) = A + B\omega^2$ , где  $A, B$  – константы.

Из (6), (7) следует, что дополнительное время необходимое для создания движения рабочего органа из-за наличия дополни-

тельных инерционных масс (валов, муфт, редукторов и прочего) составляет величину:

$$t_{доп} = \sum_k \int_{\omega_i}^{\omega_{i+1}} \left( \sum_j \frac{J_j}{i_{jc}^2} \right) \frac{d\omega}{M_{\Sigma}(\omega) - M(\omega)} \quad (5)$$

### Заключение

Предложенные конструкции электроприводов широкого класса перегрузочных механизмов машин и водного транспорта позволят существенно сократить: расходы материалов на изготовление, электроэнергию и масла при эксплуатации, а также трудозатраты.

### Список литературы

1. Вольдек А.И. Электрические машины. – Энергия, 1974. – С. 839; URL: [www.bavatia-direct.co.za](http://www.bavatia-direct.co.za).
2. Ковчин С.А., Сабинин Ю.А. Теория электропривода. – СПб.: Энергоатомиздат, 2000.
3. Кучинский В.Г. Сравнительные оценки гребных вентиляторов традиционного исполнения и машин с поперечным магнитным потоком. Ж. «Электричество». – 2004. – № 7.
4. Москаленко В.В. Электрический привод – 2-е изд. – М.: Академия, 2007.
5. Electric Ring Thrusters. ALSTOM Schilling Robotics 201 Cousteau Place, Davis, California 95616-5412 USA.
6. JOHN Holt, Developing a high efficiency Institution. Inc.5600 U.S. 1 North, Ft Pierce, Florida 34946.
7. Quest electric ring thrusters. ALSTOM Schilling Robotics 201 Cousteau Place, Davis, California 95616-5412 USA.
8. Rosu M., Nahkuri V., Arkkio A., Jokinen T., Mantere J., Westerlund J. Permanent magnet synchronous motor for ship propulsion drive. Helsinki University of Technology, Laboratory of Electromechanics, P.O. Box 3000, FIN-02015 HUT, FINLAND. ABB Industry Oy, Synchronous Machines, P.O. BOX 185 FIN-00381 Helsinki FINLAND.