

УДК 621.22

Д. А. Лозинский, к. т. н.; Л. Г. Козлов, к. т. н., доц.; Е. И. Шевчук
**СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВАРИАНТОВ ПЕРВОГО
КАСКАДА ПРОПОРЦИОНАЛЬНОГО ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОГО
РАСПРЕДЕЛИТЕЛЯ**

Предложены два варианта первого каскада распределителя: на основе клапанного и золотникового распределительных элементов. Разработаны математические модели вариантов первого каскада и проведены сравнительные исследования их характеристик. На основе сравнительных переходных процессов и статических характеристик установлено преимущество первого каскада с клапанным распределительным элементом.

Ключевые слова: электрогидравлический распределитель, первый каскад, математическая модель, быстроедействие, гистерезис.

Введение

В современных мобильных машинах наблюдаем тенденцию перехода к гидроприводам (ГП) на базе пропорциональных электрогидравлических распределителей. Рабочие нагрузки таких машин предопределяют большие рабочие давления в ГП и нуждаются в оперировании значительными потоками [1, 2].

Такие условия являются основным фактором изготовления конструкции электрогидравлических распределителей в несколько каскадов, что позволяет перемещать золотник даже при значительных рабочих потоках, используя пропорциональные электромагниты с небольшим ходом якоря ($2 \cdot 10^{-3}$ м – $4 \cdot 10^{-3}$ м) и тяговым усилием до 100 Н [1, 3].

Статические и динамические характеристики электрогидравлических распределителей в значительной степени зависят от первого каскада и качества его работы [1, 3, 4].

Основные варианты конструкций первого каскада различают по типу запорно-регулирующего элемента: «сопло-заслонка», струйная трубка, клапанные, золотниковые и др. [1 – 5].

В ГП мобильных машин наибольшего распространения приобрели распределители с первым каскадом на основе клапанных и золотниковых распределительных элементов [1 – 6]. **Целью работы** является исследование и сравнение характеристик двух предложенных вариантов первого каскада пропорциональных электрогидравлических распределителей для мобильных машин, указанных выше.

Расчетная схема первого каскада пропорционального электрогидравлического распределителя на основе клапанного распределительного элемента представлена на рис. 1 [7].

Основные ее элементы – это линия нагнетания 1, линия слива 2, золотник второго каскада 3, подпираемый пружиной 4, клапан первого каскада 5 с пропорциональным электромагнитом 6 и др. [7]. Поток, нагнетаемый к линиям питания первого каскада проходит через дроссель 7 и разделяется на два потока, один из которых попадает через клапан первого каскада 5 и через дроссель f_3 к сливу (Q_{sl}), а другой проходит через дроссель 8 и действует на торец золотника второго каскада 3 (Q_I). Величина открытия рабочего окна первого каскада пропорциональна перемещению клапана 9, который управляется пропорциональным электромагнитом 6. Регулируя проводимость рабочего окна первого каскада 5, можно пропорционально изменять величину потока Q_I , а следовательно, и величину перемещения золотника второго каскада 3.

Расчетная схема предложенного первого каскада пропорционального электрогидравлического распределителя на основе золотникового распределительного элемента представлена на рис. 1 [8]. Основные ее элементы – это линия нагнетания 1, линии

слива 2, золотник второго каскада 3, который подпирается пружиной 4, а также сервоэлемент 5.

