

## МОДЕРНИЗАЦИЯ ПРИВОДА ПОДАЧИ ПРОДОЛЬНО-СТРОГАЛЬНОГО СТАНКА

Дымов И.С., Гурова Е.Г., Котин Д.А., Макаров С.В.

ФГБОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»,  
Новосибирск, e-mail: a282006@yandex.ru

В статье рассмотрена методика расчетов и обоснования мощности электродвигателя постоянного тока с независимым возбуждением и передаточного числа механизма, передающего и преобразующего крутящий момент, с одной или более механическими передачами. Рассмотрен способ расчета силовой части электропривода подачи продольно-строгального станка. В настоящее время распространение получила система широтно-импульсный преобразователь – двигатель на базе современных полупроводниковых приборов. Особое значение приобретает модернизация находящихся в эксплуатации станков. Установлено, что автоматизация на существующих станках отдельных переходов, операций или наиболее часто встречающихся циклов может дать существенный эффект в отношении повышения производительности и облегчения обслуживания станка. Предложена модернизированная схема привода подачи. В работе приводятся результаты имитационного моделирования. Установлено, что использование широтно-импульсного преобразователя не влияет на качество технологического процесса.

**Ключевые слова:** привод подачи, продольно-строгальный станок, широтно-импульсный преобразователь, транзистор, электродвигатель

## UPGRADE FEED DRIVE OF A PLANER

Dymov I.S., Gurova E.G., Kotin D.A., Makarov S.V.

Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, e-mail: a282006@yandex.ru

The article describes the method of calculation and justification of power DC motor with separate excitation and transmission ratio of transmitting and transforming torque, with one or more mechanical transmissions. A method of calculation of the electric power supply planer. Currently, distribution system received pulse width converter – the engine on the basis of modern semiconductor devices. Of particular importance is the modernization of machines in operation. That automation on existing machines individual transitions, operations, or the most common cycles can give a significant effect on improving performance and ease of maintenance of the machine. Offered an upgraded drive circuit feed. The paper presents simulation results. Found that the use of pulse-width converter no effect on the quality of the process.

**Keywords:** feed drive, planer, pulse width converter, transistor, motor

В настоящее время все мероприятия по усовершенствованию металлорежущих станков напрямую связаны с развитием автоматизированного электропривода. Ранее применение находил электропривод по системе генератор – двигатель. Однако система генератор – двигатель является сравнительно сложной, дорогой и имеет низкий КПД. Замена в ряде случаев преобразователя системы генератор – двигатель полупроводниковым преобразователем, несомненно, целесообразна, т.к. при этом повышается КПД привода, уменьшаются его вес и габарит, повышается быстродействие привода. Особое значение приобретает модернизация уже находящихся в эксплуатации станков. В связи с этим автоматизация на существующих станках отдельных переходов, операций или наиболее часто встречающихся циклов может дать существенный эффект в отношении повышения производительности и облегчения обслуживания станка.

**Цель исследования** – разработка транзисторного электропривода подачи суппортов продольно-строгального станка.

**Задачи:**

1. Рассчитать и обосновать двигатель постоянного тока с независимым возбуждением (ДПТНВ) и передаточное число редуктора.
2. Рассчитать и обосновать элементную базу силовой части системы широтно-импульсный преобразователь – двигатель постоянного тока с независимым возбуждением (ШИП-ДПТНВ).
3. Синтезировать двухзонную систему подчиненного регулирования системы ШИП-ДПТНВ.

### Материалы и методы исследования

Предметом исследования является использование системы ШИП-ДПТНВ в приводе подачи продольно-строгального станка.

### Результаты исследования и их обсуждение

Продольно-строгальный станок – металлообрабатывающий станок для обработки плоских и линейчатых поверхностей резцом. Предмет совершает прямолинейное рабочее движение, проходя под неподвижным резцом, который при окончании

рабочего хода несколько сдвигается на сторону (движение подачи) для снятия следующей стружки.

