

УДК 621.313.33 - 181.4.06

UDC 621.313.33 - 181.4.06

05.00.00 Технические науки

Technical sciences

**РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА РАСЧЕТА  
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПАРАМЕТРОВ  
СТАТОРА КОМПОНЕНТА УПРАВЛЯЕМОГО  
АСИНХРОННОГО КАСКАДНОГО  
ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРИВОДА**

**DEVELOPMENT OF THE ALGORITHM OF  
CALCULATION OF ELECTROMAGNETIC  
PARAMETERS OF THE STATOR OF THE  
COMPONENT OF A CONTROLLED  
ASYNCHRONOUS CASCADE ELECTRIC  
DRIVE**

Карандей Владимир Юрьевич  
к.т.н., доцент  
[kvy1983@mail.ru](mailto:kvy1983@mail.ru)  
РИНЦ SPIN-код: 5078-5042

Karandey Vladimir Yurievich  
Cand.Tech.Sci., Associate Professor  
[kvy1983@mail.ru](mailto:kvy1983@mail.ru)  
RSCI SPIN-code: 5078-5042

Карандей Юрий Юрьевич

Karandey Yuriy Yurievich

Афанасьев Виктор Леонидович  
Студент  
[buguvix@mail.ru](mailto:buguvix@mail.ru)

Afanasyev Viktor Leonidovich  
Student  
[buguvix@mail.ru](mailto:buguvix@mail.ru)

Абанин Филипп Сергеевич  
Студент

Abanin Philip Sergeevich  
Student

Кишко Владислав Николаевич  
Студент

Kvochkin Vladislav Vladimirovich  
Student

Квочкин Владислав Владимирович  
Студент  
*Кубанский государственный  
технологический университет, Краснодар,  
Россия*

Kishko Vladislav Nikolaevich  
Student  
*Kuban State Technical University, Krasnodar,  
Russia*

Представлен алгоритм программы для расчета распределения потока обмотки статора компонента управляемого асинхронного каскадного электрического привода. Для описания алгоритма выбираем двухслойную обмотку на двадцать четыре паза. Этот алгоритм рассчитан на получение картины распределения потока обмотки и, соответственно, получение графического изображения. Алгоритм построен на ряде принципов и видов расчета. На принципе задания конструкции обмотки, для возможности использования этого принципа для дальнейшего расчета. На процедуре расчета картины распределения магнитного поля в зазоре компонента управляемого асинхронного каскадного электрического привода, соответственно операции по его построению. На получении псевдоанимации, показывающей картину изменения поля в пространстве при повороте трехфазной системы токов с течением времени

The article presents the algorithm of the program for calculation of distribution of a stream of the winding of the stator of a component of the operated asynchronous cascade electric drive. For the description of the algorithm we have chosen a two-layer winding on twenty four grooves. This algorithm is calculated on receiving a picture of distribution of the stream of the winding and, respectively, receiving a graphic representation. The algorithm is constructed on a number of the principles and types of calculation. On the principle of the task of the design of the winding, for a possibility of using this principle for further calculation. On the procedure of calculation of a picture of distribution of a magnetic field in a gap of a component of the operated asynchronous cascade electric drive, according to operation on his construction. On receiving the pseudo-animation showing a picture of change of the field in space at turn of three-phase system of currents eventually

Ключевые слова: ГИБРИДНАЯ СИСТЕМА, ВЕКТОРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ, УПРАВЛЯЕМЫЙ АСИНХРОННЫЙ КАСКАДНЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД, ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ МОМЕНТ, ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ,

Keywords: HYBRID SYSTEM, VECTOR MANAGEMENT, OPERATED ASYNCHRONOUS CASCADE ELECTRIC DRIVE, ELECTROMAGNETIC MOMENT, ELECTROMECHANICAL TRANSFORMATION OF ENERGY, ELECTROMAGNETIC SYSTEM,

## **1 Введение. Общие положения.**

В статье представлен алгоритм расчета электромагнитных параметров статора компонента управляемого асинхронного каскадного электрического привода [1-4] от распределения потока обмотки статора асинхронного двигателя. Для описания алгоритма выбираем двухслойную обмотку на двадцать четыре паза [5]. Этот алгоритм рассчитан на получение картины распределения потока обмотки и, соответственно, получение графического изображения.

Наш алгоритм построен на ряде принципов и видов расчета. На принципе задания конструкции обмотки, для возможности использования этого принципа для дальнейшего расчета. На процедуре расчета картины распределения магнитного поля в зазоре рассматриваемого устройства, соответственно операции по его построению. На получении псевдоанимации, показывающей картину изменения поля в пространстве при повороте трехфазной системы токов с течением времени.

Одной из важнейших частей алгоритма является принцип задания конструкции обмотки. Обмотка описывается в виде переменной. Переменная представляет собой описание обмотки, причем описание происходит отдельно для фазы А, В и С. Каждая фаза задается в виде массива, где количество строк – число катушечных групп, а количество столбцов – число зубцов. Матрица заполняется тремя значениями, а именно: либо минус единица, либо ноль, либо единица. Это зависит от того, какое значение имеет магнитный поток на участке статора, занимаемой одной катушечной группой, и создаваемый этой же катушечной группой. Это значение или отрицательное, тогда ставим минус единицу, или положительное, тогда ставим единицу. Если этот магнитный поток не действует на какой-то из участков статора, то ставим ноль.

Чтобы получить целостное изображение, по принципу наложения складываем полученные нами значения магнитного потока от каждой катушечной группы, т.е. складываем полученные матрицы. Получаем мас-

<http://ej.kubagro.ru/2016/06/pdf/41.pdf>

сив, состоящий из одной строки, а столбцов столько, каково число зубцов. Именно он и используется в программе для количественного и качественного описания распределения магнитного поля.

Операция по построению распределения потока начинается с выбора начала координат, их прорисовка, характеристик карандаша и линий, как для осей, так и для самой картины поля. Для удобства визуального определения изменения поля от предыдущего построения, прорисовываем сетку и обозначаем ее. Затем производится вычисление численного значения магнитного потока статора и его графическое отображение на рисунке. Чтобы получить новое изображение, старое необходимо стереть. Это операция происходит за счет прорисовывания заново картины поля, только меняется цвет линии. Вместо красного используем белый цвет. При этом оси и сетка прорисовываются также заново [6].

