

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ УДАРНЫХ СТЕНДОВ НА БАЗЕ ГИДРОУПРУГОГО ПРИВОДА

Васильева Л. В., Грановский А. Е., Алексеева К. Г.

Определены актуальность темы исследования и область применения, основной целью которой является получение более точных расчетов ударных стендов, применяющихся в современной технике, при помощи программно-методического комплекса. Приведены основные проектировочные и прочностные расчеты, используемые для проектирования ударных стендов на базе ГУП. Ударные стенды разделены на группы, исходя из массы испытуемых объектов и по конструктивным особенностям. Для каждой из групп испытуемых объектов была выбрана оптимальная конструкция ударного стенда и методика проектировочно-прочностных расчетов. Представлены структурно-функциональные модели нулевого и первого уровня системы «Проектирование ударных стендов» на основе SADT технологии. Разработан программно-методический комплекс для автоматизированного проектирования ударных стендов на базе гидроупругого привода. Сделаны выводы о функциональности, затратах времени и области применения разработанного комплекса.

Визначені актуальність теми дослідження та область використання, основною метою якої є отримання більш точних розрахунків ударних стендів, які застосовують у сучасній техніці, за допомогою програмно-методичного комплексу. Приведено основні проектувальні і міцнісні розрахунки, які використовують для проектування ударних стендів на базі ГПП. Ударні стенди розділено на групи, виходячи з маси об'єктів, що випробовуються і за конструктивними особливостями. Для кожної з груп об'єктів, що випробовуються, була обрана оптимальна конструкція ударного стенду та методика проектувально-міцнісних розрахунків. Представлені структурно-функціональні моделі нульового та першого рівня системи «Проектування ударних стендів» на основі SADT технології. Розроблено програмно-методичний комплекс для автоматизованого проектування ударних стендів на базі гідропружного приводу. Зроблено висновки про функціональність, витрати часу та області використання розробленого комплексу.

The research relevance and sphere of its application have been determined. The main goal of the research is to obtain more accurate calculations of the shock stands used in the modern equipment with the help of the program and methodical complex. The main designing and strengthening computations used for projecting shock stands on the base of HD have been represented. Shock stands have been divided into groups according to the mass of a tested object and its structural features. Optimal design of shock stands and the procedure of designing and strengthening calculations have been chosen for each group of the tested objects. Structural-functional models of zero and first level of the system “Design of shock stands” on the basis of SADT technologies have been demonstrated. A Program and methodical complex for automated designing of shock stands on the basis of the hydro-elastic drive has been developed. Conclusions on the functionality, time consumption and spheres of application of the developed complex have been drawn.

Васильева Л. В.

канд. техн. наук, доц. ДГМА

Грановский А. Е.

инженер-конструктор НКМЗ

Алексеева К. Г.

магистрант ДГМА
kristina_alekseeva@mail.ua

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск;
НКМЗ – Новокраматорский машиностроительный завод, г. Краматорск.

УДК 004.942:621.81:539.3/5

Васильева Л. В., Грановский А. Е., Алексеева К. Г.

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ УДАРНЫХ СТЕНДОВ НА БАЗЕ ГИДРОУПРУГОГО ПРИВОДА

Применение гидроупругого привода (ГУП) началось в машинах для обработки металлов давлением (ОМД) примерно 40 лет назад. Гидроупругий привод был применен в машинах ОМД типа молотов, пресс-молотов, машинах для листовой штамповки эластичной средой, машинах для отрезки проката, труб, заготовок [1–3]. ГУП применяется в машинах, когда требуется приложение больших сил за короткий промежуток времени (время действия силы от 0,01 до 0,001 секунды). Сравнительно высокая точность действия сил во времени позволяет эффективно использовать ГУП в испытательной технике типа ударных стендов для испытания изделий статическими, динамическими и вибрационными нагрузениями в различной их комбинации. Усовершенствование устройства ГУП и расширение области его применения для совершенствования технологий и машин разных отраслей машиностроения происходит и в настоящее время [4, 5], что говорит об актуальности данной темы.

Целью данной статьи является получения более точных расчетов ударных стендов на базе ГУП, применяющихся в современной технике, при использовании разработанного программно-методического комплекса для автоматизированного проектирования ударных стендов на базе гидроупругого привода.

Вследствие того, что аналога программы для расчета ударных стендов на базе гидроупругого привода нет, была использована разбивка программы на основные блоки, и для каждого блока находились аналоги программы и производился их анализ.