Тахограмма и нагрузочная диаграмма механизма главного движения без учета динамических нагрузок представлены на рис. 1.

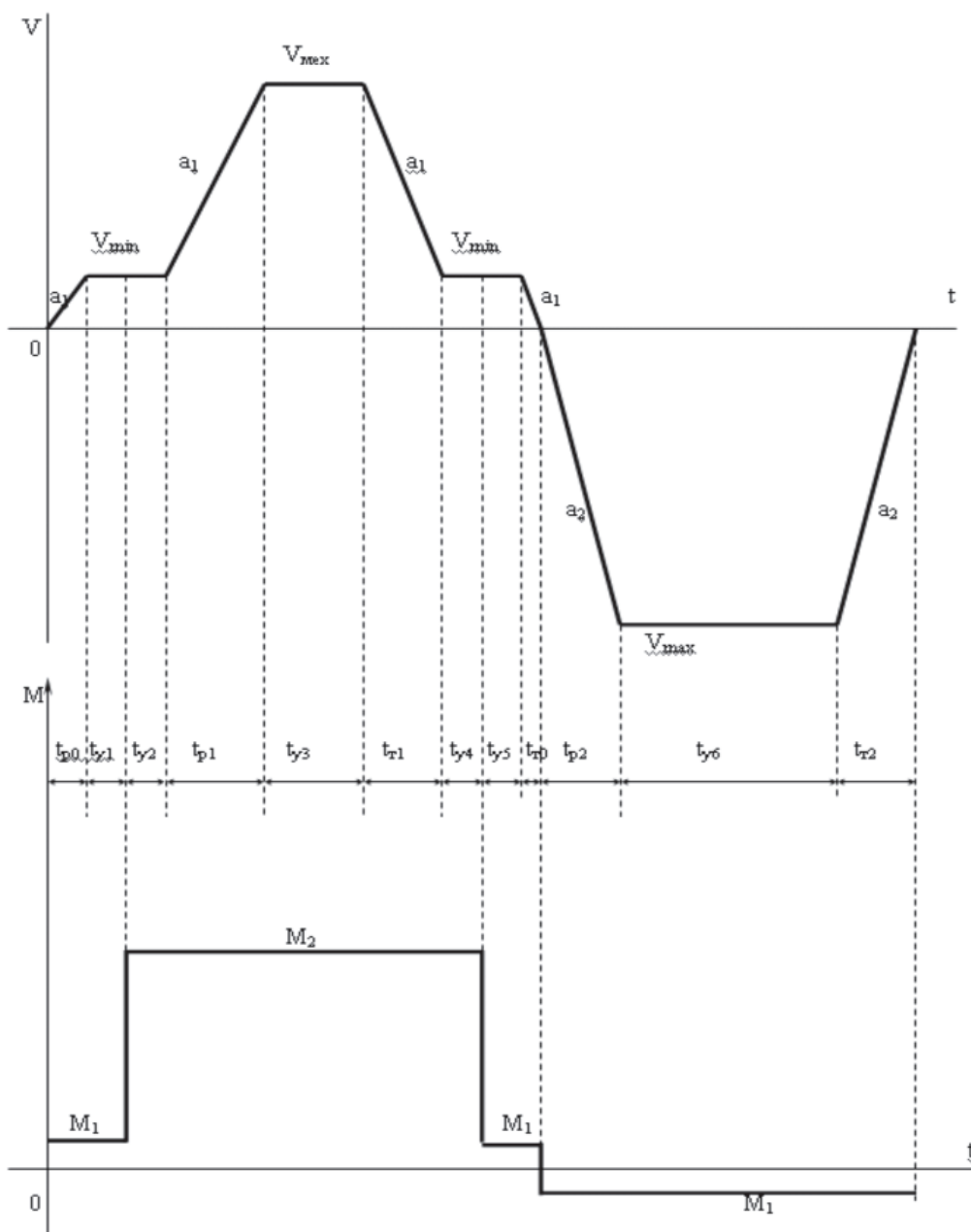


Рис. 1. Тахограмма и нагрузочная диаграмма механизма главного движения

Как вертикальные, так и боковые суппорты имеют самостоятельные коробки подачи и индивидуальные электродвигатели. Электродвигатели коробок подачи главного движения заблокированы с таким расчетом, что при холостом движении главного двигателя, когда стол совершает обратное нерабочее движение, электродвигатели коробок подачи совершают рабочее движение, т.е. движение подачи.

В исследовании рассматривается наиболее тяжелый режим работы, когда суппорт нужно перенести из одного крайнего положения траверсы в другой. Тахограмма и нагрузочная диаграмма горизонтальной подачи суппортов по траверсе без учета динамических нагрузок представлены на рис. 2.

С помощью нагрузочной диаграммы возможно найти среднеквадратичное

(эквивалентное по условиям нагрева) значение статической мощности, соответствующее реальному (обусловленному тех-

нологией) значению продолжительности включения электродвигателя по следующей формуле:

$$P_{\text{э}} = \omega_{\text{под}} \sqrt{\frac{M_{\text{под.р}}^2 \cdot t_{\text{под.р}} + M_{\text{под.т}}^2 \cdot t_{\text{под.т}} + M_{\text{под.раб}}^2 \cdot t_{\text{под.раб}}}{t_{\text{обр}}}}, \quad (1)$$

где  $\omega_{\text{под}}$  – скорость подачи,  $\text{с}^{-1}$ ;  $M_{\text{под.р}}$ ,  $M_{\text{под.т}}$ ,  $M_{\text{под.раб}}$  – моменты разгона, торможения и рабочей скорости, Нм;  $t_{\text{под.р}}$ ,  $t_{\text{под.т}}$

$t_{\text{под.раб}}$ ,  $t_{\text{обр}}$  – время разгона, торможения, движения на рабочей скорости и обратного хода, с.