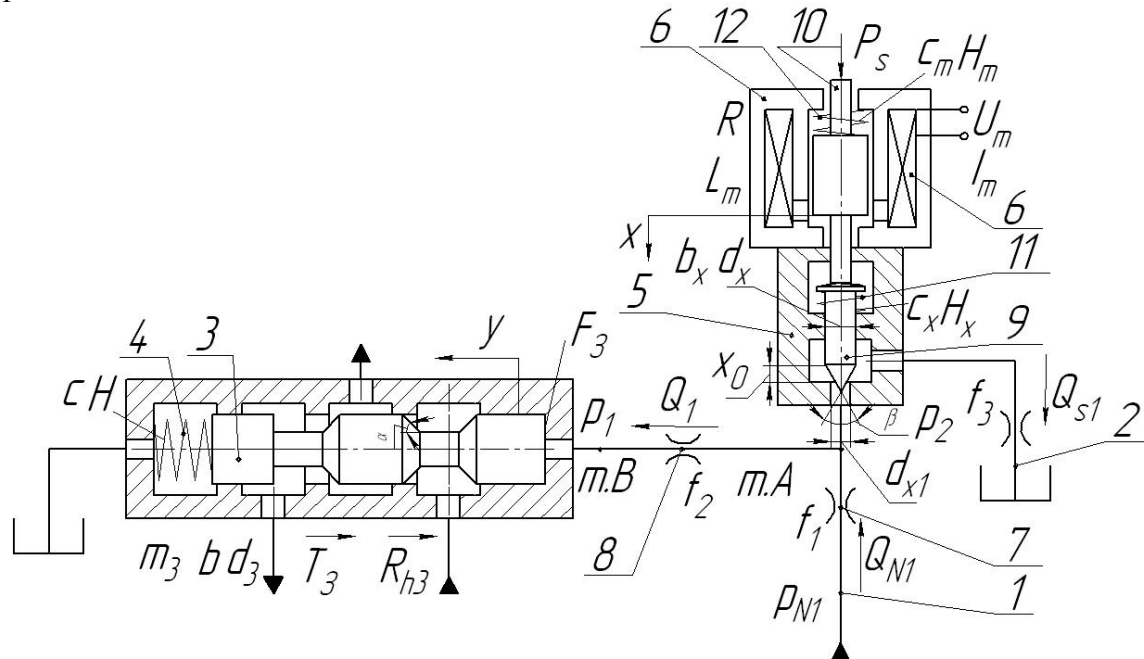


Рис. 1. Расчетная схема первого каскада пропорционального электрогидравлического распределителя на основе клапанного распределительного элемента