Программа предусматривает введение с интерфейса значения угла поворота трехфазной системы. В соответствии с заданным вручную, картина поля изменится в пространстве и времени, по сравнению с первоначальной. Но программа также предусматривает получение псевдоанимации. С шагом полтора градуса можно проследить изменений картины поля, не вводя значение угла поворота и не стирая полученную картинку. При этом также выводится максимальное численное значение потока.

Алгоритм представлен в виде блок-схемы. Сама блок-схема состоит из нескольких частей. Во-первых, описание каркаса программы. Это задание глобальных переменных в секции “implementation”, затем описание используемых программой функций и численное описание переменных в секции инициализации (Рисунок 1).

Во-вторых, блок-схема вывода на экран вспомогательных изображений, а именно: системы координат, сетки и их характеристик (Рисунок 2).

В-третьих, алгоритм, используемый при нажатии на каждую кнопку программы. Это блок-схемы для прорисовывания графика (Рисунок 3), стирание появившегося изображения (Рисунок 4) и получение псевдоанимации (Рисунок 5). Алгоритм для кнопки “Закреть” описывать не будем, ввиду его простоты.

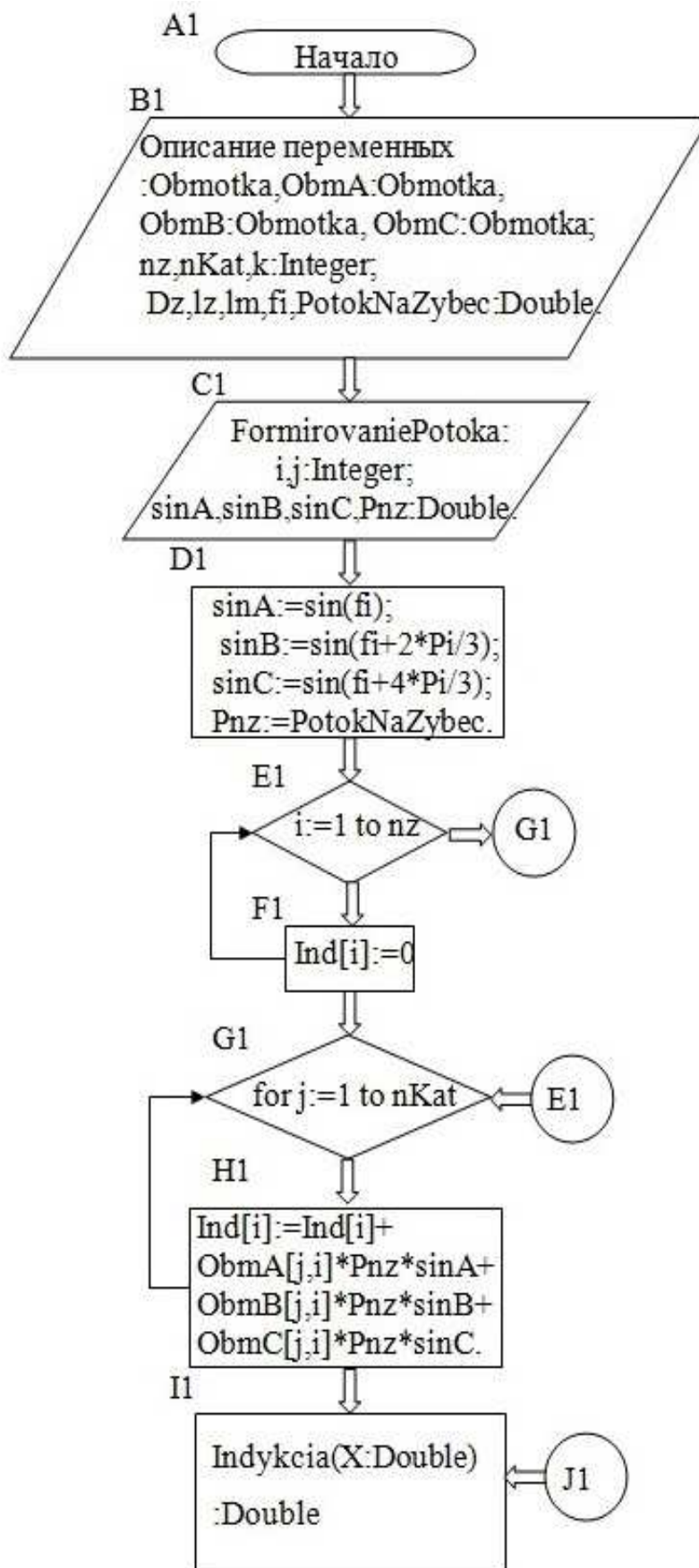
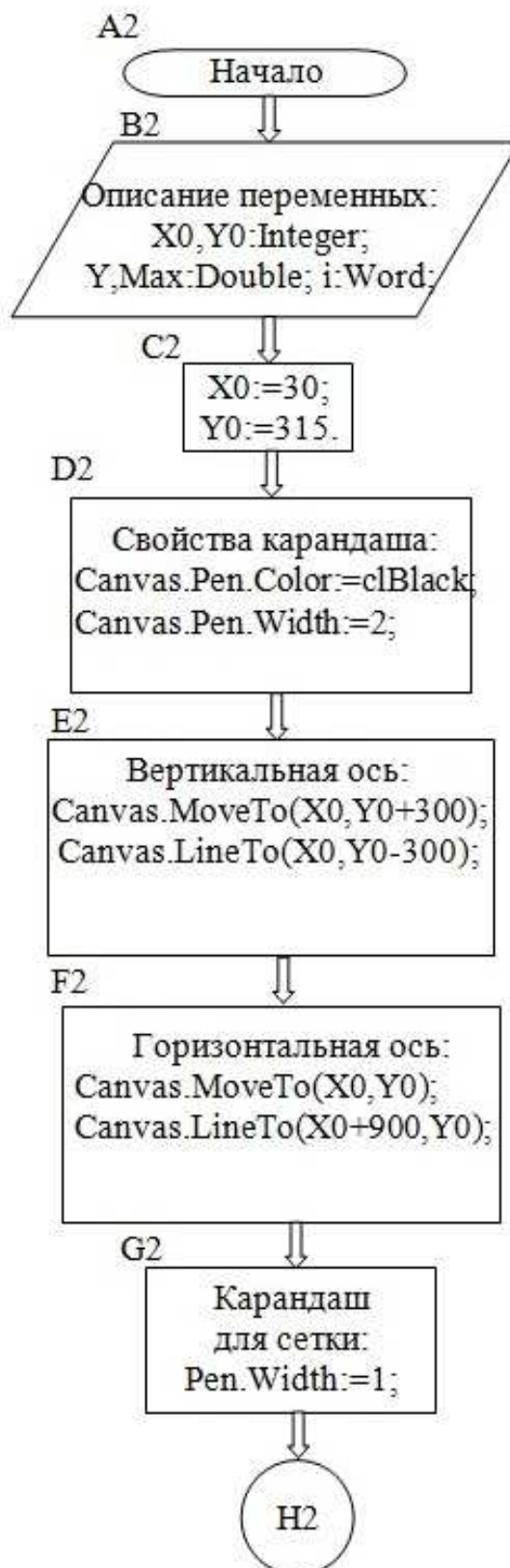
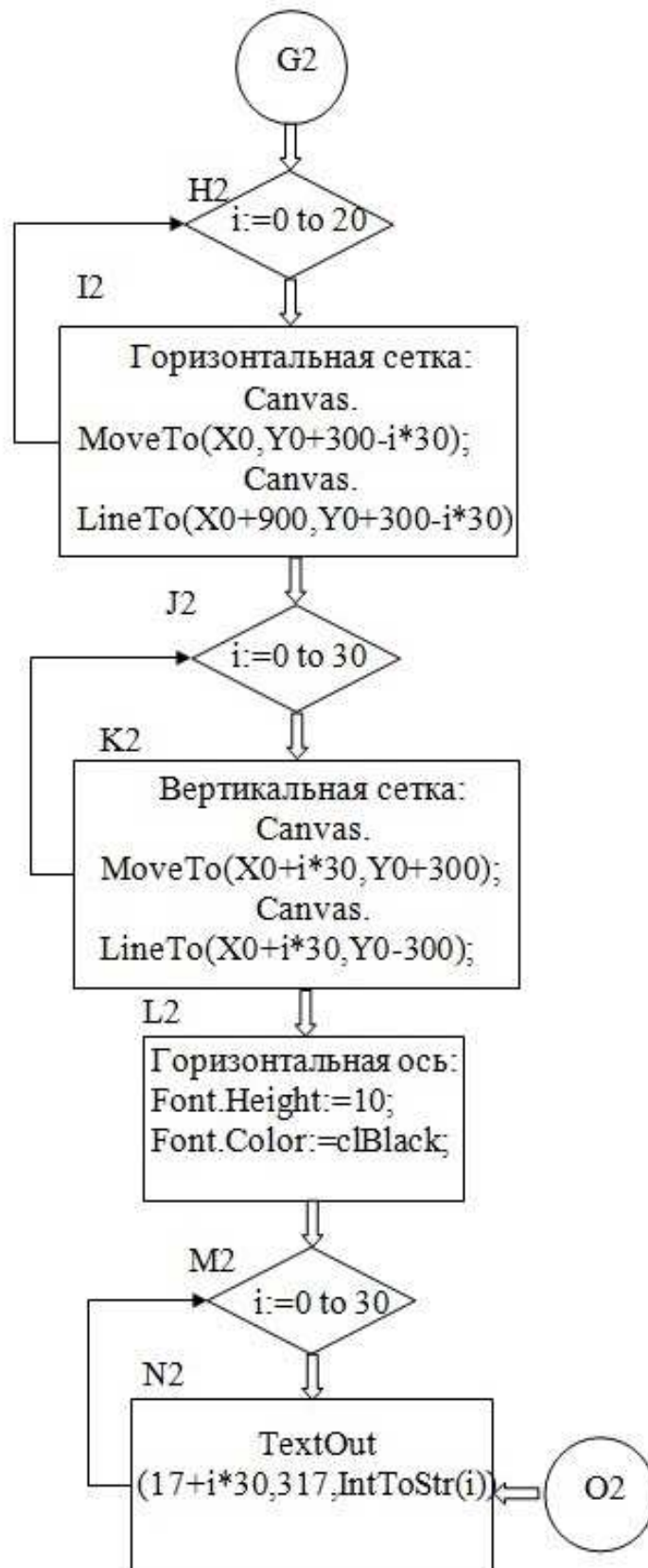