В итоге анализа аналогов [6–11] можно сделать общий вывод, что данные пакеты и программы не подходят для цели, поставленной в данной работе – создание ПК для проективно-прочностного расчета ударных стендов на базе гидроупругого привода – так как имеют ряд недостатков, исходя из поставленной цели:

- узконаправленность – нет возможности даже косвенного использования для других целей;
- предназначенность для строительных целей;
- наличие малой базы для расчета общетехнических задач;
- возможность проведения только статических расчетов;
- наличие углубленных знаний для создание физико-математических моделей сложных динамических систем;
- отсутствие элементов, позволяющих описать процесс работы ГУП.

Разработанный программно-методический комплекс (ПМК) предназначен для автоматизации проведения проективно-прочностных расчетов базовых параметров и деталей ударных стендов на базе гидроупругого привода, предназначенных для проверки испытываемых объектов, находящихся в созданной базе данных, на ударостойкость и ударопрочность. Комплекс используется для вновь проектируемых стендов и для проверочных расчетов уже спроектированных стендов, отрисовки в САД-системе камеры высокого давления, как базовой и высоконагруженной детали привода стенда. Область применения программно-методического комплекса – использование его как полнофункционального программного продукта для проектирования новых стендов и проверки уже существующих.

Приведем основные проективно-прочностные расчеты, используемые для проектирования ударных стендов на базе ГУП в требуемой последовательности.

Определение ускорения

Для определения диапазона ускорения, создаваемого стендом, необходимо записать закон движения системы [12]:

$$Ma = P_{\text{дв}} - P_{\text{тр}} - Mg, \quad (1)$$

где $M = m_{\text{исп.об.}} + m_{\text{н.ч.}}$, кг – масса подвижных частей;

$m_{\text{исп.об.}}$, кг – масса испытуемого объекта;

$m_{\text{н.ч.}} = 1$ кг – масса подвижных частей стенда;

$P_{\text{дв}} = p \cdot \frac{\pi}{4} d_{\text{шт}}^2$ – движущая сила,

$d_{\text{шт}}$ – диаметр штока-клапана, мм;

p_p – максимальное рабочее давление, МПа;

$P_{\text{тр}} = f\pi d_{\text{шт}} b p$ – сила трения штока-клапана об уплотнения,

f – коэффициент трения;

b – высота уплотнений, мм.

Из вышезаписанного уравнения (1) находится диапазон ускорений при p_p и $p_{p \min}$.

Ускорение при минимальном рабочем давлении $p_{p \min}$:

$$a_{\min} = \frac{p_{p \min} \cdot \frac{\pi}{4} d_{\text{шт}}^2 - f\pi d_{\text{шт}} b p_{p \min} - Mg}{M}, \text{ м/с}^2.$$

Ускорение при максимальном рабочем давлении p_p :

$$a_{\max} = \frac{p_p \cdot \frac{\pi}{4} d_{\text{шт}}^2 - f\pi d_{\text{шт}} b p_p - Mg}{M}, \text{ м/с}^2,$$

где $p_{p \min}$ – минимальное рабочее давление, МПа.

Определим ориентировочный активный ход штока-клапана:

$$h_{\min} = \frac{a_{\max} t_{\min}^2}{2 \cdot 2}, \text{ м}; \quad h_{\max} = \frac{a_{\max} t_{\max}^2}{2 \cdot 2}, \text{ м}, \quad (2)$$

где $t_{\min} = 0,00025$ с – предположительное минимальное время действия ударного импульса;

$t_{\max} = 0,005$ с – предположительное максимальное время действия ударного импульса.

Принимаем активный ход штока-клапана равным h из вышерасчитанного диапазона.

Тогда энергия удара будет равна:

$$W = \frac{1}{2} P_{\text{дв}} h = \frac{1}{2} \cdot p_p \frac{\pi}{4} d_{\text{шт}}^2 h, \text{ Дж}. \quad (3)$$

Определение объема рабочей жидкости [12]:

$$Q = \frac{Wc}{(E_0 + cp_0) \left\{ \frac{1}{(c-1)} \left[\left(\frac{E_0 + cp_1}{E_0 + cp_0} \right)^{\frac{c-1}{c}} - 1 \right] - \left[1 - \left(\frac{E_0 + cp_0}{E_0 + cp_1} \right)^{\frac{1}{c}} \right] \right\}}, \text{ м}^3. \quad (4)$$

где $p_a = 0,1$ МПа – атмосферное давление;