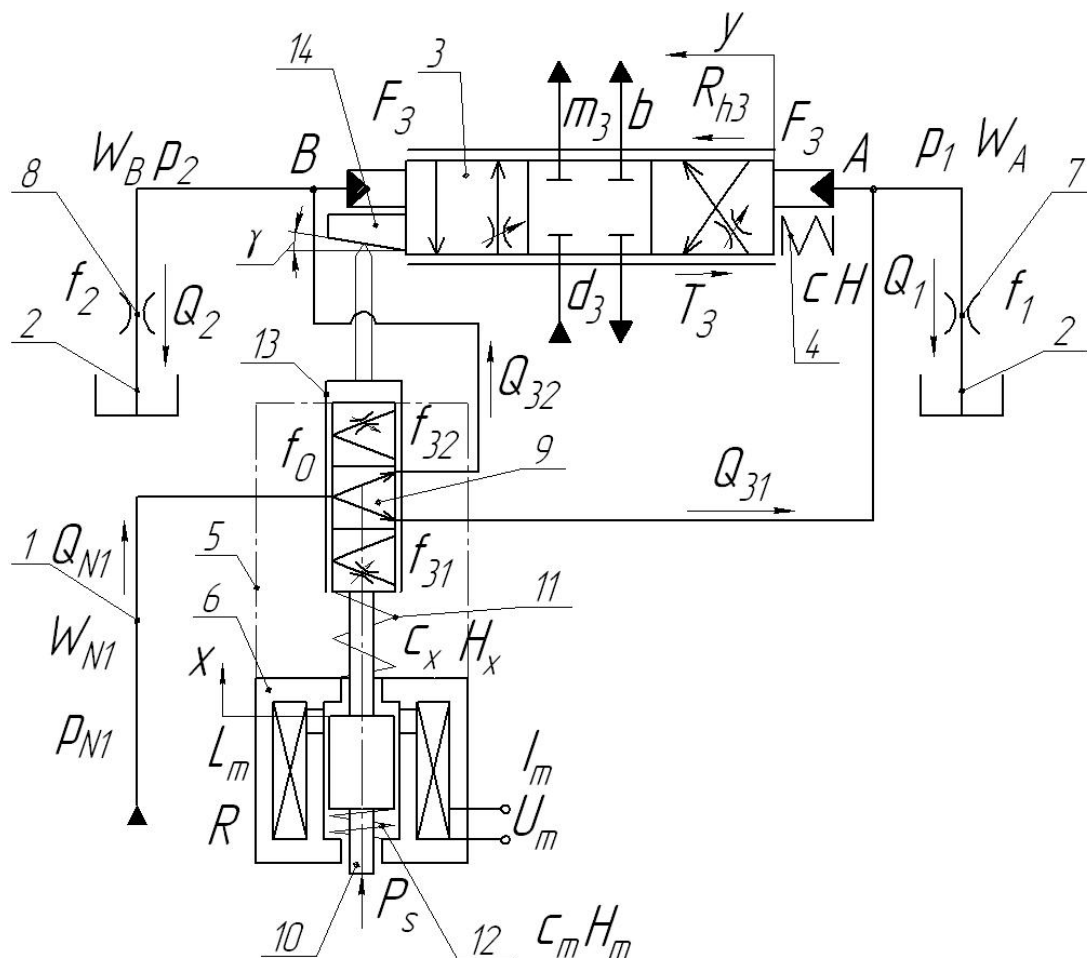


Рис. 2. Расчетная схема первого каскада распределителя на основе золотникового распределительного элемента

Сервоэлемент 5 содержит золотник первого каскада 9 с пружиной 11 и подвижной

гильзой 3. Работа данного каскада организована следующим образом: при подаче сигнала от электромагнита 6 шток 10, двигаясь под действием магнитодвижущей силы, перемещает золотник первого каскада 9, изменяя величины открытия рабочих окон, при этом изменяется соотношение между величинами давлений p_1 и p_2 , под действием которых золотник второго каскада 3 перемещается в сторону меньшего давления пропорционально величине сигнала, поступающего от электромагнита.

Особенностью данного первого каскада является наличие датчика обратной связи (ДОС), который конструктивно выполнен в виде конуса 14 с углом наклона γ , размещенного на золотнике второго каскада 3. Благодаря контакту с вершиной гильзы 13, которая, перемещаясь, регулирует площади открытия рабочих окон сервоэлемента 5, конус 14 выполняет следящую функцию, корректируя величины потоков Q_{31} и Q_{32} , в зависимости от перемещения золотника второго каскада 3 (рис. 2).

Для исследования и сравнения рассмотренных вариантов первого каскада были построены их математические модели (1) (2), решение которых выполнялось в программе MatLab Simulink [7 – 9].

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{di}{dt} = \frac{1}{T_L} \left(\frac{U_y - K_E \cdot \frac{dx}{dt}}{R} - i \right); \\ P_S = K_{Fi} \cdot i; \\ m_x \frac{d^2x}{dt^2} = P_S - p_2 \cdot F_x - c_x \cdot (H_x + x) - c_m \cdot (H_m + x) - b_x \frac{dx}{dt} - T_x \cdot \operatorname{sgn} \frac{dx}{dt}; \\ m_3 \frac{dV_y}{dt} = p_1 \cdot F_3 - c \cdot (H + y) - b \frac{dy}{dt} - T \cdot \operatorname{sgn} \frac{dy}{dt} - R_{h3}; \\ \mu \cdot f_2 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot |p_2 - p_1|}{\rho}} \cdot \operatorname{sgn}(p_2 - p_1) = F_3 \cdot \frac{dy}{dt} + \beta \cdot W_B \cdot \frac{dp_1}{dt}; \\ \mu \cdot f_1 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot |p_{N1} - p_2|}{\rho}} \cdot \operatorname{sgn}(p_{N1} - p_2) = \mu \cdot f_2 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot |p_2 - p_1|}{\rho}} \cdot \operatorname{sgn}(p_2 - p_1) + \\ + \mu \cdot \left[\frac{\pi}{2} \cdot ((x_0 - x) \cdot \sin \beta_1 + 2 \cdot d_{s1}) \cdot (x_0 - x) \cdot \sin \frac{\beta}{2} \right] \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot p_2}{\rho}} + \beta \cdot W_A \cdot \frac{dp_2}{dt}. \end{array} \right. \quad (1)$$