Рисунок 1 – Блок-схема каркаса программы.





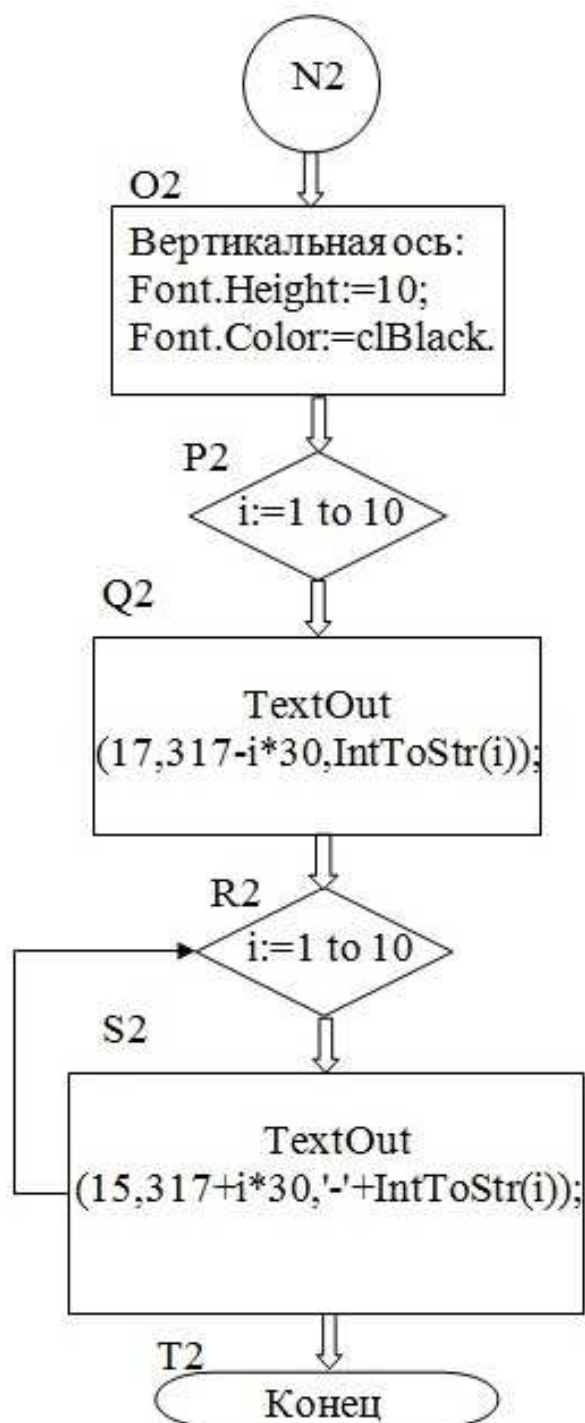
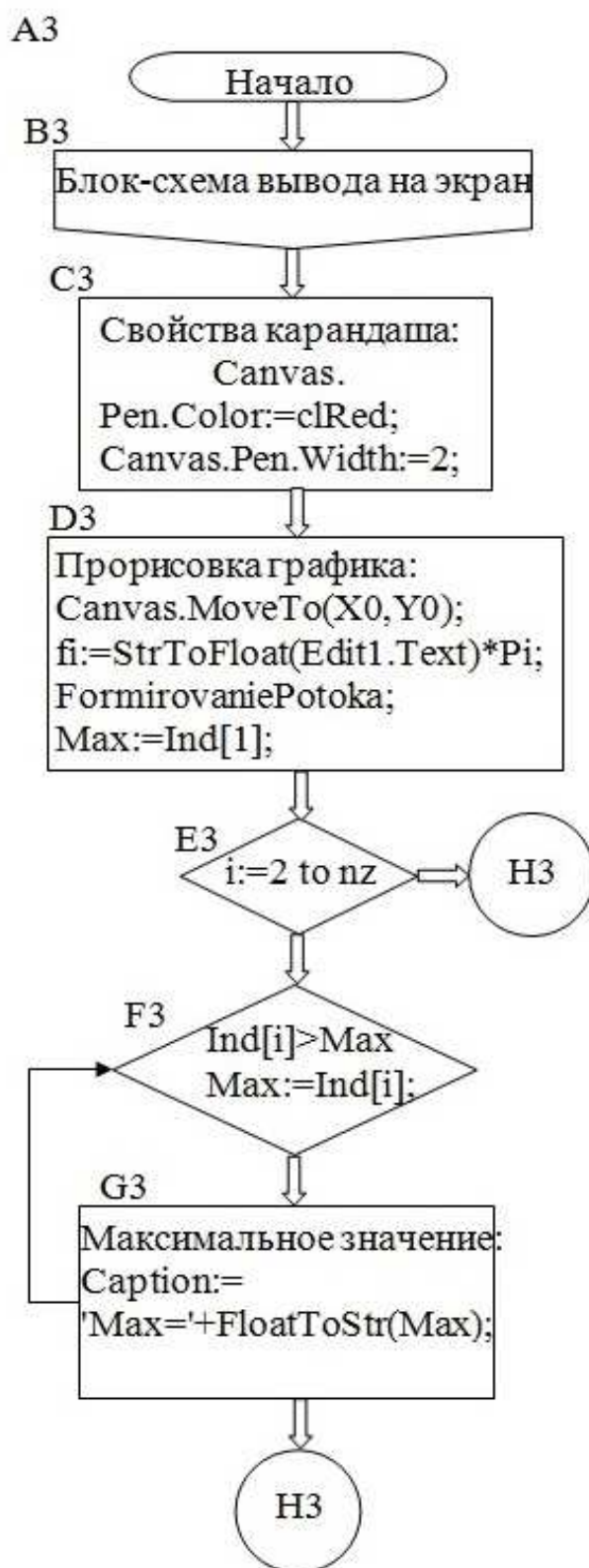


Рисунок 2 – Блок-схема вывода на экран.





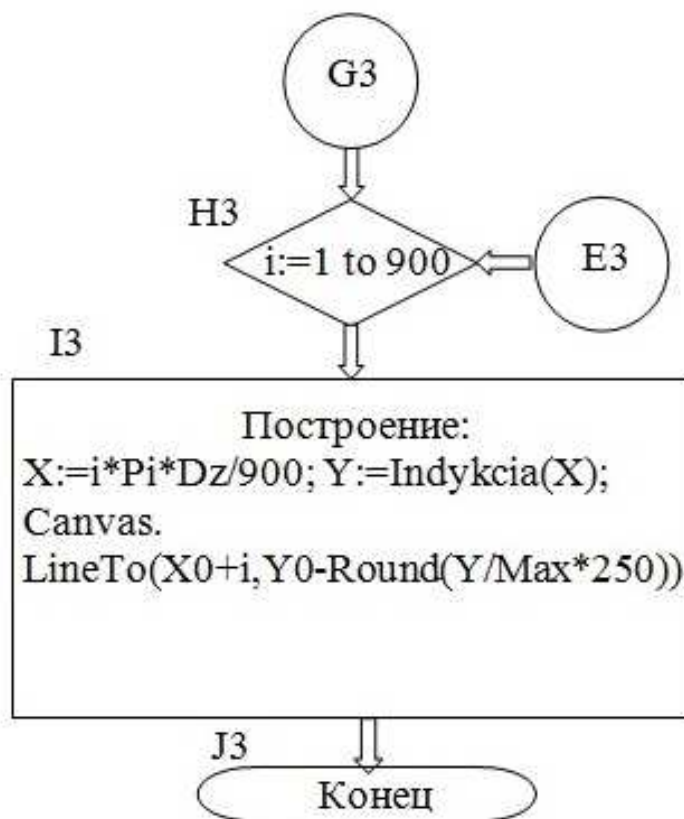
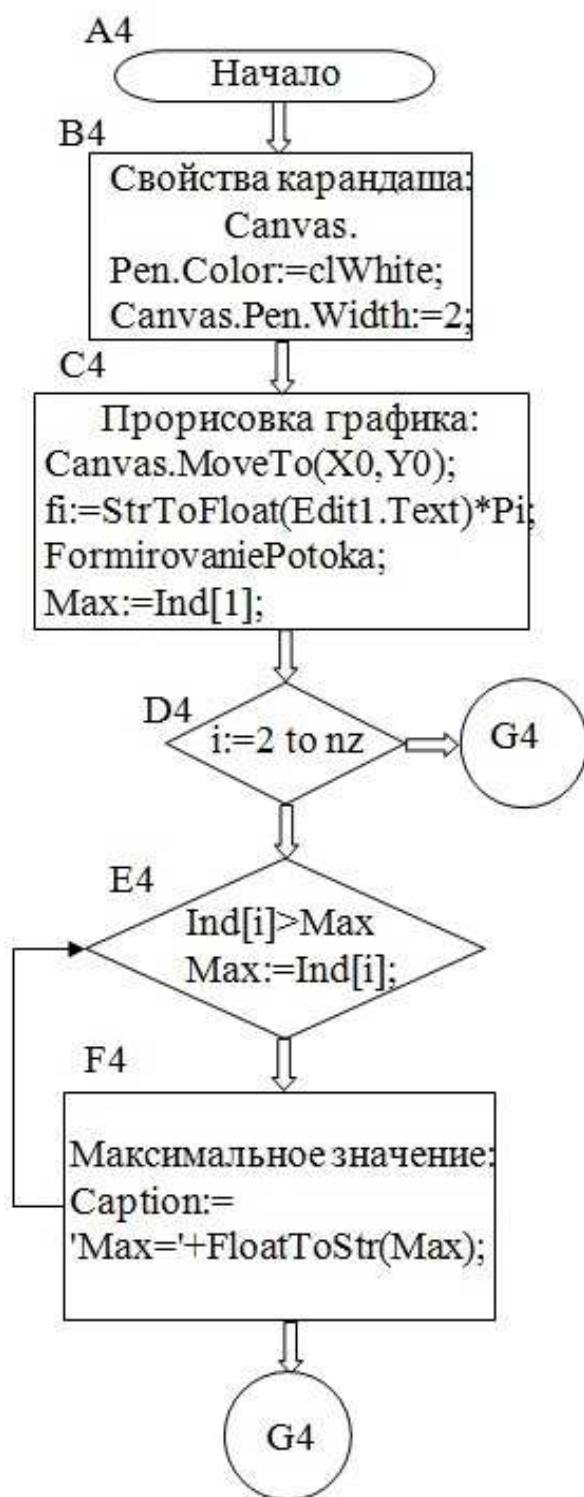


