

## ДРУГИЕ ВИДЫ ТРАНСПОРТА

Научная статья

УДК 621.45

DOI: 10.36535/0236-1914-2022-09-9

### ПРИМЕНЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕМЕНТОВ ГИДРОПРИВОДА ТРАНСПОРТНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

**Лозовецкий Вячеслав Владимирович**

(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

lozovetsky@mail.ru

**Архипенко Андрей Валентинович**

(СМИУ)

andrei\_arhipenko@mail.ru

***Аннотация.** Рассмотрена проблема качества выпускаемой продукции, которая связана с целенаправленной реализацией комплекса взаимосвязанных научных, технических, экономических, организационных, социальных мероприятий. Современные методы решения этой проблемы базируются на использовании системных исследований. Учет множества факторов, оказывающих влияние на качество продукции на всех этапах ее жизненного цикла, позволил создать основу для системного подхода к решению сложной, комплексной проблемы оценки качества продукции и разработки системы управления качеством. В условиях развивающейся рыночной экономики для обеспечения конкурентоспособности выпускаемой продукции применение системных методов решения проблемы качества способствует снижению всех видов затрат у разработчика, изготовителя и потребителя продукции.*

***Ключевые слова:** качество, методы, продукция, статистические методы, вероятность, среднее квадратичное отклонение.*

***Для цитирования:** Лозовецкий В.В., Архипенко А.В. Применение статистических методов для исследования качества элементов гидропривода транспортных технологических систем // ТРАНСПОРТ: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. 2022. № 9. С. 54-59. DOI: 10.36535/0236-1914-2022-09-9.*

## OTHER MODES OF TRANSPORT

Scientific article

### APPLICATION OF STATISTICAL METHODS TO STUDY THE QUALITY OF HYDRAULIC DRIVE ELEMENTS OF TRANSPORT TECHNOLOGICAL SYSTEMS

**Lozovetsky Vyacheslav Vladimirovich**

(MTSU named after N.E. Bauman)

lozovetsky@mail.ru

**Arhipenko Andrey Valentinovich**

(SIU)

andrei\_arhipenko@mail.ru

***Abstract.** The problem of product quality, which is related to the implementation of a focused set of interrelated scientific, technical, economic, organizational and social activities. Modern methods for solving this problem based on the use of systems research. Given the variety of factors affecting the quality of products at all stages of its life cycle, providing a basis for a systematic approach to solving complex, the complex problem of assessing the quality of products and the development of a quality management system. In an emerging market to ensure competitiveness of the production system application methods for solving problems of quality helps to reduce all types of costs from the developer, manufacturer and consumer products.*

***Key word:** quality, methods, products, statistical methods, probability, standard deviation*

***For citation:** Lozovetsky V.V., Arhipenko A.V. Application of Statistical methods to study the quality of Hydraulic Drive elements of Transport Technological Systems // TRANSPORT: science, equipment, management. Scientific information collection. 2022. №. 9. P. 54-59. DOI: 10.36535/0236-1914-2022-09-9.*

### Введение

Качество функциональных элементов продукции транспортных технологических систем представляет собой самостоятельную комплексную научно-техническую проблему. Найти решение этой проблемы в каждом конкретном случае значит провести исследования качества, установить нормативные требования на показатели качества продукции, отработать технологию производства данной продукции и найти способы превентивного контроля ее качества, определить способы поддержания требуемого уровня качества при эксплуатации данной продукции. Совокупность научно-методических, технических, экономических, организационных и других мероприятий, базирующихся на решении проблемы качества продукции, является основой системы управления качеством. Любой другой подход к этой проблеме, не основанный на идее комплексности решения и управления, в лучшем случае обречен на контроль отдельных свойств продукции на этапе ее производства, что и наблюдается, как правило, при практическом решении этой проблемы. Проблема качества выпускаемой продукции связана с целенаправленной реализацией комплекса взаимосвязанных научных, технических, экономических, организационных, социальных мероприятий, современные методы решения этой проблемы базируются на использовании системных исследований. Учет множества факторов, оказывающих влияние на качество продукции на всех этапах ее жизненного цикла, составляет основу системного подхода к решению сложной, комплексной проблемы качества продукции и разработки системы управления качеством. В условиях развивающейся рыночной экономики для обеспечения конкурентоспособности выпускаемой продукции применение системных методов решения проблемы качества способствует снижению всех видов затрат у разработчика, изготовителя и потребителя продукции.