$$\left\{ \begin{aligned}
 \frac{di}{dt} &= \frac{1}{T_L} \left(\frac{U_y - K_E \cdot \frac{dx}{dt}}{R} - i \right); \\
 P_S &= K_{Fi} \cdot i; \\
 m_x \frac{d^2 x}{dt^2} &= P_S - p_2 \cdot F_x - c_x \cdot (H_x + x) - c_m \cdot (H_m + x) - b_x \frac{dx}{dt} - T_x \cdot \operatorname{sgn} \frac{dx}{dt}; \\
 Q_{N1} &= \mu \cdot [\pi \cdot d_x \cdot (x - y \cdot \operatorname{tg} \gamma) \cdot \sin \alpha + f_0] \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot |p_{N1} - p_1|}{\rho}} \cdot \operatorname{sgn}(p_{N1} - p_1) + \beta \cdot W_N \cdot \frac{dp_{N1}}{dt} + \\
 &+ \mu \cdot [-d_x \cdot \pi \cdot (x - y \cdot \operatorname{tg} \gamma) \cdot \sin \alpha + f_0] \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot |p_{N1} - p_2|}{\rho}} \cdot \operatorname{sgn}(p_{N1} - p_2); \\
 \mu \cdot [\pi \cdot d_x \cdot (x - y \cdot \operatorname{tg} \gamma) \cdot \sin \alpha + f_0] \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot |p_{N1} - p_1|}{\rho}} \cdot \operatorname{sgn}(p_{N1} - p_1) &= \mu \cdot f_1 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot p_1}{\rho}} + \beta \cdot W_A \cdot \frac{dp_1}{dt}; \\
 \mu \cdot [-d_x \cdot \pi \cdot (x - y \cdot \operatorname{tg} \gamma) \cdot \sin \alpha + f_0] \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot |p_{N1} - p_2|}{\rho}} \cdot \operatorname{sgn}(p_{N1} - p_2) &= \mu \cdot f_2 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot p_2}{\rho}} + \beta \cdot W_B \cdot \frac{dp_2}{dt}; \\
 m_3 \frac{dV_y}{dt} &= p_1 \cdot F - p_2 \cdot F - c \cdot (H + y) - b \frac{dy}{dt} - T \cdot \operatorname{sgn} \frac{dy}{dt}.
 \end{aligned} \right. \quad (2)$$

Математические модели составлены с такими основными допущениями и упрощениями: величина давления в гидролинии питания первого каскада принималась постоянной [1, 5]; рассматривались сосредоточенные параметры; волновые процессы не учитывались [1, 5]; коэффициенты расхода через дроссельные и золотниковые элементы принимались постоянными; объемы гидролиний за время переходного процесса не изменялись; потери давления в гидролиниях не учитывались; коэффициент податливости рабочей жидкости учитывался как величина независимая от давления;

В математических моделях обозначено:

U_m – величина напряжения управления; p_{N1} – давление в линии нагнетания; p_1 – давление управления золотником второго каскада (рис. 1); p_2 – давление, которое формируется клапаном первого каскада 9 (для рис. 1, для рис. 2 p_1 и p_2 – давления управления золотником второго каскада 3); K_E – коэффициент противо-ЭДС; L_m – индуктивность обмоток электромагнита; R – активное сопротивление обмотки электромагнита; I_m – величина тока управления; P_s – толкающее усилие электромагнита; K_{Fi} – коэффициент, который учитывает зависимость толкающего усилия электромагнита от силы тока управления; f_0 – площадь начального открытия рабочих окон сервоэлемента 5; f_1, f_2 – площади рабочих окон дросселей 7 и 8 (в дальнейшем для варианта первого каскада на основе клапанного распределительного элемента, для удобства, будем использовать f_2 и коэффициент соотношения площадей дроссельных элементов $k_f = \frac{f_1}{f_2} \geq 1$); W_A и W_B –

объемы жидкости в точках А и В; W_N – объем жидкости в линии нагнетания (рис. 2); F – площадь торца золотника 5; F_x – площадь элемента первого каскада 9, на которую воздействует давление жидкости; c, c_x, c_m – жесткость пружин 4, 11, 12; H, H_x, H_m –

начальное сжатие пружин 4, 11, 12; m_3 , m_x – масса золотника 3 и клапана (золотника) 9; b , b_x – коэффициент вязкого трения золотника 3 и клапана (золотника) 9; d_3 , d_x , d_{x1} – диаметры золотника 3, клапана (золотника) 9 и входного канала клапана первого каскада 5; y и V_y – координата положения и скорость золотника 3; x и V_x – координата положения и скорость клапана 9; x_0 – начальная координата положения клапана (золотника) 9; T_3 , T_x – силы трения, что воздействуют на золотник 3 и клапан (золотник) 9; α – угол наклона рабочей кромки клапана 3; ρ – плотность рабочей жидкости; μ – коэффициент расхода; β – коэффициент, который учитывает суммарную деформацию рабочей жидкости и резиновометаллических рукавов.

Основное внимание во время исследования уделялось характеристикам перемещения золотника второго каскада, который будет управлять основными потоками в распределителе, а именно: плавности хода, отсутствию колебаний, величине гистерезиса, которые могут ухудшить качество движения рабочего органа ГП.