Рисунок 3 – Блок-схема для кнопки “Операция



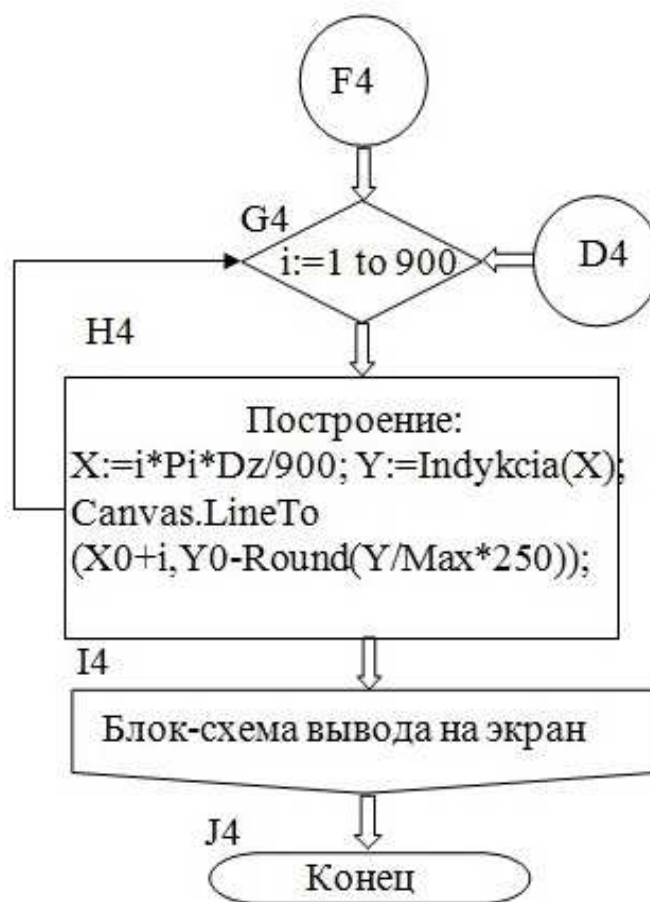
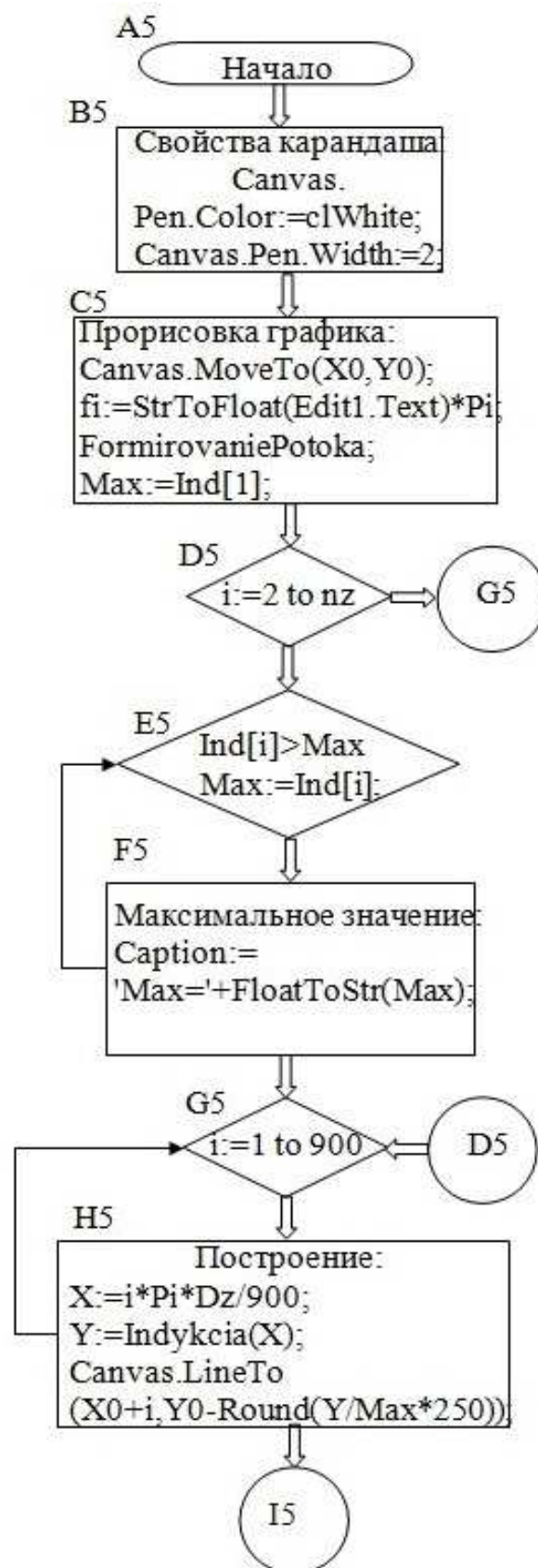
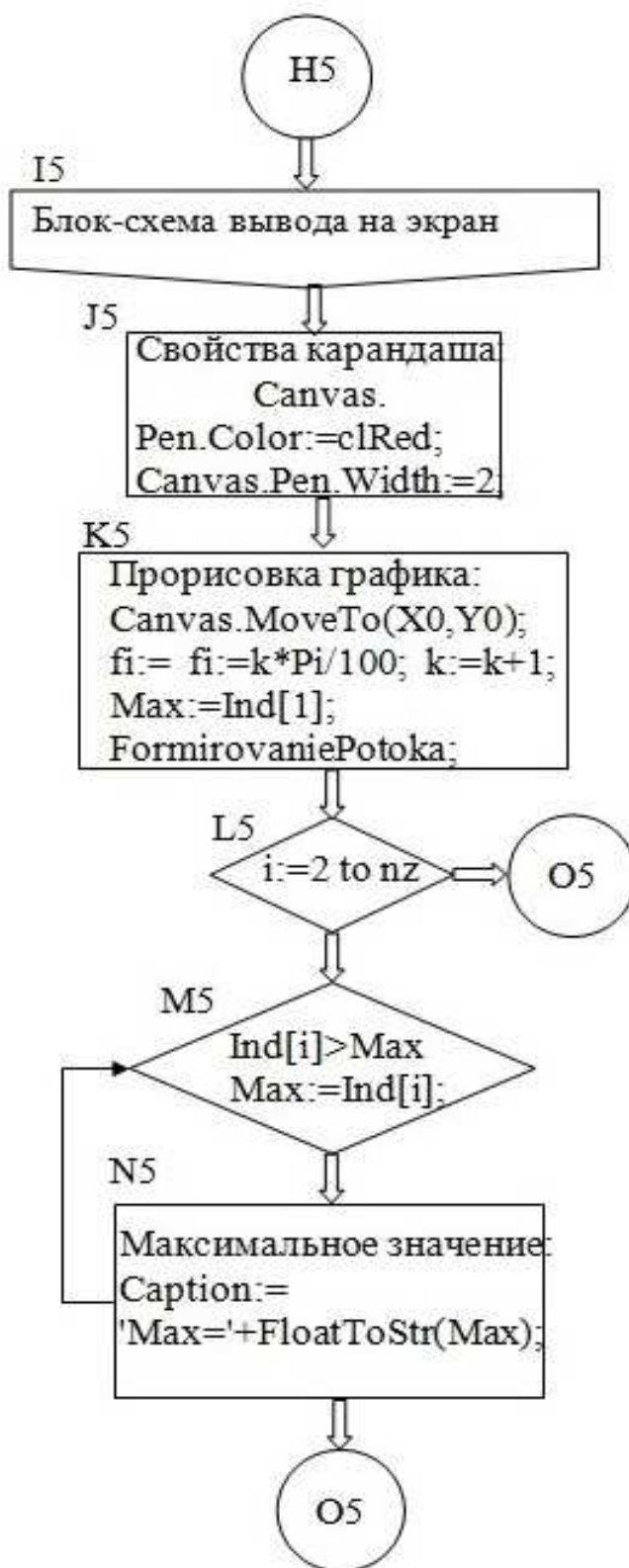