### Постановка задачи

Статистические методы исследования качества промышленной продукции можно подразделить на две основные группы: на сравнительные и вероятностные методы оценки качества. В любом из этих случаев речь идет не о системном исследовании качества, а о близости получаемых результатов к требованиям директивной документации на продукцию или к результатам решения оптимизационных задач исследования эффективности энергетических систем и работоспособности их элементов.

Сравнительные методы оценки качества основаны на использовании исходной информации по базовому варианту продукции, для которого известны все основополагающие свойства. В рамках установившихся представлений о проблеме управления качеством продукции принято считать, что на этапе разработки продукции следует проводить оценку ее технического уровня, а на этапах изготовления и эксплуатации продукции - качества. При этом под техническим уровнем продукции понимается совокупность установленных в процессе исследования качества требований и нормированных показателей качества на продукцию.

Под уровнем качества продукции понимается сравнительные данные показателей качества данного вида

продукции по отношению к базовому варианту. Промышленную продукцию при этом разделяют на две группы: расходуемую при использовании (сырье и природное топливо, материалы и продукты, расходные изделия) и расходующую свой ресурс (неремонтируемые и ремонтируемые изделия). Оценка уровня качества осуществляется на базе следующих показателей: целевого назначения, надежности; эстетических, экономических, эргономических, экологических показателей; показателей унификации, технологичности, транспортабельности, безопасности и патентно-правовых. Определяющими при этом являются, как правило, показатели надежности, технологичности и экономические. Базовый образец выбирается из продукции, аналогичной по назначению, условиям производства и условиям эксплуатации или потребления. Методы оценки уровня качества продукции подразделяют на дифференцированные, комплексные и смешанные.

Способ функционального диагностирования гидроприводов, являющихся важнейшими функциональными элементами транспортно-технологических машин, для определения качества, технического состояния и остаточного их ресурса может быть реализован с помощью специальных средств диагностирования и измерительной аппаратуры, изображенных на рисунке 1 [1, 2, 3].

Схема содержит опорно-поворотное устройство 1, гидроцилиндры 2, 3, тензометрические датчики давления 4, 5, 6, аналого-цифровой преобразователь 7, компьютер 8, запорные клапаны 9, 10, 11, блок управления запорными клапанами 12, источник питания 13 и рукава высокого давления 14, ротатор 15.

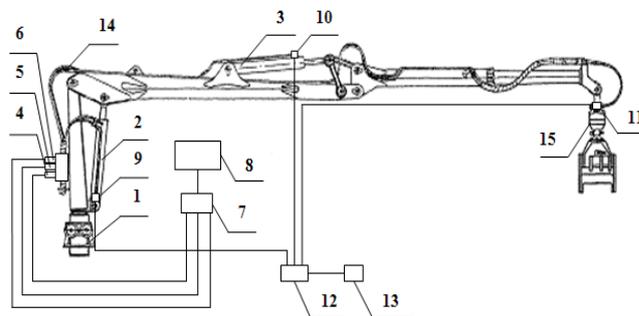


Рис. 1. Средства диагностирования и измерительная аппаратура

При дифференцированном методе рассчитываются относительные величины показателей качества однородной продукции по формуле 1:

$$q_i = \frac{Q_i}{Q_{6i}} \quad \text{или} \quad q'_i = \frac{Q_{6i}}{Q_i} \quad (1)$$

где  $Q_i$  - значение  $i$ -го показателя качества оцениваемого образца продукции;  $Q_{6i}$  - значение  $i$ -го показателя качества базового образца продукции.

