

УДК 629.78.001.5

ХИМИКО-КИНЕТИЧЕСКИЙ НАКОПИТЕЛЬ ЭНЕРГИИ

Ц. Г. Надараиа¹, Л. А. Бабкина², И. Я. Шестаков², А. А. Фадеев²

¹ООО «КВОНТ»

Российская Федерация, 660041, г. Красноярск, просп. Свободный, 75

E-mail: svoy_2010@list.ru

²Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева

Российская Федерация, 660014, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31

E-mail: yakovlevish@mail.ru

Рассматривается энергетическая установка, совмещающая химические и кинетические накопители энергии. Маховичный накопитель выполнен в виде диска с пазами, в которых установлены аккумуляторные батареи. Установка снабжена гистерезисным двигателем на периферии маховика и бесколлекторным двигателем в центре. Рассмотрены способы восстановления кинетической энергии механического накопителя. Проведено численное исследование напряженно-деформированного состояния элементов конструкции аккумуляторной батареи под действием центробежной силы в пакете конечно-элементного анализа SolidWorks Simulation.

Ключевые слова: энергетическая установка, накопитель энергии, вращающиеся аккумуляторы.

CHEMICAL AND KINETIC ENERGY STORAGE DEVICE

C. G. Nadaraia¹, L. A. Babkina², I. Y. Chestakov², A. A. Fadeev²

¹“CVONT” LLC

75, Svobodny prosp., Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation

E-mail: svoy_2010@list.ru

²Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev

31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660014, Russian Federation

E-mail: yakovlevish@mail.ru

Energy installation which is combined chemical and kinetic energy storage is discussed. Flywheel storage is executed in the form of a disk with the grooves in which batteries are installed. The installation is equipped with hysteresis engine on the periphery of the flywheel and brushless the engine in the center. The ways how to get the kinetic energy of a mechanical drive are discussed. Numerical investigation of the stress-strain state of structural elements rechargeable batteries under the action of centrifugal force in the package finite element analysis SolidWorks Simulation has been carried out.

Keywords: power unit, energy storage rotating batteries.

Накопители энергии играют важную роль для транспортных систем, летательных аппаратов, источников аварийного и бесперебойного питания систем связи и телекоммуникаций, для атомных, ветровых, солнечных электростанций.

В технике широко применяются химические накопители энергии, в частности электрохимические аккумуляторы [1]. Количество накапливаемой энергии в аккумуляторах прямо пропорционально массе активных компонентов. Масса всего аккумулятора находится в статическом состоянии, поэтому ее кинетическая энергия относительно данного объекта равна нулю.

Известные механические (кинетические) накопители энергии [2–4] представляют собой быстровращающийся маховик различной формы. Количество запасенной энергии в кинетическом накопителе прямо

пропорционально моменту инерции вращающегося тела, разности квадратов угловой скорости вращения маховика.

Из-за высокой скорости вращения маховик и электропривод помещают в герметичную камеру с пониженным давлением воздуха или гелия, что приводит к ухудшению охлаждения электропривода и увеличению эксплуатационных расходов, связанных с поддержанием вакуума. Установка электропривода в отдельную герметичную камеру увеличивает габариты устройства, возникает необходимость применять уплотнительные устройства в подвижном соединении, что усложняет кинетический накопитель энергии.

Известен ёмкостно-кинетический накопитель энергии [5], содержащий конденсаторную батарею, включённую в цепь электрической машины постоянного тока, маховик, вал которого соединён с валом

электрической машины через муфту сцепления и механическую передачу, причём конденсаторная батарея установлена вдоль внутренней периферической поверхности маховика, а выводы конденсаторной батареи с помощью щёток подключены к контактным кольцам, которые смонтированы на валу маховика.

Недостатками данного устройства являются: сложность, громоздкость конструкции из-за наличия муфты и зубчатой передачи; массы электрической машины, муфты и зубчатой передачи не выполняют функции кинетического накопителя энергии. Поэтому упрощение конструкции, уменьшение массогабаритных показателей накопителей энергии является актуальной проблемой.