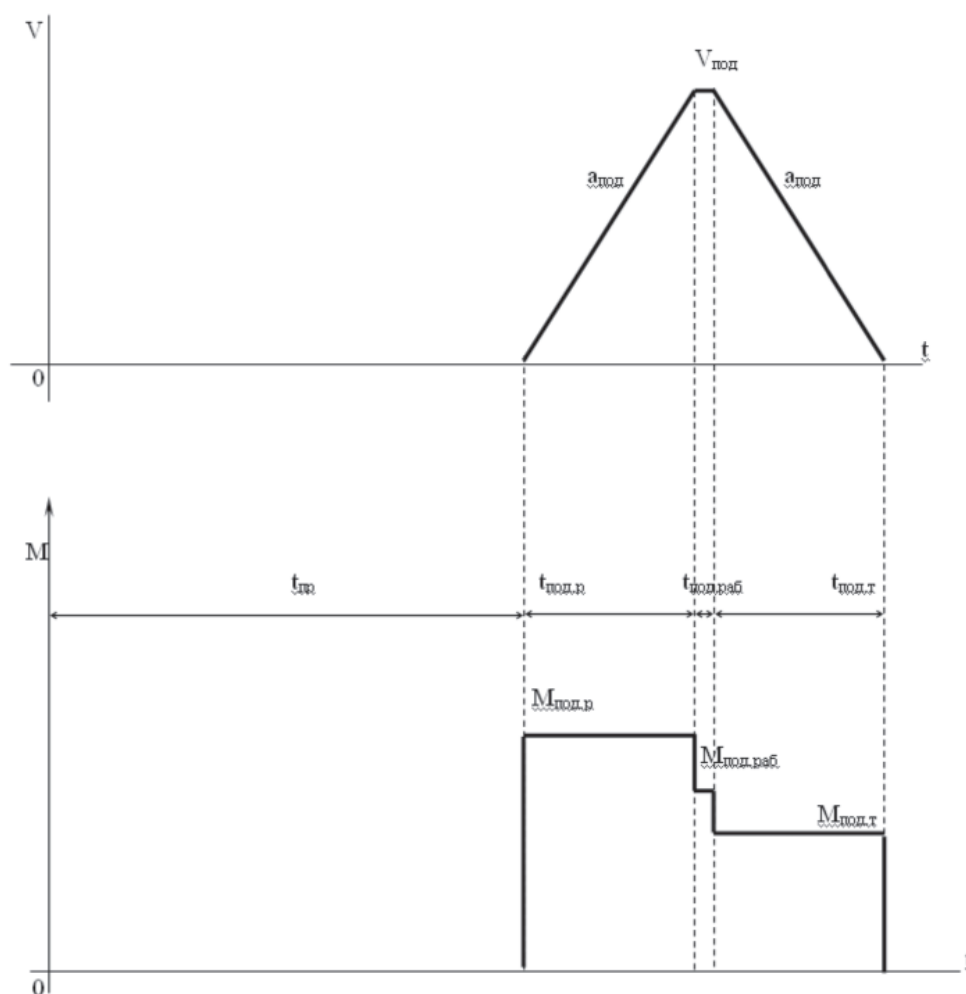


Рис. 2. Тахограмма и нагрузочная диаграмма горизонтальной подачи суппортов по траверсе при одном двойном ходе с учетом динамических нагрузок

Расчётную мощность двигателя в этом случае можно найти как

$$P_{\text{расч}} = \frac{P_{\text{э}} \cdot K_3}{\eta_{\text{мех}}} \sqrt{\frac{\text{ПВ}, \%}{\text{ПВ}_{\text{ст}}, \%}}, \quad (2)$$

где  $K_3 = 1,1$  – коэффициент запаса мощности при расчете с учетом динамических нагрузок;  $\eta_{\text{мех}}$  – КПД механизма (пары «рейка – колесо»);  $\text{ПВ}_{\text{ст}}$  – стандартная продолжительность включения.

Суммарный момент инерции возможно найти по формуле из [5]:

$$J_{\Sigma} = 1,1J_{дв} + 1,1J_{мех} \frac{1}{i_p^2} + (m_p + m_{суп} + m_{рез}) \frac{D_k^2}{2} \cdot \frac{1}{i_p^2}, \quad (3)$$

где  $J_{\Sigma}$  – суммарный момент инерции привода.

Требуемое передаточное число редуктора определяется по формуле

$$i_{p \text{ треб}} = \frac{n_{дв}}{n_{мех}}. \quad (4)$$

С учетом формул (3) и (4) выбирается электродвигатель общепромышленной серии 2П по [4], исходя из условия минимума произведения ( $J_{дв} \cdot i_p^2$ ), а также редуктор по [3].

Для проверки двигателя на перегрузочную способность воспользуемся следующей формулой:

$$\lambda_{факт} = \frac{M_{максгр}}{M_{ндв}}, \quad (5)$$

где  $M_{ндв} = \frac{P_{ндв}}{\omega_{ндв}}$  – номинальный момент

электродвигателя. (6)

Для проверки двигателя по нагреву можно использовать метод эквивалентных моментов, при этом должно выполняться следующее условие:

$$M_{эkv} = \sqrt{\frac{\sum M_i^2 \cdot t_i}{\sum t_i}} < M_n = \frac{P_n}{\omega_n}. \quad (7)$$

Функциональная схема системы ШИП-ДПТНВ с возможностью регулирования напряжения на обмотке возбуждения представлена на рис. 3.