Если среди показателей качества оцениваемого образца продукции некоторая их часть ограничена предельными значениями  $Q_{\text{гпр}}$ , то  $q_i$  определяют по формуле 2:

$$q_i = \frac{Q_i - Q_{\text{гпр}}}{Q - Q_{\text{гпр}}} \quad (2)$$

При дифференцированном методе оценки уровня качества продукции для каждого из показателей должно выполняться условие  $q_i \geq 1$ . Если это условие не выполняется для некоторой части показателей, то все показатели делятся на две группы: определяющие и второстепенные. Если  $q_i \geq 1$  для определяющих и большей части второстепенных показателей, то считается, что уровень качества оцениваемой продукции выше базового.

Если имеется возможность сгруппировать большинство показателей в один обобщенный или в функциональную комплексную зависимость, то оценка уровня качества проводится комплексным методом с использованием обобщенного показателя. Если отдельные показатели можно сгруппировать в несколько групп (включая и отдельные единичные показатели), то оценку уровня качества продукции осуществляют смешанным методом, используя процедуру дифференциального метода.

Оценку уровня качества разнородной продукции осуществляют с помощью индексов качества и дефектности:

$$J = \sum_{i=1}^N \gamma_i \frac{k_i}{k_{0i}}, \quad (3)$$

где  $k_i$ ,  $k_{0i}$  – комплексный (обобщенный) показатель качества (дефектности)  $i$ -ой продукции за рассматриваемый промежуток времени и базовый показатель соответственно;  $\gamma_i$  – коэффициент весомости данного вида продукции среди  $N$  её видов.

Уровень качества продукции устанавливается по результатам аттестационных испытаний, в процессе которых получают совокупность значений показателей качества.

На основе аттестационных испытаний продукции и оценки уровня качества разрабатывается "Карта технического уровня и качества продукции", которая является одним из основных нормативно-технических документов (ГОСТ 2.116-84) на данную продукцию.

С учётом сказанного, способ диагностирования гидроприводов транспортно-технологических машин заключается в том, что при функционировании гидропривода создаются гидроударные воздействия с помощью резкого закрытия запорных клапанов установленных перед напорной полостью гидроцилиндров, которые с помощью установленных тензометрических датчиков давления и через аналого-цифровой преобразователь (усилитель) записываются на компьютер (осциллограф). По получаемым при гидроударных воздействиях параметрам колебаний жидкости строится логарифмический декремент  $\delta$  сравнение, которого с предельным значением позволяет судить об общем техническом состоянии РВД гидропривода.

Схема запорного клапана (без электромагнитного клапана), с помощью которого создавался гидроудар, показана на рисунке 2.

Разработанный способ функционального диагностирования гидроприводов может быть применен для современных транспортно-технологических машин, используемых в различных предприятиях.

Проведенные лабораторные исследований РВД показали, что после создания гидроударного воздействия в трубопроводах возникают колебательные процессы,

связанные с повышением их упругих свойств, которые могут быть определены косвенным путем через коэффициент податливости, что послужило основанием для разработки нового способа диагностирования упругих трубопроводов и устройства для его осуществления при определении их технического состояния во время проведения технического обслуживания или ремонта гидроприводов транспортно-технологических машин [10, 11].