В данной работе предлагается совместить химический и кинетический накопители энергии в одном устройстве (рис. 1).

Накопитель содержит аккумуляторную батарею 1, постоянные магниты 2 бесколлекторного генератора, маховик 3, на внутренней периферической поверхности которого установлены аккумуляторные батареи 1, гистерезисный двигатель, магнитные кольца 4 которого расположены на наружной периферической поверхности маховика 3, статорные обмотки 5 гистерезисного двигателя установлены в неподвижном корпусе 6. В центре корпуса 6 имеется ось 7, на которой закреплены контактные кольца 8, вокруг которых вращаются щёточно-контактные аппараты 9, установленные на маховике 3. Статорные обмотки 10 бесколлекторного генератора расположены на маховике 3. Статорные обмотки 5, 10 гистерезисного двигателя и бесколлекторного генератора соединены с блоком коммутации 11, который через щёточно-контактные аппараты 9 и контактные кольца 8 подключён к электромеханической системе 12.

Химико-кинетический накопитель энергии работает следующим образом. От стационарного источника тока подается напряжение на статорные обмотки 5 гистерезисного двигателя. Маховик 3 раскручивается до рабочей частоты вращения n_2 , в результате чего вращающиеся массы накапливают кинетическую энергию. Во время работы химико-кинетического накопителя энергия заряженных аккумуляторных батарей 1 через блок коммутации 11 щёточно-контактного аппарата 9 и контактных колец 8 подается в электромеханическую систему 12. По мере расходования энергии аккумуляторных батарей происходит их подзарядка от статорных обмоток 10 через блок коммутации 11. При этом работает бесколлекторный генератор за счет наведения ЭДС в статорных обмотках 10 при вращении их вокруг постоянных магнитов 2, расположенных на оси 7. В результате кинетическая энергия вращающихся масс преобразуется в электрическую энергию. Накопленная кинетическая энергия, преобразованная с помощью бесколлекторного генератора в электрическую, может возвращаться через блок коммутации 11 щёточно-контактного аппарата 9 и контактных колец 8 электромеханической системы 12. По мере расходования кинетической энергии частота вращения маховика 3 снижается до опорного числа оборотов n_1 . Восстановление частоты вращения до рабочей частоты может осуществляться путем использования энергии торможения (в транспортных средствах) или энергии электростатических зарядов, образующихся на летательных аппаратах, или преобразования тепловой (кинетической) энергии отработавшего рабочего тела на двигателях в электрическую, или от стационарных источников тока. Кинетическую энергию, запасённую маховиком, определяют по известным формулам.