Q – объем сжимаемой жидкости, м^3 ;

$E_0 = 1297,6$ МПа – модуль объемной упругости масла Индустриального 20;

$c = 11,65$ – угловой коэффициент масла;

Уточняем активный ход подвижных частей по следующей формуле:

$$h_y = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} (d_{um} \cdot 10^{-3})^2} \left[\left(\frac{E_0 + cp_p}{E_0 + cp_a} \right)^{\frac{1}{c}} - 1 \right], \text{ м.} \quad (5)$$

Определяем приращение объема рабочей жидкости:

$$\Delta Q = h_y \frac{\pi}{4} (d_{um} \cdot 10^{-3})^2, \text{ м}^3. \quad (6)$$

Определим время, в течение которого действует ускорение:

$$t = \sqrt{\frac{2S}{a_{CP}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 2 \cdot S}{a_{\max}}}, \text{ с.} \quad (7)$$

Расчет цилиндра ударного нагружения

Наружный радиус цилиндра определим по формуле:

$$r_H = r_B \left(\frac{2p}{2,3[\sigma] - p} + 1 \right), \text{ мм,} \quad (8)$$

где r_B – внутренний радиус цилиндра;

$[\sigma]$ – допускаемые напряжения для кованных цилиндров.

Клапан-шток рассматриваем как цилиндр, нагруженный внешним давлением. Опасной является точка внутренней поверхности. Определим действующие напряжения в этой точке.

$$\sigma_1 = \sigma_r = -\frac{p \cdot r_H^2}{r_H^2 - r_B^2} \left(1 - \frac{r_B^2}{r_H^2} \right) = 0; \quad \sigma_2 = \sigma_z = 0; \quad (9)$$

$$\sigma_1 = \sigma_\tau = -\frac{p \cdot r_H^2}{r_H^2 - r_B^2} \left(1 + \frac{r_B^2}{r_H^2} \right),$$

где σ_r – радиальное напряжение;

σ_z – осевое напряжение;

σ_τ – тангенциальное напряжение.

Условие прочности по IV теории имеет вид:

$$\sigma_{ЭКВ.IV} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2} \leq [\sigma]. \quad (10)$$

Запас прочности по пределу текучести составит:

$$n = \frac{\sigma_T}{\sigma_{ЭКВ.IV}}. \quad (11)$$

Процесс автоматического расчета ударного стенда осуществляется для каждой из групп испытуемых объектов в зависимости от массы испытуемого объекта. При этом для каждой группы производятся разные по сложности расчеты, связанные одной методикой. Это связано с тем, что для испытуемых объектов различной массы, но лежащей в определенной группе (диапазон масс), целесообразно проектировать стенд, имеющий параметры, удовлетворяющие параметрам испытания изделия, его габаритам и массе. Чем больше габариты, масса и выше перегрузки, действующие на изделие в процессе его эксплуатации или транспортировки, тем сложнее и больше будет стенд и тем сложнее и дольше будет процесс расчета.

Исходя из этого, для каждой из групп испытуемых объектов была выбрана оптимальная конструкция ударного стенда. Каждая конструкция имеет набор исходных данных, определяющих начальные размеры характерных деталей и узлов стенда, а также параметры рабочего давления, времени действия переднего фронта ударного импульса, рабочего хода и т.д. Эти исходные данные являются отправными точками для первоначального расчета стенда и впоследствии могут быть изменены. Общими исходными данными для каждой из конструкций являются: диапазон масс испытуемого объекта, масса подвижных частей, диаметр штока-клапана, рабочее давление, активный ход подвижных частей, время действия переднего фронта ударного импульса, внутренний диаметр полости камеры высокого давления.

В качестве исполнителя автоматизируемого процесса выступает комплекс, контролирующий процесс расчета, база данных, а также пользователь.

Структурно-функциональная модель нулевого уровня системы «Проектирование ударных стендов» на основе SADT технологии представлена на рис. 1. На этой диаграмме представлены входы и выходы, участники системы, а также нормативные документы для осуществления процесса.

На вход подается список объектов для испытания. Исполнителями являются пользователь, ПМК и БД.

На рис. 2 приведена детализирующая структурно-функциональная модель первого уровня для процесса автоматического проектирования ударных стендов.

Цель создания системы – сокращение времени, затрачиваемое на расчеты. Отсутствие проведения пользователем сложных и громоздких расчетов, а именно: расчет гидродемпфера, расчет стола, расчет скорости в момент начала торможения, расчет скорости и перемещения в конце пути торможения и т.д.