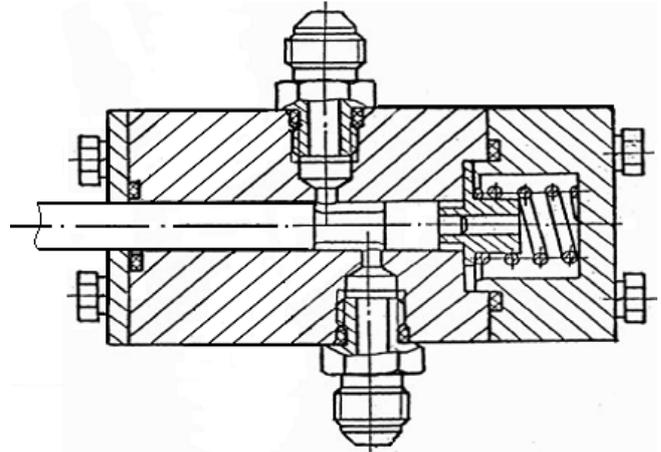


Рис. 2. Схема запорного клапана создающего гидроудар

Предлагаемый способ диагностирования может быть реализован с помощью разработанной установки, схема которого показана на рисунке 3 [4, 9].

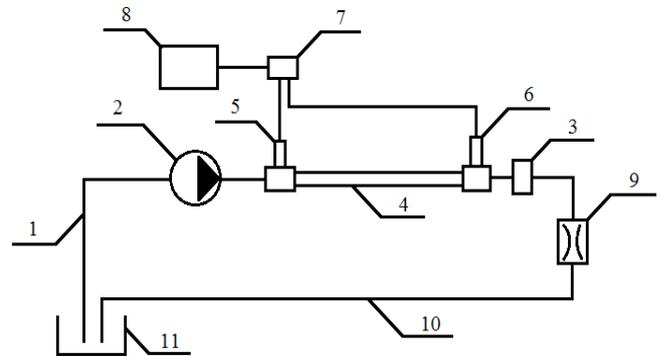


Рис. 3. Схема установки для диагностирования рукавов высокого давления: 1 – линия всасывания, 2 – насос; 3 – запорный клапан; 4 – рукав высокого давления (РВД); 5, 6 – датчики давления ТТД-200; 7 – усилитель сигналов; 8 – осциллограф; 9 – дроссель; 10 – линия всасывания; 11 – гидробак

Установка содержит линию всасывания 1 соединенную с насосом 2, который связан с запорным клапаном 3, испытуемым трубопроводом 4 с обоих концов, которого установлены тензометрические датчики давления 5 и 6 подключенные к компьютеру 8 через преобразователь сигналов 7. Для поддержания давления в гидросистеме служит дроссель 9, который соединен линией слива 10 с гидробаком 11.

Способ диагностирования осуществляется следующим образом. Жидкость, закачиваемая из гидробака 11 насосом 2, подается через линию всасывания 1 в испытуемый трубопровод 4 под давлением, которое создается в гидросистеме с помощью дросселя 9.

При подаче сигнала, запорный клапан 3 резко перекрывает движение потока жидкости вследствие этого в

испытываемом трубопроводе 4, происходит гидроудар. Полученные при гидроударе параметры затухающих колебаний трубопровода с жидкостью определяются тензометрической аппаратурой (датчики давления 5, 6 и аналого-цифровой преобразователь 7) и записываются на компьютер (осциллограф) 8. По параметрам затухающих колебаний давления жидкости в испытываемом трубопроводе 4 и по отклонению их от эталонного значения судят о техническом состоянии и остаточном ресурсе испытываемого трубопровода.

Данный способ диагностирования позволяет с достаточной степенью точности охарактеризовать техническое состояние РВД. При разработке способа диагностирования рукавов высокого давления и устройства для его осуществления использовано свойство РВД – потеря упругих свойств в процессе эксплуатации за счет старения резины, появления внутренних микротрещин, микроразрывов оплеток и других неисправностей.