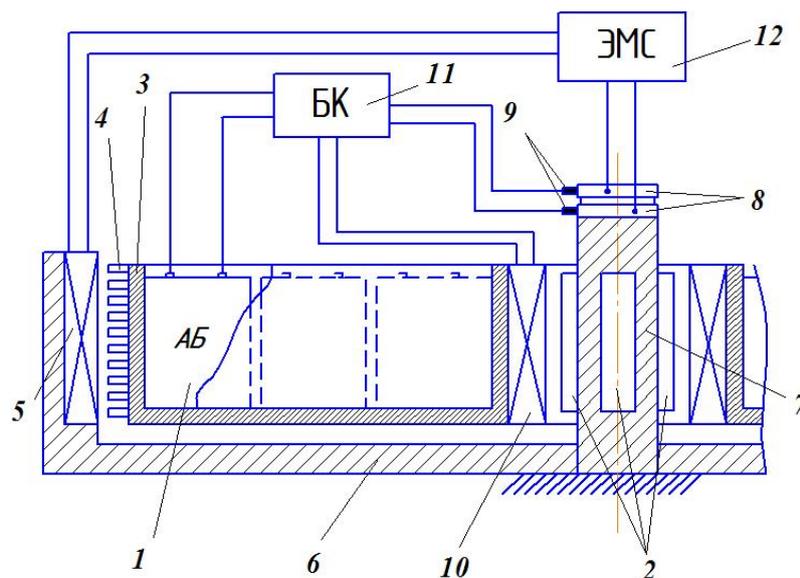


Рис. 1. Химико-кинетический накопитель энергии

Химико-кинетический накопитель имеет более широкие функциональные возможности по сравнению с отдельно взятыми маховиком и аккумуляторной батареей. В электромеханическую систему 12 энергия может подаваться или от аккумуляторных батарей 1, или от статорных обмоток 10 бесколлекторного генератора после преобразования кинетической энергии маховика 3 в электрическую, или одновременно от химического и кинетического накопителей энергии. Запасы энергии аккумуляторных батарей 1 могут пополняться или от электромеханической системы 12 или от статорных обмоток 10 бесколлекторного генератора, используя кинетическую энергию маховика 3.

В химико-кинетическом накопителе энергии отсутствуют муфта и редуктор, что приводит к уменьшению массы и габаритов накопителя. Массы магнитных колец 4 гистерезисного двигателя и статорные обмотки 10 бесколлекторного генератора вращаются вместе с маховиком 3 и тем самым вносят вклад в кинетический накопитель энергии.

Гистерезисный электродвигатель предназначен для разгона маховика и пополнения его кинетической энергии после её использования. За счет расположения магнитных колец гистерезисного двигателя на периферии маховика требуется значительно меньшее значение электромагнитной силы за счёт большого плеча действия этой силы, кроме того, при отсутствии напряжения на статорных обмотках такой двигатель не создаёт тормозящий момент.

Бесколлекторный генератор работает постоянно, через щёточно-контактный аппарат и блок коммутации пополняет запасы электрической энергии аккумуляторной батареи или отдаёт энергию в электромеханическую систему.

На рис. 2 аккумуляторные батареи (АБ) выполнены в виде секторов с однорядным расположением в маховике. На рис. 3 аккумуляторные батареи выполнены в виде колец и расположены в два ряда.

На рис. 4 аккумуляторы выполнены в виде секторов и расположены в три ряда. Данная конструкция предназначена для работы на больших скоростях вращения. При таких условиях необходимо учитывать центробежную силу. Для этого проведено численное исследование напряженно-деформированного состояния элементов конструкции маховика под действием центробежной силы в пакете конечно-элементного анализа SolidWorks Simulation. Созданная трехмерная геометрическая модель представлена на рис. 5. Конечно-элементная модель с расчетной схемой нагружения и результаты расчета (эпюра эквивалентных напряжений, эпюра перемещений, эпюра линейной деформации) представлены на рис. 6 и 7 соответственно.

Модель подобной конструкции была создана и испытана при числе оборотов 3000 об/мин. Электрическое напряжение литий-ионных аккумуляторных батарей при испытаниях увеличилось на 2–5 %, целостность корпуса батарей не нарушалась. Использование кинетической энергии вращающихся АБ по ориентировочным расчётам позволит сократить массу накопителей энергии на 5–7 %.

