

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 62.58

Асланов Г.К., Алимерденов В.Ш., Мусаева У.А., Саркаров Т.Э.

ОПТИМИЗАЦИЯ ВРЕМЕНИ РАЗГОНА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ИЗМЕНЕНИЕМ ВЕЛИЧИНЫ ПИТАЮЩЕГО НАПРЯЖЕНИЯ

Aslanov G. K., Alimerdenov V. Sh., Musayeva U.A., Sarkarov T.E.

MOTOR ACCELERATION TIME OPTIMIZATION BY THE CHANGE OF THE SUPPLY VOLTAGE VALUE

Аннотация. Обосновано, что отклонение напряжения сети от номинального значения, чаще всего, приводит к перегреву обмотки двигателя, что в сильной степени сокращает срок службы изоляции.

Поставлена задача определения изменения времени разгона электродвигателя в зависимости от времени переключения его питающего напряжения. Проведено моделирование работы электродвигателя постоянного тока 2ПН132М в процессе кратковременного изменения напряжения запуска с 380 В до 220 В - являющегося его номинальным значением. Методом прогонки определено оптимальное время переключения напряжения питания для электродвигателя. Приведены математические зависимости и результаты моделирования.

Ключевые слова: электродвигатель, время разгона электродвигателя, метод прогонки, моделирование.

Abstract. It is proved that the deviation of the voltage from the nominal values, often leads to overheating of the motor windings, which reduces the insulation life to a great extent.

The task of determining the change in the acceleration time of the motor depending on the switching time of its supply voltage is set. The modeling of DC motor 2ПН132М operation in the short-run changes in starting voltage from 380 V to 220 V - which is its nominal value-is carried out. By sweep method is determined the optimum time for switching the supply voltage of the motor. Mathematical dependencies and simulation results are presented.

Key words: motor, acceleration time of the motor, sweep method, modeling.

Введение. В системах реального времени требуется обеспечение высокого быстродействия. В таких системах, в качестве исполнительного механизма используются электродвигатели, которые в наибольшей степени определяют регулировочные характеристики, динамические свойства и энергетические показатели системы. Для обеспечения высокого быстродействия необходимо использование более мощных электродвигателей, что кроме финансовых издержек ведет к увеличению массогабаритных характеристик и расхода электроэнергии.

Обычно, электродвигатель считается инерционным звеном, быстродействие которого определяется его постоянной времени.

В соответствии с действующими стандартами допускается отклонение напряжения у потребителей $\pm 7,5\%$. В то же время, напряжение электрических сетей (особенно в сельской местности) колеблется в значительных пределах [2].

При повышенном напряжении сети увеличивается намагничивающий ток двигателя (ток холостого хода), что ведет к перегреву активной стали статора; несколько увеличивается частота вращения; уменьшается роторный ток. Пусковой и максимальный моменты двигателя возрастают.

При значительных повышениях напряжения двигатель на холостом ходу потребляет ток, близкий к номинальному, а под нагрузкой величина статорного тока может быть выше номинального значения. Коэффициент мощности двигателя уменьшается, обмотка статора перегревается за счет теплопередачи от чрезмерно нагретой активной стали и от протекающего по ней тока.

Из сказанного следует, что отклонение напряжения сети от номинального значения, чаще всего, приводит к перегреву обмотки двигателя, что в сильной степени сокращает срок службы изоляции. В конечном счете, происходит пробой изоляции между обмоткой и корпусом, между фазами статора или между витками.

Изоляция большинства проводников и приборов способна выдержать напряжение до 1000 вольт. Поэтому умеренное повышение напряжения вряд ли приведет к немедленному пробую изоляции.

Повреждающее действие повышенного напряжения состоит в том, что оно по закону Ома вызывает пропорциональный рост тока в проводниках и, следовательно, их усиленный нагрев. Постоянный нагрев ведет к ускоренному старению изоляции, постепенному снижению её механической и электрической прочности и, наконец, к повреждению. В то же время, при кратковременном увеличении напряжения питания (до нескольких секунд) обмотки, из-за инерционности процесса нагрева, не перегреваются [3].

Постановка задачи. Представляет интерес определение изменения времени разгона электродвигателя в зависимости от времени переключения его питающего напряжения.