Вследствие разных причин значения показателей качества такой продукции, в том числе и ее базового образца, могут быть определены лишь с некоторым приближением к их истинным значениям. В этом случае используются вероятностные методы определения показателей качества, одним из которых является логарифмический декремент колебаний системы  $\delta$ , имеющий наибольший диагностический вес и являющийся достаточным показателем, характеризующим качество и работоспособность гидравлического оборудования [5, 6, 8]. Предполагается при этом, что с помощью вероятностных математических процедур при обработке некоторой ограниченной информации (выборке значений показателей качества) можно с доверительной вероятностью предсказать истинное (точнее, действительное) значение данного показателя качества и интервал его значений. По ограниченной выборке значений данного показателя качества, полученной на основании расчетов или при испытании продукции, определяется закон распределения этого показателя качества как случайной величины, находятся числовые характеристики закона распределения и производится сравнение показателей качества оцениваемого и базового образцов продукции. В большинстве случаев используется гипотеза нормального закона распределения (закон Гаусса) случайной величины

$$\varphi = \sigma(x)^{-1} \frac{\exp \left[ -\frac{(x-m_x)^2}{2\sigma_x^2} \right]}{2\sigma_x^2}, \quad (4)$$

где,  $m_x$  – математическое ожидание (действительное значение) величины  $x$ ;  $\sigma_x$  – среднеквадратичное отклонение величины  $x$  от ее действительного значения.

Как правило, выборка значений показателя качества представляет собой числовой ряд (дискретное распределение). В этом случае действительное значение показателя качества оценивается как среднее арифметическое по выборке  $n$

$$m_x = \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i. \quad (5)$$

Точность такой оценки характеризуется дисперсией  $D$  или оценкой среднего квадратичного  $S_x$

$$S_x = D^{0.5} = \left[ \frac{(x-\bar{x})}{n(n-1)} \right]. \quad (6)$$

Если задаться величинами доверительных вероятностей  $\alpha_n$  и  $\alpha_b$  можно установить нижнюю и верхнюю границы значений показателя качества. Эти границы определяются по формулам

$$x_n = \bar{x} - t_{\alpha_n} S_x, \quad (7)$$

где  $t_{\alpha}$  – коэффициент Стьюдента, в случае, если не известна величина  $D$  и рассчитывается  $S_x$ ;

$$x_n = \bar{x} - k_n D^{0.5}, \quad x_b = \bar{x} + k_b D^{0.5}, \quad (8)$$

где  $k$  – нормированный коэффициент распределения Гаусса в случае, если известна величина  $D$ .

При вероятностных методах оценки качества продукции возможны ситуации, когда часть значений рассматриваемого показателя качества получена при выборке  $n_1$ , а другая часть при выборке  $n_2$ . В этом случае необходимо провести сравнение средних  $\bar{x}_1$  и  $\bar{x}_2$ , чтобы оценить, что это различие является случайным. Для известных характеристик  $\delta_1$  и  $\delta_2$  определяется величина  $K$  [7]

$$K = \frac{\left( \left| \bar{x}_1 - \bar{x}_2 \right| \right)}{\left( \frac{\delta_1^2}{n_1} + \frac{\delta_2^2}{n_2} \right)^{-0.5}} \quad (9)$$

и для заданной доверительной вероятности  $\alpha$  сравниваются величины  $K$  и  $K_{\alpha}$  (таблицы распределения Гаусса). Если  $K \leq K_{\alpha}$ , то различие между  $\bar{x}_1$  и  $\bar{x}_2$  признается случайным, в противном случае – неслучайным и среднее значение принимается равным  $\bar{x} = \frac{(\bar{x}_1 + \bar{x}_2)}{2}$ .

$$t = \frac{\left( \left| \bar{x}_1 - \bar{x}_2 \right| \right)}{\left\{ \left( \frac{n_1 + n}{n_1 n_2} \right) \left[ \frac{(n_1 - 1) S_1^2 + (n_2 - 1) S_2^2}{(n_1 + n_2 - 2)} \right] \right\}^{-0.5}} \quad (10)$$

Для рассчитанных значений  $S_1$  и  $S_2$  определяется величина  $t$  и для заданной доверительной вероятности  $\alpha$  сравниваются величины  $t$  и  $t_{\alpha}$  (таблицы распределения Стьюдента). Если  $t < t_{\alpha}$ , то различие между  $\bar{x}_1$  и  $\bar{x}_2$  признается случайным, в противном случае – неслучайным.