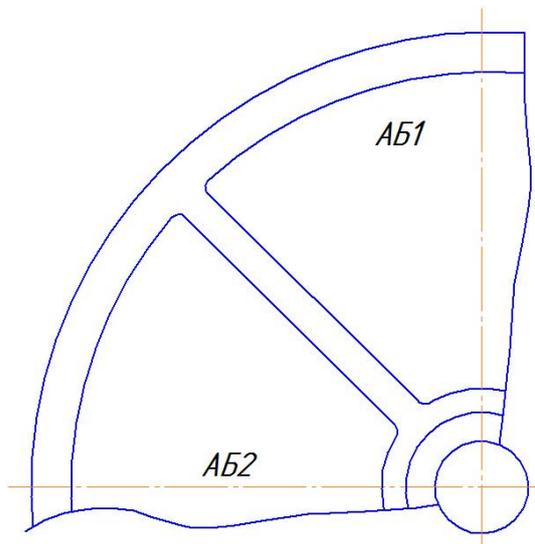


Рис. 2. АБ в виде секторов

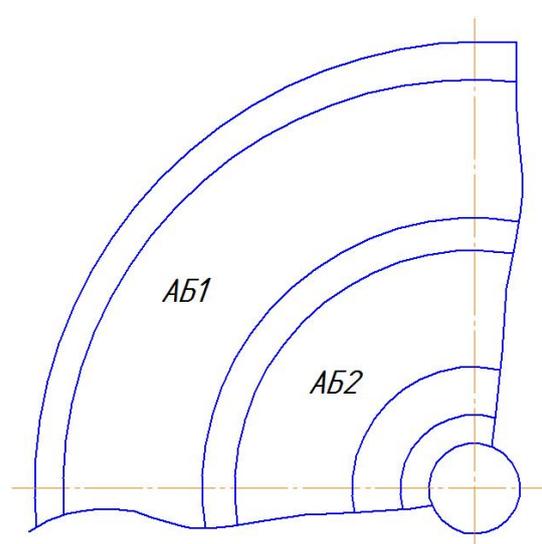


Рис. 3. АБ в виде колец в два ряда

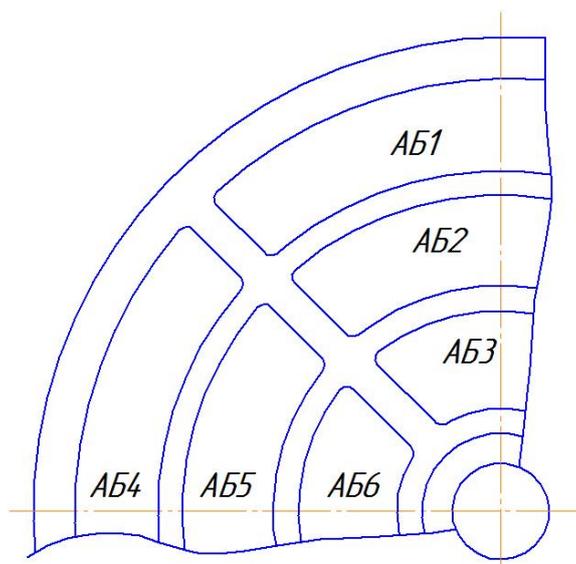