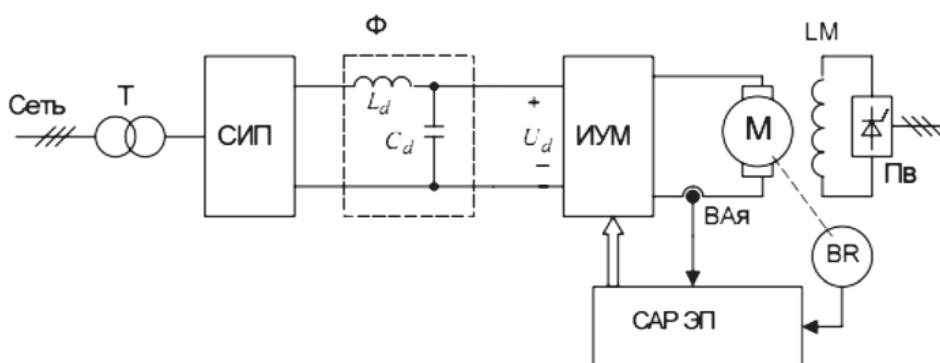


Рис. 3. Функциональная двухзонная схема системы ШИП-ДПТНВ

Расчет силовой части ведется по полученным данным двигателя и передаточного числа редуктора.

Трансформатор в управляемом вентильном электроприводе необходим для согласования напряжения сети с напряжением двигателя. Трансформатор выбирается по коэффициенту трансформации и типовой мощности.

Коэффициент трансформации трансформатора определяется как

$$k_t = \frac{U_1}{U_2}. \quad (8)$$

Типовая мощность трансформатора

$$S = qU_{2ф} I_n, \quad (9)$$

где  $q$  – коэффициент схемы.

Выбор и проверка тиристоров, принятых к установке в преобразователе, производится по трем параметрам: по среднему току, максимальному амплитудному значению напряжения на тиристоре и ударному току внутреннего короткого замыкания.

Среднее значение тока, протекающего через тиристор, А:

$$I_{ср} = \frac{I_{доп}}{k_a}, \quad (10)$$

где  $I_{доп}$  – допустимый ток двигателя для общепромышленной серии машин.

Максимальное амплитудное напряжение на тиристоре, В:

$$U_{max} = k_{зн} \sqrt{2} U_{2л}, \quad (11)$$

где  $k_{\text{зн}} = 1,3 \dots 1,5$  – коэффициент запаса по напряжению, учитывающий возможность перенапряжений на тиристорах;  $U_{2л}$  – линейное действующее значение напряжения вторичной обмотки трансформатора.

Ударный ток внутреннего короткого замыкания находится по формуле, А:

$$I_{\text{уд}} = i_{* \text{уд}} \cdot I_{\text{км}}. \quad (12)$$

Выпрямленное напряжение сглаживается емкостным фильтром. Емкость фильтра  $C_{\phi}$  дополнительно выполняет следующие функции: накопителя энергии, возвращаемой электродвигателем в тормозном режиме, реактивной проводимости в цепи обратного тока и компенсатора индуктивного сопротивления трансформатора.

Емкость конденсатора фильтра с учетом перегрузки равна, Ф:

$$C_{\phi} = \frac{P_{\text{н}} \lambda_{\text{факт}} \cdot 300 \cdot 10^{-6}}{1000}. \quad (13)$$

Напряжение конденсатора фильтра, В:

$$U_{\phi} = U_{\text{д}} k_3, \quad (14)$$

где  $k_3 = 1,3 \dots 1,5$  – коэффициент запаса по напряжению.

Выбор транзисторов производится по следующим параметрам: по максимальному току перехода эмиттер-коллектор в открытом состоянии через транзистор и по максимальному напряжению перехода эмиттер-коллектор транзистора.

Максимальный ток якоря, приведенный к классификационным параметрам транзистора, А:

$$I_{\text{макс}} = k_{\text{си}} k_{3, \text{шим}} k_{\text{охл}} I_{\text{доп}}, \quad (15)$$

где  $k_{\text{си}} = 3$  – коэффициент инвертирования;  $k_{\text{охл}} = 1 \dots 2, 5$  – коэффициент, учитывающий условия охлаждения;  $k_{3, \text{шим}} = 1, 2$  – коэффициент запаса на ШИМ пульсации.