В статистических методах оценки качества продукции особое место занимают методы, основанные на анализе показателей качества, которые являются случайными функциями времени. Такие методы используются, например, при оценках сохранности свойств материала и изделий при длительном хранении и транспортировании, при оценке ресурса безотказной работы, при статистическом регулировании технологических процессов.

При использовании статистических методов оценки качества продукции основное внимание уделяется выборке показателей качества. Приоритетом обычно ис-

пользуются комплексные показатели качества типа удельной стоимости, относительной массы, энергоёмкости, тяговооруженности и т.д. Среди таких комплексных, основополагающих показателей качества является надежность, которая включает в себе показатели работоспособности продукции в данный момент времени в заданных условиях эксплуатации. Надежность продукции, как безотказность работы, можно записать, например, в виде

$$P = \frac{\Pi_i P_i}{P_{xp}} \quad (11)$$

где  $P_i$  – вероятность безотказной работы продукции при воздействии на нее факторов, характеризующих  $i$ -й показатель работоспособности при условии, что вероятность сохранности свойств продукции при длительном хранении и транспортировании в установленных границах принимает значение  $P_{xp}$ .

Вероятность сохранности свойств продукции в течение времени, при воздействии на продукцию нагрузок при хранении и транспортировании, может быть выражена экспоненциальной зависимостью

$$P_{xp} = \exp\left(-\frac{t}{\tau_{cp}}\right), \quad (12)$$

где  $\tau_{cp} = \tau_{max} P_0$  – среднее время безотказной работы изделия в данных условиях эксплуатации;  $\tau_{max}$  – максимальная длительность работы изделия при максимальных расчетных нагрузках, определяющих данный показатель работоспособности до потери работоспособности;  $P_0$  – вероятность появления предполагаемых расчетных нагрузок в процессе эксплуатации изделия.

Вероятность того, что  $i$ -й показатель работоспособности продукции  $\Pi_i$  за время ее эксплуатации находится в установленных границах  $\Pi_1, \Pi_2$  равна:

$$P_i = \Phi\left(\frac{\Pi_1 - m_{ni}}{\sigma_{ni}}\right) - \Phi\left(\frac{\Pi_2 - m_{ni}}{\sigma_{ni}}\right), \quad (13)$$

где  $\Phi(\Pi, m_n, \sigma_n)$  – интеграл вероятностей Гаусса;  $\sigma_n$  – среднее квадратичное отклонение величины  $\Pi$ ;  $m_n$  – математическое ожидание величины  $\Pi$  при воздействии на продукцию соответствующих нагрузок.

Использование такого подхода к оценке надежности продукции дает возможность исключить из анализа уровня качества целый ряд отдельных показателей, характеризующих работоспособность продукции в данных условиях ее эксплуатации.

Если такие комплексные показатели качества удается представить функциональными зависимостями от некоторых фиксированных свойств продукции, то статистические методы оценки качества можно свести к системным методам исследования качества продукции.

### Выводы

1. Предложен метод функционального диагностирования гидроприводов транспортно-технологических машин, позволяющий построить логарифмический декремент  $\delta$ , сравнение которого с предельным его значением  $\delta = 0,540$  характеризует общее техническое состояние гидропривода и его элементов.

2. По параметрам затухающих колебаний давления жидкости в испытуемом оборудовании и по отклонению их от эталонного значения судят о его техническом состоянии и остаточном ресурсе.

3. Если комплексные показатели качества удается представить функциональными зависимостями от некоторых фиксированных свойств продукции, в частности, логарифмическим декрементом затухания давления  $\delta$  для гидроприводов, то статистические методы оценки качества можно свести к системным методам исследования качества продукции.