Рис. 4. АБ в виде секторов в три ряда

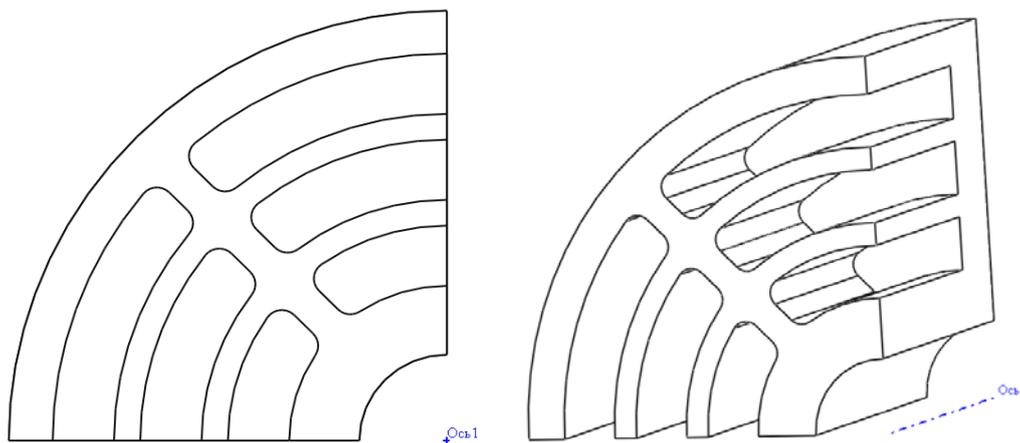


Рис. 5. Трехмерная геометрическая модель маховика

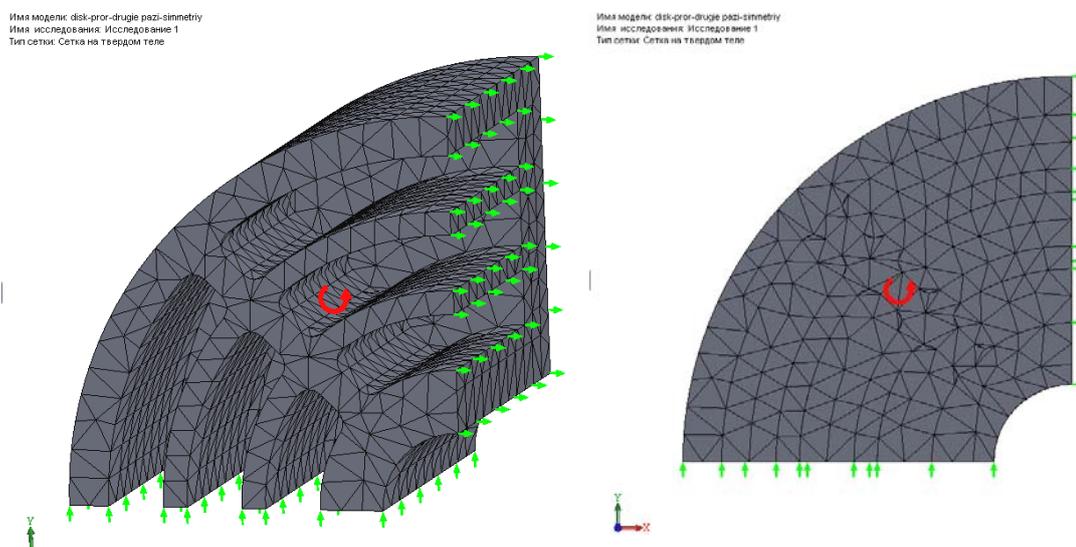
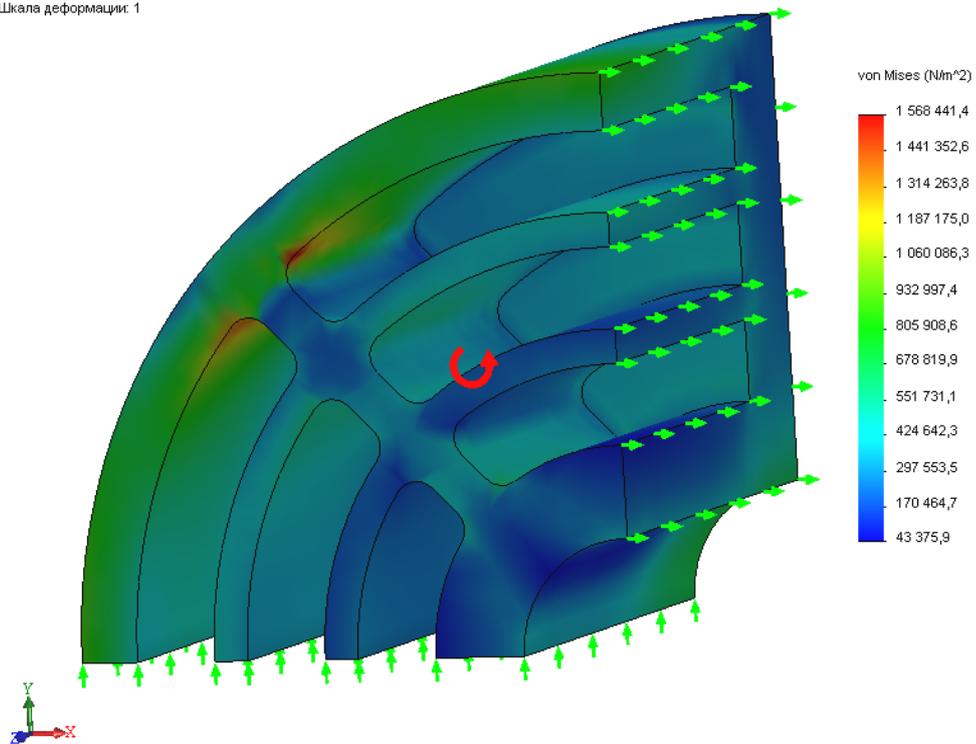