Дифференциальное уравнение равновесия напряжения якорной цепи двигателя на основе второго закона Кирхгофа имеет вид [1]:

$$U_{я} = I_{я} R_{я} + E_{я} + L_{я} \frac{dI_{я}}{dt} \quad (1)$$

где: $U_{я}$ – напряжение на якоре двигателя;

$I_{я}$ – ток якоря;

$E_{я}$ – ЭДС;

t – текущее время.

Уравнение электродвижущей силы (ЭДС) в обмотке якоря имеет вид:

$$E_{я} = C_e n_n \Phi_B = k_{эм} \omega \quad (2)$$

где: Φ_B – магнитный поток;

C_e – конструктивная постоянная двигателя;

$\omega = \frac{2\pi n_n}{60}$ – угловая скорость двигателя;

$k_{эм} = C_e \Phi_B$ – электромагнитная постоянная;

Вращающий электромагнитный момент электродвигателя равен:

$$M_{вр} = C_m I_{я} \Phi_B = k_{эм} I_{я} \quad (3)$$

C_m – конструктивная постоянная двигателя.

Дифференциальное уравнение, характеризующее процессы в механической части двигателя имеет вид:

$$M_{вр} - M_c = J \frac{d\omega}{dt} \quad (4)$$

где M_c – момент сопротивления.

Примем $M_c=0$. Тогда уравнение (4) примет вид:

$$M_{вр} = J \frac{d\omega}{dt} \quad (5)$$

Подставим уравнение (3) в (5) и получим:

$$J \frac{d\omega}{dt} = k_{эм} I_{я} \quad (6)$$

Откуда:

$$I_{я} = \frac{J}{k_{эм}} \frac{d\omega}{dt} \quad (7)$$

Возьмем производную по $I_{я}$:

$$\frac{dI_{я}}{dt} = \frac{J}{k_{эм}} \frac{d^2\omega}{dt^2} \quad (8)$$

Подставляя (2), (7), (8) в (1) получим:

$$U_{я} = \frac{L_{я} J}{k_{эм}} \frac{d^2\omega}{dt^2} + \frac{R_{я} J}{k_{эм}} \frac{d\omega}{dt} + k_{эм}\omega \quad (9)$$

После несложных математических преобразований получим передаточную функцию двигателя:

$$W(p) = \frac{\omega(s)}{U_{я}(s)} = \frac{k_{дв}}{T_{я}T_{м}s^2 + T_{м}s + 1} \quad (10)$$

где: $\omega(s)$ и $U(s)$ – соответственно, изображения по Лапласу от угловой скорости вращения и напряжения питания электродвигателя при нулевых начальных условиях;

$$k_{дв} = \frac{1}{k_{эм}} = \frac{1}{C_e C_m} - \text{коэффициент передачи двигателя};$$

$$T_{я} = \frac{L_{я}}{R_{я}} - \text{электромагнитная постоянная времени};$$

$$T_{м} = \frac{JR_{я}}{C_m C_e} - \text{электромеханическая постоянная времени}.$$

В качестве примера рассмотрим двигатель постоянного тока 2ПН132М.

Основные параметры электродвигателя:

- номинальная мощность P_n , кВт – 7;
- номинальное напряжение U_n , В – 220;
- номинальная частота вращения n_n , об/мин - 2240-4000;
- коэффициент полезного действия η , % - 83;
- сопротивление обмотки якоря $R_{я}$, Ом - 0,226;
- сопротивление обмотки дополнительных полюсов $R_{доп}$, Ом – 0,166;
- сопротивление обмотки возбуждения R_v , Ом -4,6;
- индуктивность цепи якоря $L_{я}$, мГн – 4,6;
- момент инерции якоря J , кгм² – 0,37.

Найдем параметры передаточной функции для выбранного электродвигателя.

$$T_{я} = \frac{L_{я}}{R_{я}} = \frac{0,0046}{0,226} = 0,02$$

$$T_M = \frac{J R_{я}}{C_m C_e} = \frac{0,37 \cdot 0,226}{0,77 \cdot 0,9} = 0,12$$

$$k_{\partial \epsilon} = \frac{1}{C_m C_e} = 1,44$$

$$C_m = \frac{M_H}{I_{я}} = \frac{29,84}{38,33} = 0,77$$

$$M_H = 9,55 \frac{P_H}{n_H} = 9,55 \frac{7000}{2240} = 29,84$$

$$I_{я} = \frac{P_H}{\eta_n U_H} = \frac{7000}{0,83 \cdot 220} = 38,33$$

$$C_e = \frac{U_H - R_{я} I_{я}}{\omega_H} = \frac{220 - 0,226 \cdot 38,33}{234,45} = 0,9$$

$$\omega_H = \frac{2\pi n_H}{60} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 2240}{60} = 234,45$$

В целях упрощения модели электродвигателя, допускается в передаточной функции не учитывать влияние электромагнитной постоянной времени.