На основе результатов математического моделирования определено, что движение золотника второго каскада $y(t)$ для варианта первого каскада на основе клапанного распределительного элемента сопровождается колебаниями незначительной амплитуды (рис. 3), движение золотника второго каскада $y(t)$ при управлении другим вариантом первого каскада сопровождается колебаниями большей амплитуды (рис. 4). Значение гистерезиса характеристики $y(u)$ для варианта первого каскада на основе клапанного распределительного элемента составляет – 5,7% (рис. 5), что несколько меньше по сравнению с другим вариантом – 9,5% (рис. 6).

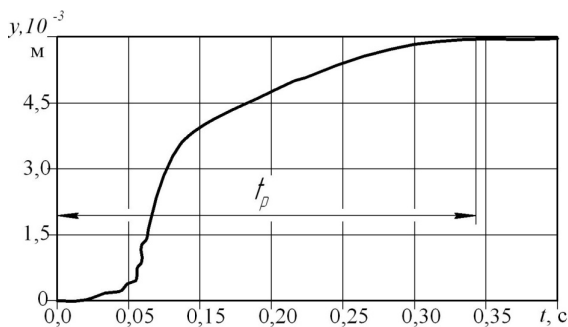


Рис. 3. Зависимость $y(t)$ для первого каскада на основе клапанного распределительного элемента

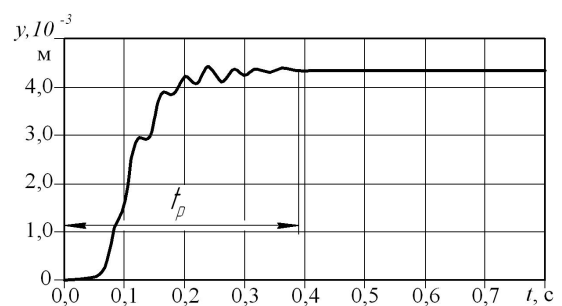


Рис. 4. Зависимость $y(t)$ для первого каскада на основе золотникового распределительного элемента

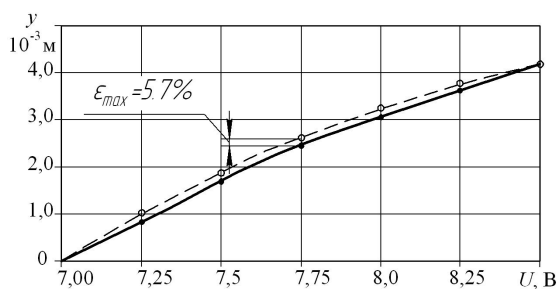


Рис. 5. Зависимость координаты перемещения золотника второго каскада y от напряжения на электромагните $u(u)$ для первого каскада на основе клапанного распределительного элемента (основная линия – прямой ход, штриховая – обратный ход)

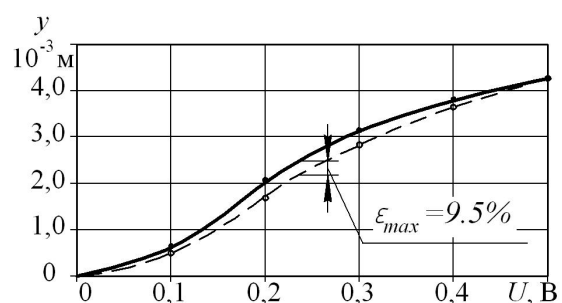


Рис. 6. Зависимость координат перемещения золотника второго каскада y от напряжения на электромагните $u(u)$ для первого каскада на основе золотникового распределительного элемента (основная линия – прямой ход, штриховая – обратный ход)

Достичь улучшения характеристики $y(t)$ для обоих вариантов первого каскада возможно за счёт рационального выбора конструктивных параметров или оптимизации, что подробнее

представлено в работах [1, 7, 8] (рис. 7).

На основе сравнения переходных процессов в первом каскаде при рациональных конструктивных параметрах можно сделать вывод, что первый каскад на основе клапанного распределительного элемента (рис. 2, 8) имеет лучшие динамические характеристики (более низкую колебательность и время регулирования), меньший гистерезис зависимости $y(u)$ – 5,7% и лучшую скорость срабатывания – 0,22 с (определено по переходным процессам перемещения золотника второго каскада для обоих вариантов (рис. 7)).

Данный вариант принят за основу для создания пропорционального электрогидравлического распределителя с независимым управлением потоков.