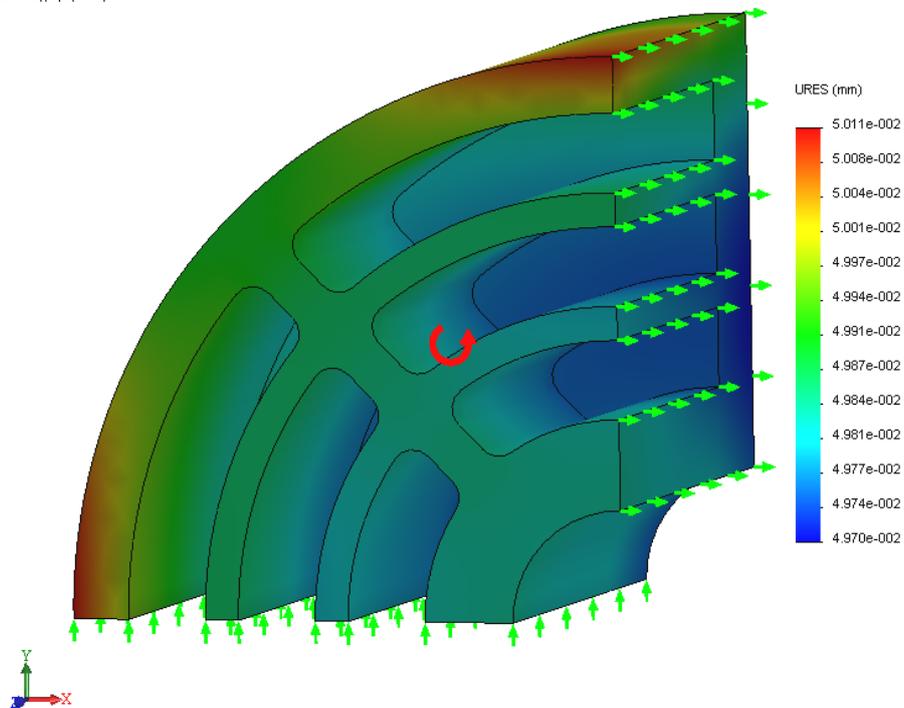
Рис. 6. Конечно-элементная модель маховика

Имя модели: disk-pror-dругие pazi-simmetriy
 Имя исследования: Исследование 1
 Тип эпоры: Статический узловое напряжение Напряжение1
 Шкала деформации: 1