Тогда двигатель можно представить в виде инерционного звена:

$$W(s) = \frac{k_{\partial \epsilon}}{T_M s + 1} = \frac{1,44}{0,12s + 1}$$

переходной процесс которого описывается уравнением (11):

$$h(t) = k_{\partial \epsilon} \left(1 - e^{-\frac{t}{T_M}} \right) \quad (11)$$

Методы исследования. В связи с тем, что номинальное напряжение питания электродвигателя постоянного тока 2ПН132М равно 220 В, при анализе зависимости времени разгона электродвигателя от момента переключения питающего напряжения, рассмотрим кратковременную подачу на него напряжения 380В, с последующим переключением на 220В.

Сказанное, можно представить в виде рисунка 1а.

В ходе исследования моделирование осуществлялось с использованием пакета программ VisSim. Для удобства моделирования входное напряжение представлено в виде суммы напряжений +380В и сдвинутой на время τ напряжения – 160В (рисунок 1б).

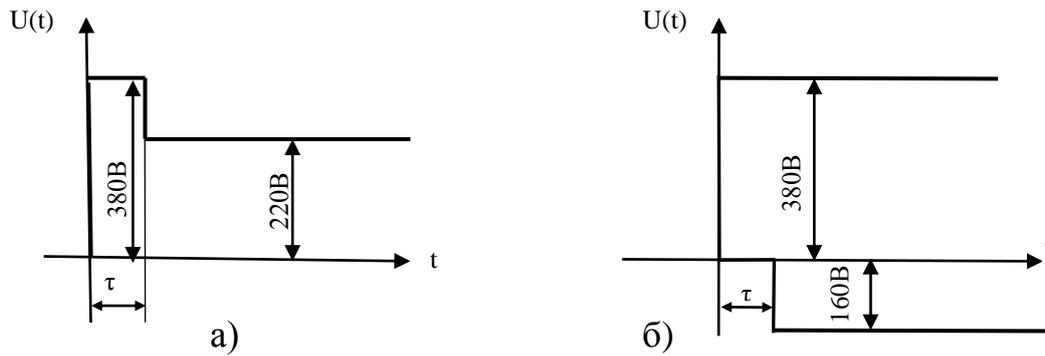


Рисунок 1 – Форма входного сигнала

Переходной процесс считается завершенным, если он вошел в зону $\pm 5\%$ от установившегося значения и не выходит из него.

Результаты моделирования для различных значений τ приведены на рисунке 2.