Рисунок 4 – Блок-схема для кнопки “Стереть”.





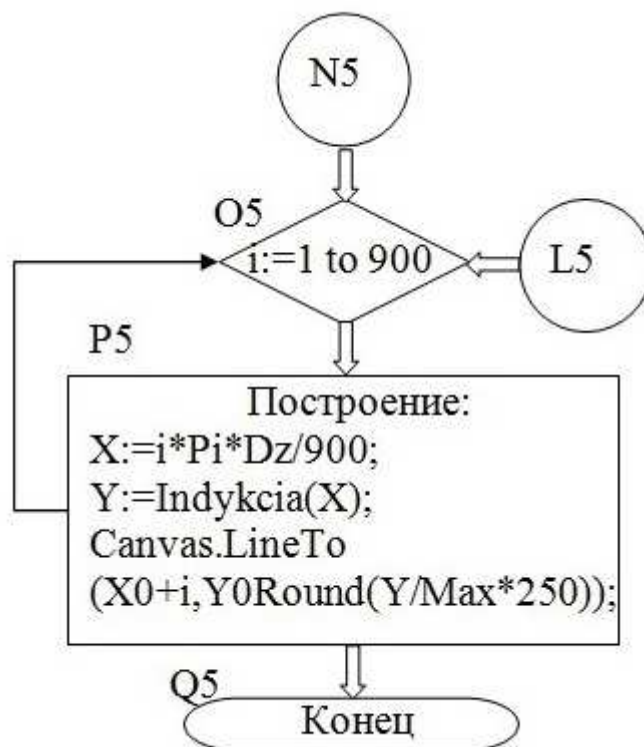


Рисунок 5 – Блок-схема для кнопки “Анимация”.

По предложенному алгоритму были реализованы различные типа программ в среде программирования Delphi [7-23], которые позволяют исследовать электромагнитные параметры статора компонента управляемого асинхронного каскадного электрического привода и изучить изменение параметров в процессе работы исследуемого устройства.

Дальнейшим шагом в исследовании является составление алгоритмов и программ расчета с учетом новых разработок в области системы оптимального выбора знаний [24-26].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Карандей В.Ю. Управляемый каскадный электрический привод / В.Ю. Карандей, Б.К. Попов // Патент на изобретение № 2402857 зарегистрировано 27.10.2010 г.
  2. Карандей В.Ю. Управляемый каскадный электрический привод с жидкостным токосъемом / В.Ю. Карандей, Б.К. Попов // Патент на изобретение № 2461947 зарегистрировано 20.09.2012 г.
  3. Карандей В.Ю. Аксиальный каскадный электрический привод с жидкостным токосъемом / В.Ю. Карандей, Б.К. Попов, О.Б. Попова // Патент на изобретение № 2483415 зарегистрировано 11.03.2013 г.
  4. Карандей В.Ю. Математическое моделирование каскадных асинхронных электроприводов: в 3 т.: монография. ФГБОУ ВПО «КубГТУ». – Краснодар: Издательский Дом – Юг. Т. 1: Математическое моделирование магнитных систем электропривода. – 2014. – 142 с., ISBN 978-5-91718-345-9 (Т. 1), ISBN 978-5-91718-344-2
  5. Вольдек А.И. Электрические машины. - М.; Л.: Энергия, 1996. - 782 с.
- <http://ej.kubagro.ru/2016/06/pdf/41.pdf>

6. А. Епанешников, В. Епанешников ч.2 Язык Object Pascal 9.0 стер.- М.: “ДИАЛОГ-МИФИ”, 1996.-320 с.