4. Статистические методы оценки качества в настоящее время остаются незаменимым методическим инструментом при решении проблемы управления качеством продукции.

### Список источников

1. Лозовецкий В.В. Гидро- и пневмопривод транспортно-технологических машин. Учеб. пособие. С-Пб, М.: Кр., "Лань". – 2012. – 554 с.
2. Лозовецкий В.В., Комаров Е.Г. Расчёт и проектирование электрогидравлических систем и оборудования транспортно-технологических машин. Учебник. С-Пб, М.: Кр., "Лань". – 2017. – 418 с.
3. Лозовецкий В.В., Комаров Е.Г. Робототехнические комплексы – средства автоматизации процессов и производств лесной промышленности. Учебник. С-Пб, М.: Кр., "Лань". – 2021. – 564 с.
4. Пат. 2464455 Российская Федерация, МПК F15B 19/00 Способ функционального диагностирования гидроприводов /Павлов А.И., Лощёнов П.Ю.; заявитель и патентообладатель А.И. Павлов, П.Ю. Лощёнов. - № 2011122101/06; заявл. 31.05.11; опубл. 20.10.12, Бюл. № 29 – 3 с.
5. Павлов А.И. Надёжность гидроприводов лесосечных машин. Научное издание. Йошкар-Ола. – 2004. – 211 с.
6. Мурашёв В.П. Роботы и манипуляторы в лесном комплексе: Учебник. М.: МГУЛ, 2003. – 240 с.
7. Сюнёв, В.С. Лесосечные машины в фокусе биоэнергетики: конструкции, проектирование, расчет: Учеб. пособие / В.С. Сюнёв, А.А. Селиверстов, Ю.Ю. Герасимов, А. П. Соколов. – Йоэнсуу: НИИ леса Финляндии METLA, 2011. – 143 с.
8. Пат. 2464455 Российская Федерация, МПК F15B 19/00 Способ функционального диагностирования гидроприводов /Павлов А.И., Лощёнов П.Ю.; заявитель и патентообладатель А.И. Павлов, П.Ю. Лощёнов. - № 2011122101/06; заявл. 31.05.11; опубл. 20.10.12, Бюл. № 29 – 3 с.
9. Васильченко, В.А. Гидравлическое оборудование мобильных машин. – М.: Машиностроение, 1983. – 298 с.
10. Вильнер, Я.Н. Справочное пособие по гидравлике, гидромашинам и гидроприводам /Я.Н. Вильнер, Я.Т. Ковалёв, Б.Б. Некрасов [и др.]// под общей редакцией Б.Б. Некрасова. – Минск: Высш. шк., 1985. – 382 с.
11. Никитин, О.Ф. Объёмные гидравлические и пневматические приводы /О.Ф. Никитин, К.М. Холин. – М.: Машиностроение, 1981. – 269 с.

**Сведения об авторах**

**Лозовецкий Вячеслав Владимирович** - д.т.н., профессор Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана, (Мытищинский филиал), Мытищи 5, 1-ая Институтская ул., д. 1, тел. 8-915-347-48-00

**Архипенко Андрей Валентинович** - к.т.н., Сочинский международный инновационный университет, г. Сочи ул. Орджоникидзе 98; тел: 8(953) 077-39-75.

**Information about the authors**

**Lozovetsky Vyacheslav V.** - Doctor (Tech.), Professor of the Bauman Moscow State Technical University, (Mytishchi branch), Mytishchi 5, 1st Institutskaya str., 1

**Archipenko Andrey V.** – Ph. (Tech.), Sochi International Innovation University, Sochi ul. Ordzhonikidze 98.

Статья поступила в редакцию 10.06.2022, одобрена после рецензирования 15.07.2022, принята к публикации 24.07.2022.

The article was submitted 10.06.2022, approved after reviewing 15.07.2022, accepted for publication 24.07.2022.

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

All authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The authors declare that there is no conflict of interest.