Рис. 1. Контекстная структурно-функциональная модель нулевого уровня процесса «Проектирование ударных стендов»

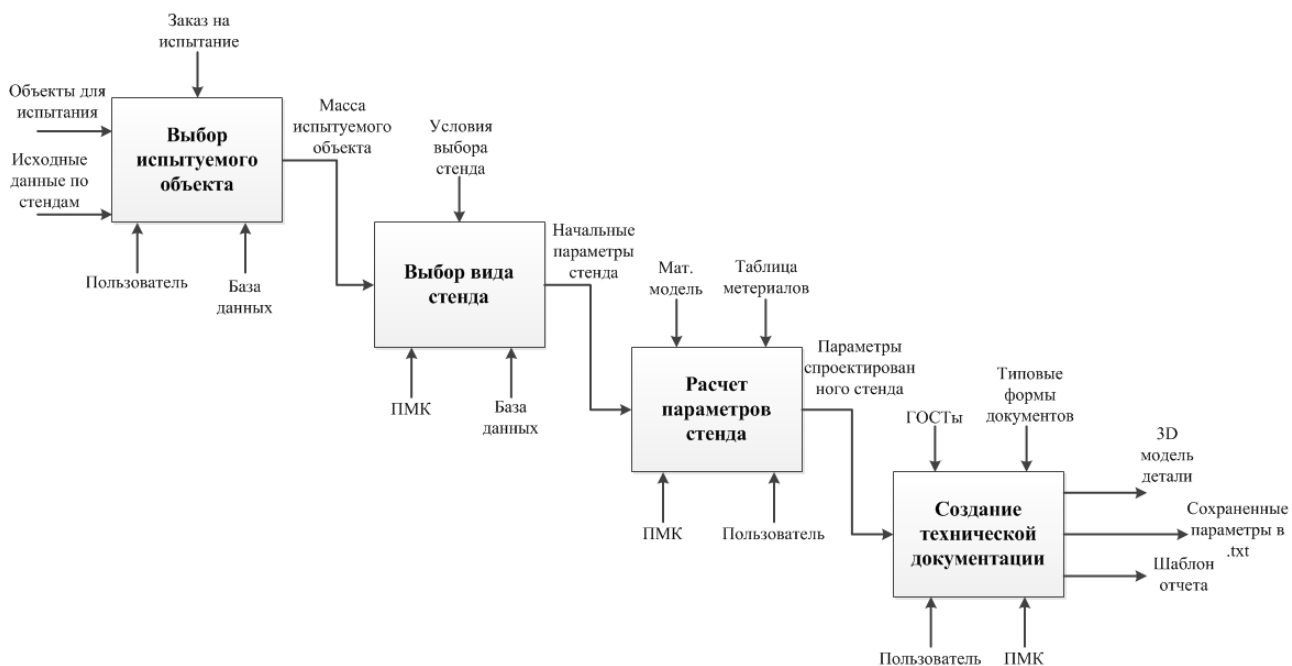


Рис. 2. Контекстная структурно-функциональная модель первого уровня процесса «Проектирование ударных стендов»

Программно-методический комплекс представляет собой оконное приложение Win32. При первом его запуске открывается главное окно приложения (рис. 3).