7. Карандей В.Ю. Программа для расчёта магнитной системы статора методом магнитных цепей / Попов Б.К., Попова О.Б., Карандей В.Ю. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2006610548 от 08 февраля 2006 г.

8. Карандей В.Ю. Программа для расчёта магнитной системы ротора методом магнитных цепей / Попов Б.К., Карандей В.Ю. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2008614047 от 25 августа 2008 г.

9. Карандей В.Ю. Программа для расчёта токов статора и ротора в каскадном электрическом приводе / Попов Б.К., Карандей В.Ю. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2008614048 от 25 августа 2008 г.

10. Карандей В.Ю. Программа расчета магнитной системы статора асинхронного двигателя / Попов Б.К., Карандей В.Ю. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2010615508 от 27 августа 2010 г.

11. Карандей В.Ю. Программа расчета параметров асинхронного двигателя / Попов Б.К., Карандей В.Ю. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2010615509 от 27 августа 2010 г.

12. Карандей В.Ю. Программа расчёта электромагнитных параметров статора каскадного электрического привода / Попов Б.К., Карандей В.Ю. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2011616557 от 23 августа 2011 г.

13. Карандей В.Ю. Программа анимационного расчёта магнитного поля статора асинхронного электропривода / Попов Б.К., Карандей В.Ю. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2011616559 от 23 августа 2011 г.

14. Карандей В.Ю. Программа расчёта и анимационного построения магнитного поля статора асинхронного каскадного электропривода / Попов Б.К., Карандей В.Ю. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2011616560 от 23 августа 2011 г.

15. Карандей В.Ю. Программа расчета запасенной энергии в каскадном электрическом приводе / Попов Б.К., Карандей В.Ю. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2012613329 от 09 апреля 2012 г.

16. Карандей В.Ю. Программа расчета электромагнитных параметров ротора каскадного электрического привода / Попов Б.К., Карандей В.Ю. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2012613330 от 09 апреля 2012 г.

17. Карандей В.Ю. Программа расчета и изменяющего по скорости и времени построения магнитного поля статора асинхронного электропривода / Попов Б.К., Карандей В.Ю. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2012613331 от 09 апреля 2012 г.

18. Карандей В.Ю. Программа итерационного расчета электрических параметров компонента каскадного электрического привода с определением относительной ошибки. / Попов Б.К., Карандей В.Ю. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2013616459 от 09 июля 2013 г.

19. Карандей В.Ю. Программа расчета энергетических параметров каскадного электрического привода / Попов Б.К., Карандей В.Ю. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2013616526 от 10 июля 2013 г.

20. Карандей В.Ю. Программа расчета токов статора и ротора компонента каскадного электрического привода / Попов Б.К., Карандей В.Ю. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2013616525 от 10 июля 2013 г.

21. Карандей В.Ю. Программа расчета параметров и анимационного построения потокораспределения компонента асинхронного каскадного электропривода / Карандей В.Ю., Базык А.В., Афанасьев В.Л. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2015615828 от 25 мая 2015 г.



22. Карандей В.Ю. Программа расчета параметров и самоанимационного построения потокораспределения компонента асинхронного каскадного электропривода / Карандей В.Ю., Карандей Ю.Ю., Базык А.В. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2015615826 от 25 мая 2015 г.

23. Карандей В.Ю. Программа задания конструктивных параметров компонента асинхронного каскадного электропривода, статорной обмотки и визуального построения полученного потока распределения / Карандей В.Ю. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2015615827 от 25 мая 2015 г.

24. Karandey V. Yu. Intelligence amplification in distance learning through the binary tree of question-answer system / Karandey, V.Yu., Popova, O.B., Popov, B.K. // Procedia-social and behavioral science. Том: 214, год 2015, стр. 711-719.

25. Karandey V. Yu. Intelligence amplification via language of choice description as a mathematical object (binary tree of question-answer system) / Karandey, V.Yu., Popova, O.B., Popov, B.K., Evseeva, M.A. // Procedia-social and behavioral science. Том: 214, год 2015, стр. 897-905.

26. Karandey V. Yu. New Methods and Evaluation Criteria of Research Efficiency / Popova, O.B., Popov, B.K., Karandey, V.Yu., Romanov, D.A., Kobzeva, S.A. & Evseeva, M.A. (2015) // Mediterranean journal of social sciences, Vol 6, No 6 S5, pp. 212-217.

#### References

1. Karandey V.Ju. Upravljaemyj kaskadnyj jelektricheskiy privod / V.Ju. Karandey, B.K. Popov // Patent na izobrenenie № 2402857 zaregistrirovano 27.10.2010 g.
2. Karandey V.Ju. Upravljaemyj kaskadnyj jelektricheskiy privod s zhidkostnym tokos#emom / V.Ju. Karandey, B.K. Popov // Patent na izobrenenie № 2461947 zaregistrirovano 20.09.2012 g.
3. Karandey V.Ju. Aksial'nyj kaskadnyj jelektricheskiy privod s zhidkostnym tokos#emom / V.Ju. Karandey, B.K. Popov, O.B. Popova // Patent na izobrenenie № 2483415 zaregistrirovano 11.03.2013 g.
4. Karandey V.Ju. Matematicheskoe modelirovanie kaskadnyh asinhronnyh jelektricheskikh privodov: v 3 t.: monografija. FGBOU VPO «KubGTU». – Krasnodar: Izdatel'skiy Dom – Jug. T. 1: Matematicheskoe modelirovanie magnitnyh sistem jelektricheskogo privoda. – 2014. – 142 s., ISBN 978-5-91718-345-9 (T. 1), ISBN 978-5-91718-344-2
5. Vol'dek A.I. Jelektricheskie mashiny. - M.; L.: Jenergija, 1996. - 782 s.
6. A. Epaneshnikov, V. Epaneshnikov ch.2 Jazyk Object Pascal 9.0 ster.- M.: "DIALOG-MIFI", 1996.-320 s.
7. Karandey V.Ju. Programma dlja raschjota magnitnoj sistemy statora metodom magnitnyh cepej / Popov B.K., Popova O.B., Karandey V.Ju. Svidetel'stvo ob oficial'noj registracii programmy dlja JeVM №2006610548 ot 08 fevralja 2006 g.
8. Karandey V.Ju. Programma dlja raschjota magnitnoj sistemy rotora metodom magnitnyh cepej / Popov B.K., Karandey V.Ju. Svidetel'stvo ob oficial'noj registracii programmy dlja JeVM №2008614047 ot 25 avgusta 2008 g.
9. Karandey V.Ju. Programma dlja raschjota tokov statora i rotora v kaskadnom jelektricheskim privode / Popov B.K., Karandey V.Ju. Svidetel'stvo ob oficial'noj registracii programmy dlja JeVM №2008614048 ot 25 avgusta 2008 g.
10. Karandey V.Ju. Programma rascheta magnitnoj sistemy statora asinhronnogo dvigatelja / Popov B.K., Karandey V.Ju. Svidetel'stvo ob oficial'noj registracii programmy dlja JeVM №2010615508 ot 27 avgusta 2010 g.