a

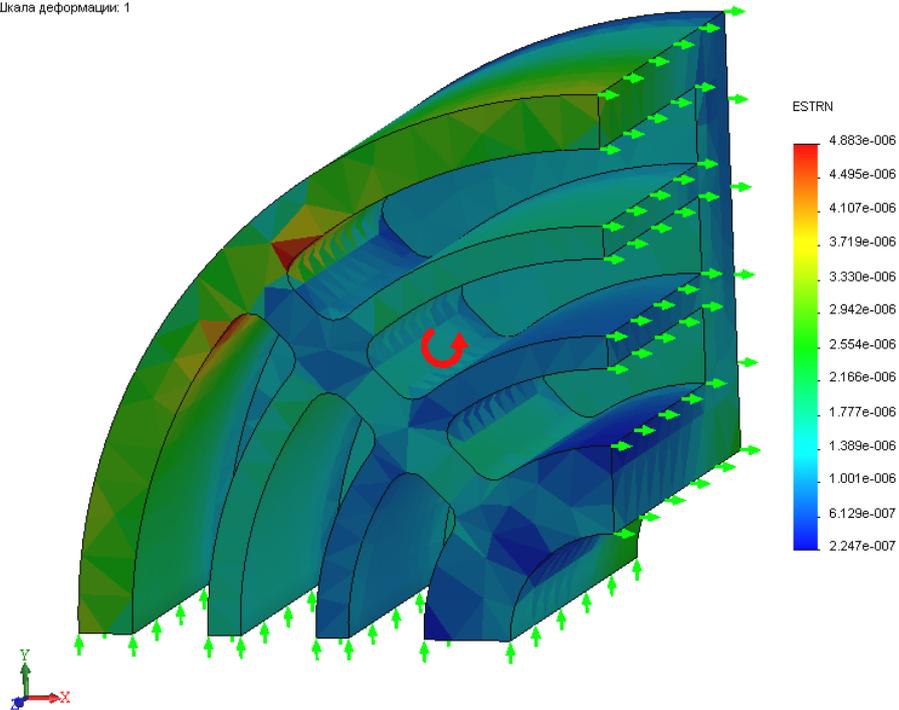
Имя модели: disk-pror-dругие pazi-simmetriy
 Имя исследования: Исследование 1
 Тип эпоры: Статическое перемещение Перемещение1
 Шкала деформации: 1



б

Рис. 7. Результаты расчета маховика: *a* – эюра эквивалентных напряжений; *б* – эюра перемещений; *в* – эюра линейных деформаций (начало)

Имя модели: disk-pror-drugie razl-simmetry
 Имя исследования: Исследование 1
 Тип элюры: Статическая деформация Деформация1
 Шкала деформации: 1



6

Рис. 7. (Окончание)

Библиографические ссылки

1. Хрусталёв Д. А. Аккумуляторы. М. : Изумруд, 2003. 224 с.
2. Гулия Н. В. Накопители энергии. М. : Наука, 1980. С. 68–70.
3. А. с. 544049 SU, МПК 7 Н 02 К 7/02. Электромаховичный аккумулятор / Н. В. Гулия. № 2082809/07 ; заявл. 11.12.74; опубл. 25.01.77, Бюл. № 3. 3 с.
4. Пат. 2246034 RU, МПК⁷ F 03 G 3/08. Маховичный накопитель / Гулия Н. В.. № 2003123507/06 ; заявл. 05.01.2001 ; опубл. 10.02.2005, Бюл. № 4. 8 с.
5. Пат. 2074475 RU, МПК⁷ Н 02 J 15/00. Ёмкостно-кинетический накопитель электроэнергии / Поляшов Л. И., Иванов А. М., Герасимов А. Ф. № 94028981/07 ; заявл. 01.08.1994 ; опубл. 27.02.1997.

References

1. Hrustal'jov D. A. *Akkumuljatory* [Batteries]. Moscow, Izumrud Publ., 2003, 224 p.
2. Gulia N. V. *Nakopiteli energii* [Energy storage]. Moscow, Nauka Publ., 1980, p. 68–70.
3. Gulia N. V. *Elektromahovichnyj akkumuljator* [Elektromahovichnogo battery]. Patent RF, no. 544049, 1977.
4. Gulia N. V. *Mahovichnyj nakopitel'* [Flywheel storage]. Patent RF, no. 2246034, 2001.
5. Poljashov L. I., Ivanov A. M., Gerasimov A. F. *Jomkostno-kineticheskij nakopitel' elektroenergii* [Capacitive-kinetic power storage]. Patent RF, no. 2074475, 1997.

© Надараица Ц. Г., Бабкина Л. А.,
 Шестаков И. Я., Фадеев А. А., 2014