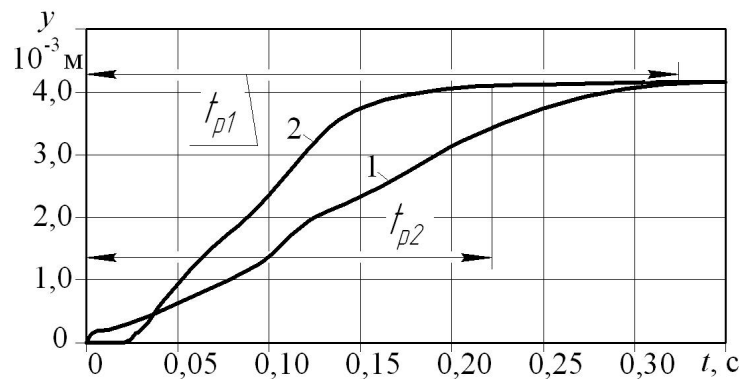


Рис. 7. Зависимость перемещения золотника второго каскада от времени: 1 – вариант первого каскада на основе золотникового распределительного элемента, 2 – вариант первого каскада на основе клапанного распределительного элемента

Выводы

Предложены два варианта первого каскада распределителя (на основе клапанного и золотникового распределительных элементов).

Разработаны математические модели вариантов первого каскада и проведены сравнительные исследования их характеристик, в результате которых избран первый каскад распределителя на основе клапанного распределительного элемента, поскольку данный вариант более быстродействующий (время регулирования $t_p = 0,22$ с), имеет меньший гистерезис $y(u)$ – 5,7% и улучшенные динамические характеристики (более низкую колебательность зависимости $y(t)$).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лозінський Д. О. Пропорційний електрогидравлічний розподільник з незалежним керуванням потоків для мобільних машин: дис. ... канд. тех. наук: 05.02.02 / Лозінський Дмитро Олександрович. – Вінниця, 2010. – 219 с.
2. Абрамов Е. И. Элементы гидропривода: справочник / Е. И. Абрамов, К. А. Колесниченко, В. Т. Маслов. – М.: Техніка, 1977. – 320 с.
3. Гойдо М. Е. Гидроаппаратура с пропорциональным электрическим управлением: Учебное пособие. – 2-е изд., пер. раб. и доп. / М. Е. Гойдо. – Челябинск: ЮУрГУ, 2000. – 140 с.
4. Лещенко В. А. Гидравлические следящие приводы станков с программным управлением / В. А. Лещенко. – М.: Машиностроение, 1975. – 288 с.
5. Разинцев В. И. Электрогидравлические усилители мощности / В. И. Разинцев. – М.: Машиностроение, 1980. – 120 с.
5. Гамынин Н. С. Гидравлический привод систем управления / Н. С. Гамынин. – М.: Машиностроение, 1972. – 376 с.
6. Каталог НР Hydrapac [Электронный ресурс] // Режим доступа: http://www.hydrapac.com/netcat_files/File/catalog_hp.pdf.
7. Дослідження системи керування пропорційним електрогидравлічним розподільником [Електронний ресурс] / Д. О. Лозінський, Л. Г. Козлов, М. М. Лозінська, В. О. Сенченко, Є. І. Шевчук // Наукові праці Вінницького національного технічного університету. – № 2. – 2011. – Режим доступу до журн.: http://www.nbuu.gov.ua/e-journals/VNTU/2011_2/2011-2.files/uk/11dolped_ua.pdf.

8. Буренніков Ю. А. Оптимізація системи управління розподільником з електрогідравлічним регулюванням / Ю.А. Буренніков, Л.Г. Козлов, Д.О. Лозінський // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2005. – № 6. – С. 225 – 229.
9. Черных И. В. Simulink: среда создания инженерных приложений / И. В. Черных. – Диалог-МИФИ, 2004. – 496 с.

Лозинский Дмитрий Александрович – к. т. н., старший преподаватель кафедры технологии и автоматизации машиностроения, Lozinskiy_dmitriy@ukr.net.

Козлов Леонид Геннадиевич – к. т. н., профессор кафедры технологии и автоматизации машиностроения, ftakm@inmt.vstu.vinnica.ua.

Шевчук Евгений Игоревич – магистр кафедры технологии и автоматизации машиностроения, Shevae_111@mail.ru.

Винницкий национальный технический университет.