11. Karandey V.Ju. Programma rascheta parametrov asinhronnogo dvigatelja / Popov B.K., Karandey V.Ju. Svidetel'stvo ob oficial'noj registracii programmy dlja JeVM №2010615509 ot 27 avgusta 2010 g .
12. Karandey V.Ju. Programma raschjota jelektromagnitnyh parametrov statora kaskadnogo jelektricheskogo privoda / Popov B.K., Karandey V.Ju. Svidetel'stvo ob oficial'noj registracii programmy dlja JeVM №2011616557 ot 23 avgusta 2011 g .
13. Karandey V.Ju. Programma animacionnogo raschjota magnitnogo polja statora asinhronnogo jelektroprivoda / Popov B.K., Karandey V.Ju. Svidetel'stvo ob ofici-al'noj registracii programmy dlja JeVM №2011616559 ot 23 avgusta 2011 g .
14. Karandey V.Ju. Programma raschjota i animacionnogo postroenija magnitnogo polja statora asinhronnogo kaskadnogo jelektroprivoda / Popov B.K., Karandey V.Ju. Svidetel'stvo ob oficial'noj registracii programmy dlja JeVM №2011616560 ot 23 avgusta 2011 g .
15. Karandey V.Ju. Programma rascheta zapasnoj jenergii v kaskadnom jelektricheskom privode / Popov B.K., Karandey V.Ju. Svidetel'stvo ob oficial'noj registracii programmy dlja JeVM №2012613329 ot 09 aprelja 2012 g .
16. Karandey V.Ju. Programma rascheta jelektromagnitnyh parametrov rotora kaskadnogo jelektricheskogo privoda / Popov B.K., Karandey V.Ju. Svidetel'stvo ob oficial'noj registracii programmy dlja JeVM №2012613330 ot 09 aprelja 2012 g .
17. Karandey V.Ju. Programma rascheta i izmenjajushhego po skorosti i vremeni postroenija magnitnogo polja statora asinhronnogo jelektroprivoda / Popov B.K., Karandey V.Ju. Svidetel'stvo ob oficial'noj registracii programmy dlja JeVM №2012613331 ot 09 aprelja 2012 g .
18. Karandey V.Ju. Programma iteracionnogo rascheta jelektricheskikh parametrov komponenta kaskadnogo jelektricheskogo privoda s opredeleniem odnositel'noj oshibki. / Popov B.K., Karandey V.Ju. Svidetel'stvo ob oficial'noj registracii programmy dlja JeVM №2013616459 ot 09 ijulja 2013 g .
19. Karandey V.Ju. Programma rascheta jenergeticheskikh parametrov kaskadnogo jelektricheskogo privoda / Popov B.K., Karandey V.Ju. Svidetel'stvo ob oficial'noj registracii programmy dlja JeVM №2013616526 ot 10 ijulja 2013 g .
20. Karandey V.Ju. Programma rascheta tokov statora i rotora komponenta kaskadnogo jelektricheskogo privoda / Popov B.K., Karandey V.Ju. Svidetel'stvo ob ofici-al'noj registracii programmy dlja JeVM №2013616525 ot 10 ijulja 2013 g .
21. Karandey V.Ju. Programma rascheta parametrov i animacionnogo postroenija potokoraspredelenija komponenta asinhronnogo kaskadnogo jelektroprivoda / Karandey V.Ju., Bazyk A.V., Afanas'ev V.L. Svidetel'stvo ob oficial'noj registracii programmy dlja JeVM № 2015615828 ot 25 maja 2015 g .
22. Karandey V.Ju. Programma rascheta parametrov i samoanimacionnogo postroenija potokoraspredelenija komponenta asinhronnogo kaskadnogo jelektroprivoda / Karandey V.Ju., Karandey Ju.Ju., Bazyk A.V. Svidetel'stvo ob oficial'noj registracii programmy dlja JeVM №2015615826 ot 25 maja 2015 g .
23. Karandey V.Ju. Programma zadanija konstruktivnyh parametrov komponenta asinhronnogo kaskadnogo jelektroprivoda, statornoj obmotki i vizual'nogo postroenija poluchennogo potokaspredelenija / Karandey V.Ju. Svidetel'stvo ob ofici-al'noj registracii programmy dlja JeVM №2015615827 ot 25 maja 2015 g .
24. Karandey V. Yu. Intelligence amplification in distance learning through the binary tree of question-answer system / Karandey, V.Yu., Popova, O.B., Popov, B.K // Procedia-social and behavioral science. Tom: 214, god 2015, str. 711-719.
25. Karandey V. Yu. Intelligence amplification via language of choice description as a mathematical object (binary tree of question-answer system) / Karandey, V.Yu., Popova, O.B., Popov, B.K., Evseeva, M.A. // Procedia-social and behavioral science. Tom: 214, god 2015, str. 897-905.

26. Karandei V. Yu. New Methods and Evaluation Criteria of Research Efficiency / Popova, O.B., Popov, B.K., Karandei, V.Yu., Romanov, D.A., Kobzeva, S.A. & Evseeva, M.A. (2015) // Mediterranean journal of social sciences, Vol 6, No 6 S5, pp. 212-217.