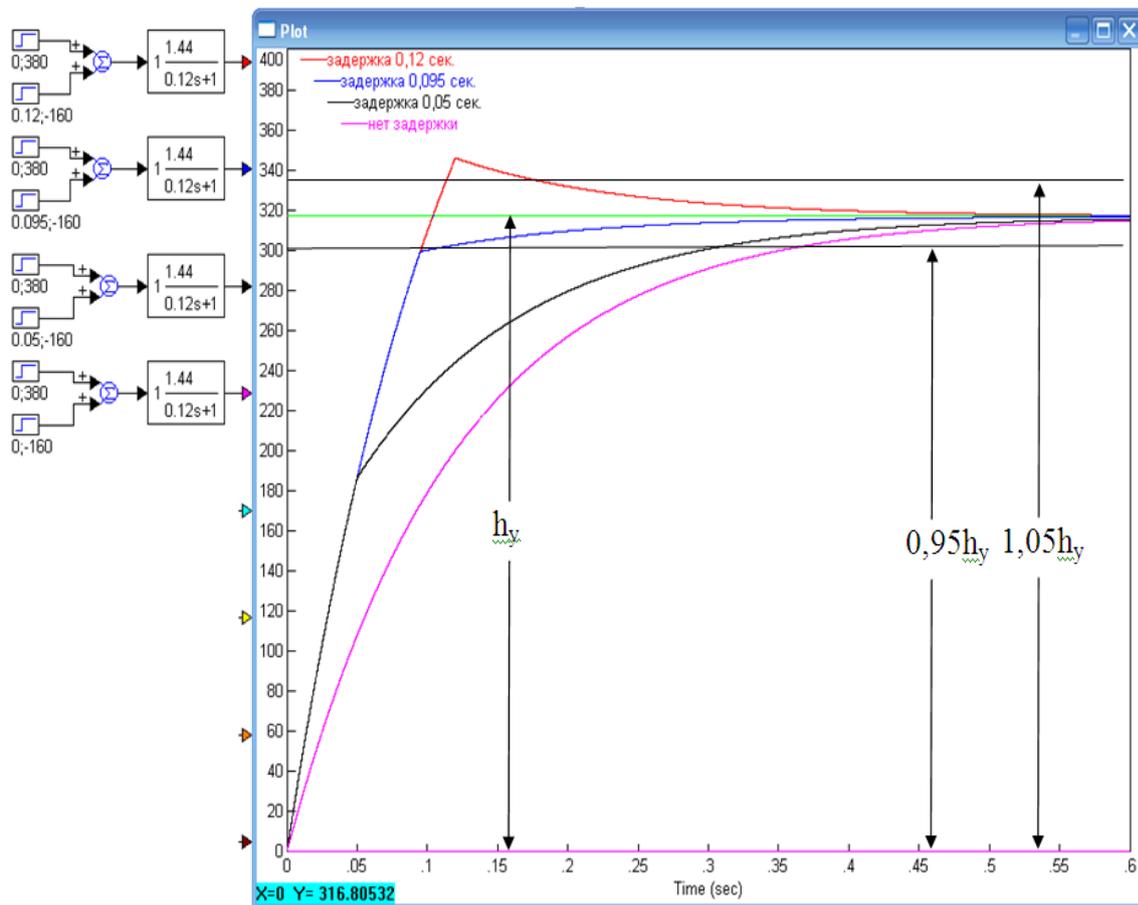


Рисунок 2 – Изменение скорости вращения электродвигателя при разгоне для различных значений τ

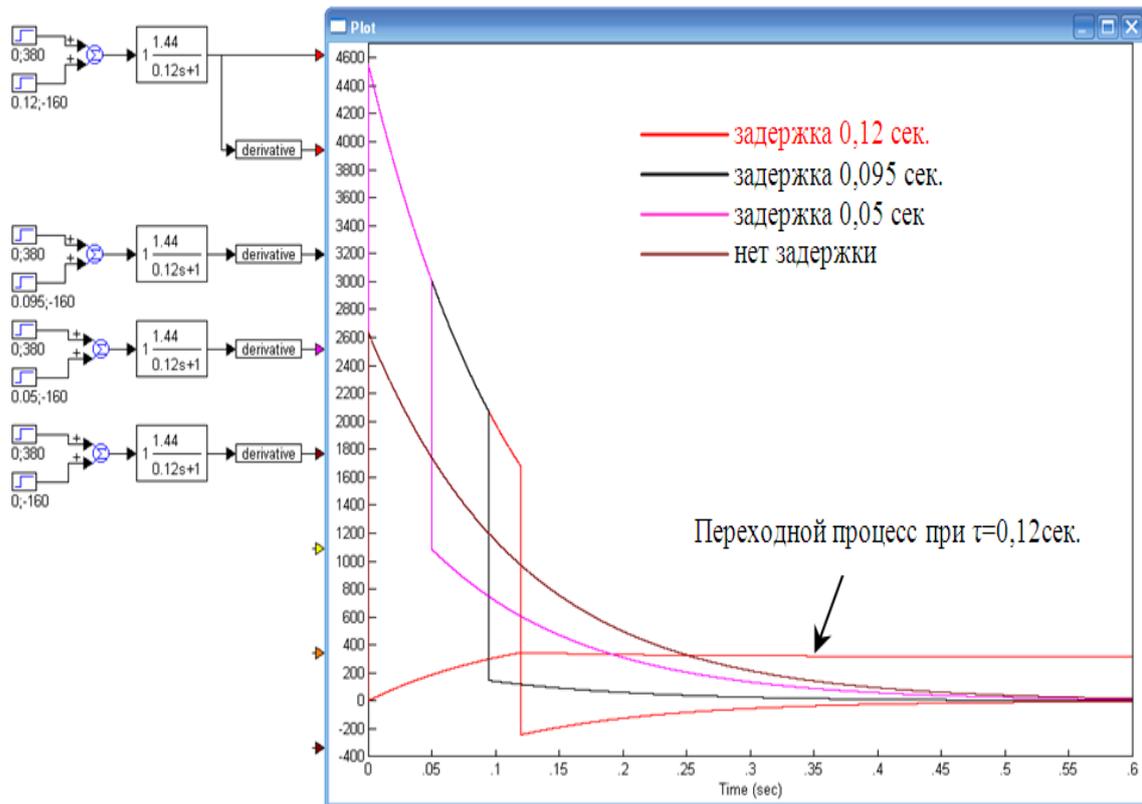


Рисунок 3 – Изменение ускорения вращения электродвигателя при разгоне

На рисунке 3 приведены весовые функции (изменение ускорения вращения электродвигателя при разгоне) для различных значений τ