Максимальное напряжение, которое прикладывается к транзистору во время его запираения, В:

$$U_{\text{макс}} = k_{\text{зн}} U_{\text{н}}, \quad (16)$$

где  $k_{\text{зн}} = 1,3$  – коэффициент, учитывающий перенапряжение.

Для транзисторного электропривода с ШИП важным параметром является оптимальная частота коммутации, которая может быть вычислена по формуле

$$f_{\text{опт}} = k_f \sqrt[3]{\frac{\beta R_{\text{я}}^2}{L_{\text{я}}^2 (t_{+} + t_{-})}}, \quad (17)$$

где  $k_f = 0,332$  – коэффициент пропорциональности;  $t_{+}, t_{-}$  – время нарастания и спада коллекторного тока транзистора, мкс.

Для того чтобы удостовериться в правильности выбора электродвигателя и полупроводникового преобразователя, воспроизведем работу электропривода согласно тахограмме и нагрузочной диаграмме привода подачи в программе Simulink Matlab.

Структурная схема электропривода, составленная с помощью программы Simulink Matlab, представлена на рис. 4.

Рассмотрим наиболее интересующий переходный процесс – по скорости, который представлен на рис. 5.

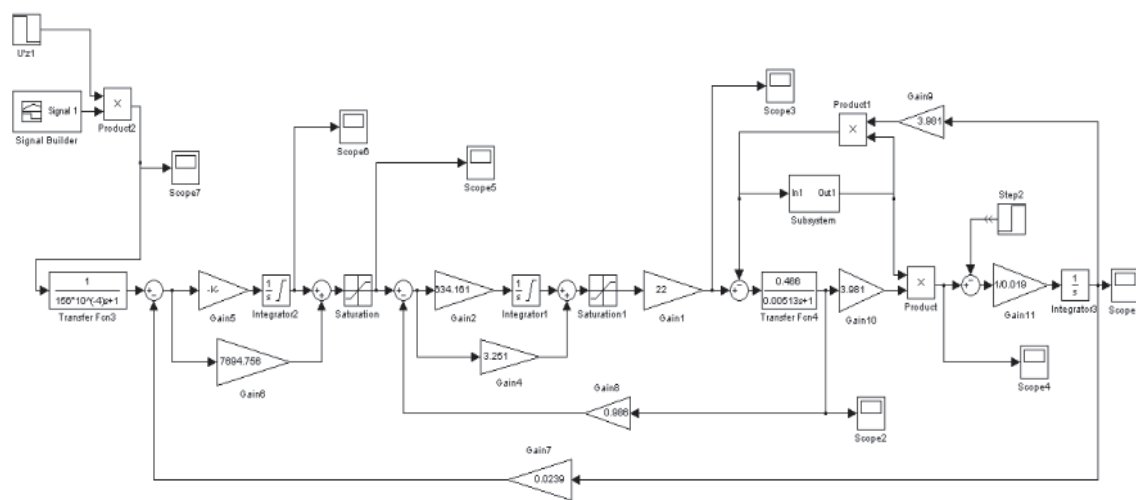


Рис. 4. Структурная схема электропривода подачи в Simulink Matlab

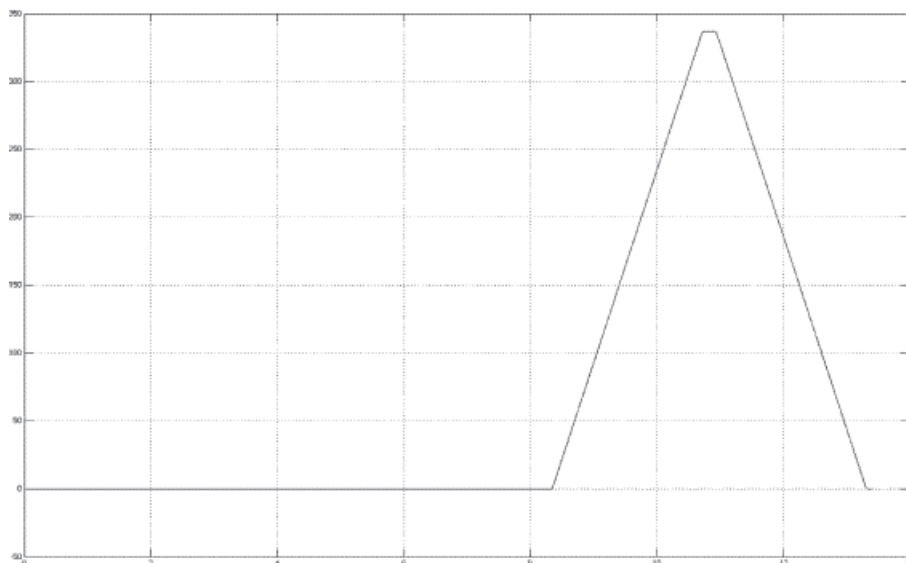


Рис. 5. Переходный процесс по скорости электропривода подачи

Результаты имитационного моделирования доказали, что переходный процесс по скорости полностью повторяет ранее рассмотренную тахограмму привода подачи продольно-строгального станка (рис. 2).

#### Заключение

1. Предложена методика расчета требуемой мощности двигателя и передаточного числа редуктора.
2. Рассчитана элементная база силовой части электропривода.
3. Произведен расчет замкнутой системы регулирования скорости, с обратной связью по току, скорости, магнитному потоку и ЭДС, а также были рассчитаны регуляторы по каждому из контуров.