Обсуждение результатов. Результаты моделирования показывают, что время выхода двигателя на номинальный режим значительно уменьшилось.

Из рисунка видно, что при $\tau=0,095$ – при которой угловая скорость вращения электродвигателя почти равна установившейся, при переключении питающего напряжения с 380 В на 220 В скорость электродвигателя, ввиду его инерционности должна выйти за пределы установившегося состояния, что на модели не наблюдается, т.е. результаты моделирования не адекватны реальному процессу. В связи с этим при моделировании двигатель будем рассматривать как апериодическое звено второго порядка (АПЗ-2).

Передаточная функция двигателя в этом случае равна:

$$W(p) = \frac{k_{\partial\omega}}{T_J T_M s^2 + T_M s + 1} = \frac{1,44}{0,0024s^2 + 0,12s + 1} \quad (12)$$

Переходной процесс для АПЗ-2 описывается уравнением [1]:

$$h(t) = k_{\partial\omega} \left(1 - \frac{T_3}{T_3 - T_4} e^{-\frac{t}{T_3}} + \frac{T_4}{T_3 - T_4} e^{-\frac{t}{T_4}} \right) \quad (13)$$

где:

$$T_{3,4} = \frac{T_M}{2} \pm \sqrt{\frac{T_M^2}{4} - T_{я}T_M} \quad (14)$$

Для двигателя 2ПН132М $T_3=0,09464$, $T_4=0,02535$.

Процесс разгона электродвигателя, в этом случае, описывается выражением:

$$h(t) = 380k_{\partial в} \left(1 - \frac{T_3}{T_3 - T_4} e^{-\frac{t}{T_3}} + \frac{T_4}{T_3 - T_4} e^{-\frac{t}{T_4}}\right) - 160k_{\partial в} \left(1 - \frac{T_3}{T_3 - T_4} e^{-\frac{t-\tau}{T_3}} + \frac{T_4}{T_3 - T_4} e^{-\frac{t-\tau}{T_4}}\right) = 0 \quad (15)$$

Определение времени переключения напряжения питания электродвигателя τ для обеспечения минимального времени его разгона осуществим методом прогонки.

Результаты моделирования для двигателя постоянного тока приведены на рисунке 4.