#### Список литературы

1. Автоматическое управление электроприводами. Часть 1. Регулирование координат электроприводов постоянного тока: учеб. пособие / В.В. Панкратов. – Новосибирск: Издательство НГТУ, 2013. – 215 с.
2. Автоматизированный электропривод: учеб. пособие / Г.М. Симаков. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2010. – 135 с.
3. Редукторы и мотор – редукторы общемашиностроительного применения: Справочник / Л.С. Бойко, А.З. Высоцкий, Э.Н. Галиченко и др. – М.: Машиностроение, 1984. – 247 с.

4. Справочник по электрическим машинам. В 2 т. / под общ. ред. И.П. Копылова и Б.К. Клокова. Т. 1. – М.: Энергоатомиздат, 1988 – 456 с.

5. Теория электропривода / И.Д. Абакумов. – Новосибирск: НГТУ, 2008 – 72 с.

#### References

1. Automatic control of electric drives. Part 1. Coordinate regulation of electric DC: Textbook. Benefit / V.V. Pankratov. Novosibirsk: Publishing NSTU, 2013. 215 p.
2. Automatic Electric: Textbook. Benefit / G.M. Simakov. Novosibirsk: Publishing NSTU, 2010. 135 p.
3. Reducers and motor gear engineering application: Directory / L.S. Boyko, A.Z. Vysotsky, E.N. Galichenko and etc. M.: Mechanical, 1984. 247 p.
4. Handbook of electric machines. In 2 t, ed. I.P. Kopylov and B.K. Klokova. T. 1. Energoatomizdat, 1988 456 p.
5. Theory of electric / I.D. Abakumov, NSTU. Novosibirsk, 2008 72 p.

#### Рецензенты:

Аносов В.Н., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой электропривода и автоматизации промышленных установок (ЭАПУ), НГТУ, г. Новосибирск;

Алиферов А.И., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой автоматизированных электротехнологических установок (АЭТУ), НГТУ, г. Новосибирск.

Работа поступила в редакцию 05.08.2014.