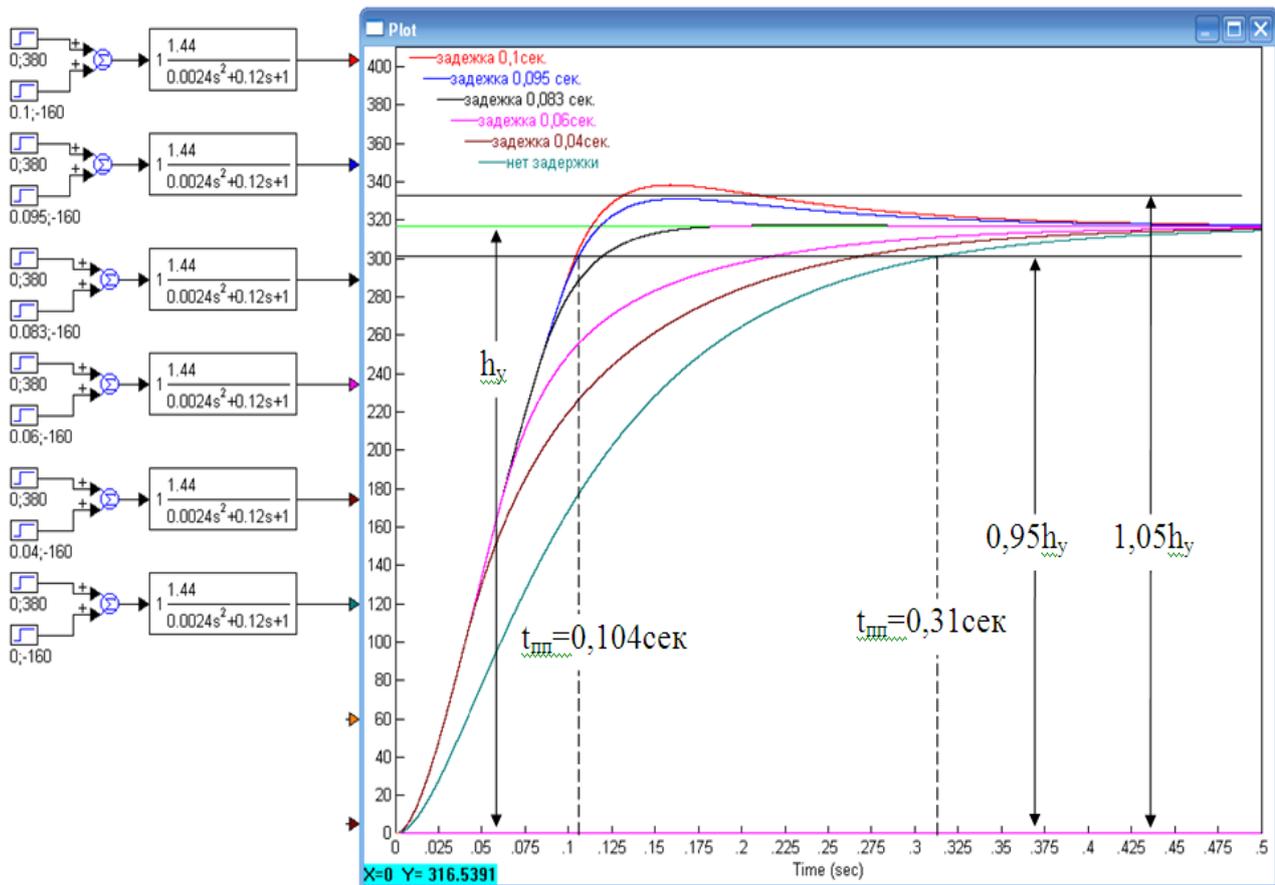


Рисунок 4 – Графики разгона электродвигателя при различных временах задержки τ

Вывод. Результаты проведенного исследования позволяют сформулировать следующие выводы:

- при представлении двигателя в виде инерционного звена первого порядка (без учета электромагнитного постоянного времени) результаты моделирования получаются не адекватными реальному процессу;
- оптимизация времени разгона двигателя 2ПН132М путем переключения напряжения питания привело к уменьшению длительности переходного процесса с 0,31с. до 0,104с.

Библиографический список:

1. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. Изд. 4-е, перераб. и доп.- Спб.: Профессия, 2003 – 752с.
2. Электронный ресурс: <http://leg.co.ua/knigi/oborudovanie/neispravnosti-elektrooborudovaniya-i-sposoby-ih-ustraneniya-15.html>
3. В. И. Гуков, С.Ф. Позднухов, Н. Н. Рудано, В. Н. Тарасов. Авторское свидетельство № 997214 от 18.02.83г.: Способ пуска гистерезисного электродвигателя.

References:

1. Besekersky V. A., Popov E. P. Theory of automatic control systems. Ed. 4th, Rev. and extra - SPb.: Profession, 2003 – 752 p.
2. Electronic resource: <http://leg.co.ua/knigi/oborudovanie/neispravnosti-elektrooborudovaniya-i-sposoby-ih-ustraneniya-15.html>.
3. V. I. Gukov, S. F. Pozdnukhov, N. N. Rodano, V. N. Tarasov. Copyright certificate № 997214 from 18.02.83 G.: the Method of starting hysteresis motor.

УДК 519.14

Кадиев П.А., Кадиев И. П., Мирзабеков Т. М.

ПАКЕТ ПРОГРАММ ДЛЯ СКРЕМБЛИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННОГО ПОТОКА

Kadiev P. A., P. I. Kadiev, Mirzabekov T. M.

THE SOFTWARE PACKAGE FOR DATA STREAM SCRAMBLING

Аннотация. Предлагается пакет программ для многовариантного ступенчатого преобразования текстового потока с целью повышения стойкости защиты от несанкционированного доступа, и пакет для восстановления преобразованного текста. В основе предложений: формирование пхп-массива из элементов потока данных, предварительные перестановки элементов массива, с формированием массива, каждая строка и каждый столбец которого включает один и только один элемент из