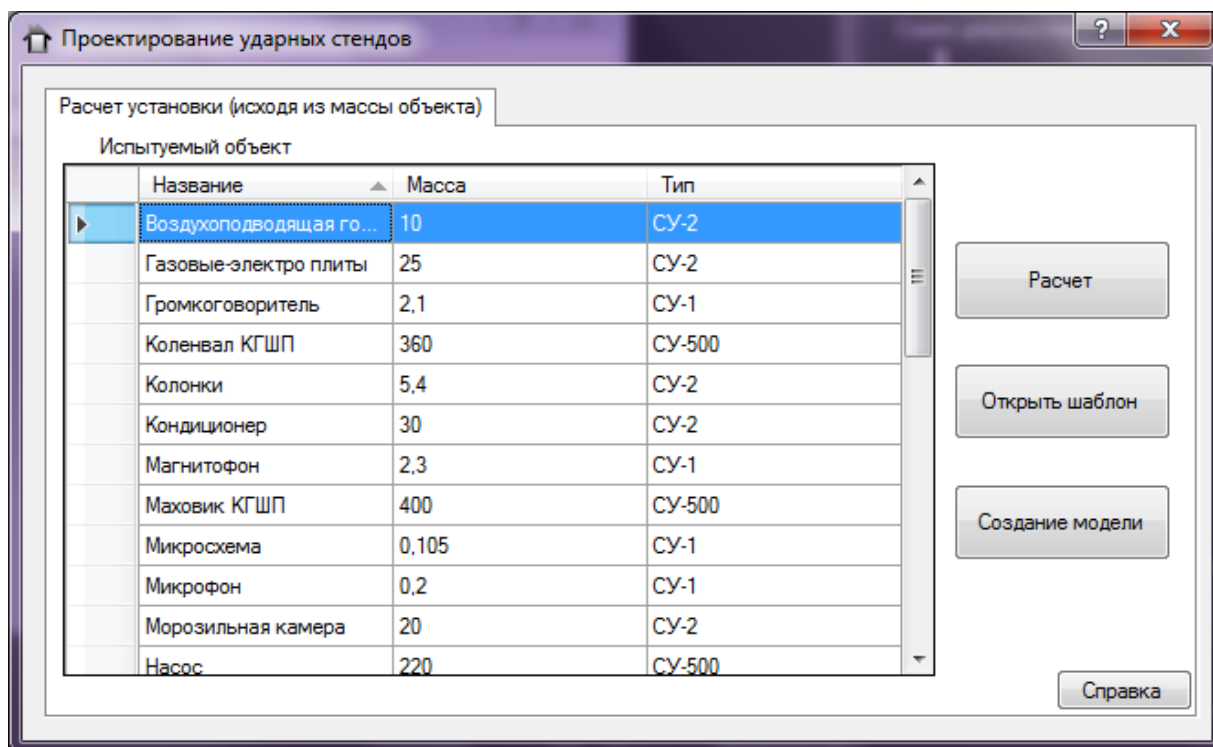


Рис. 3. Главное окно ПМК «Проектирование ударных стендов»

Окно конечного результата расчетов, которые сохраняются в .txt файле указано на рис. 4.

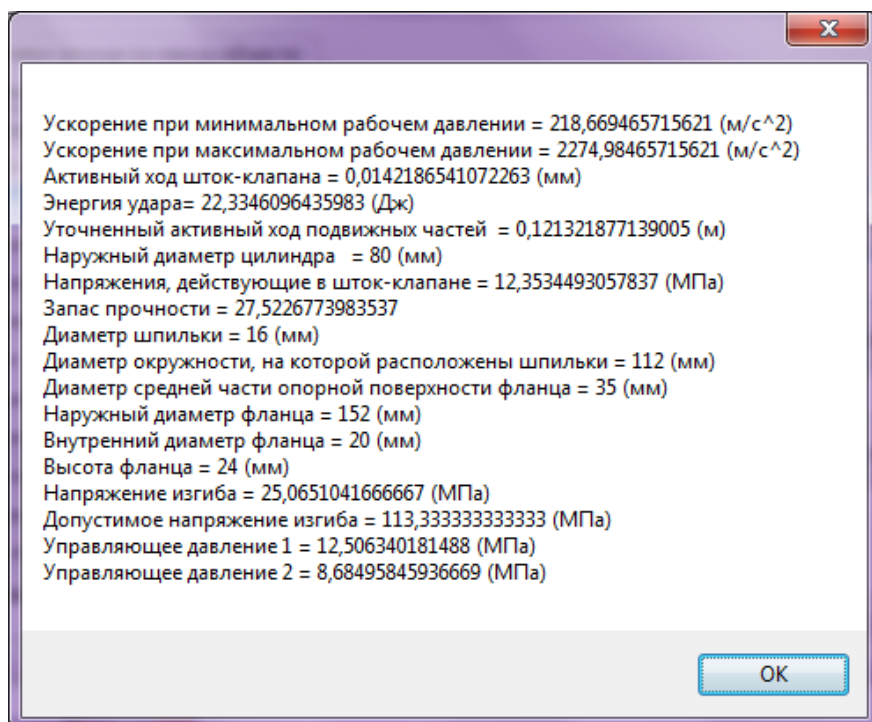


Рис. 4. Результат расчета испытуемого объекта на типе установки СУ-1

Также в данном ПМК пользователь может получить отрисованную модель цилиндра гидравлического, который был реализован в пакете SolidWorks 2012. При нажатии конструктором на кнопку «Создание модели» откроется данная программа и начнет прорисовывать модель цилиндра (рис. 5).

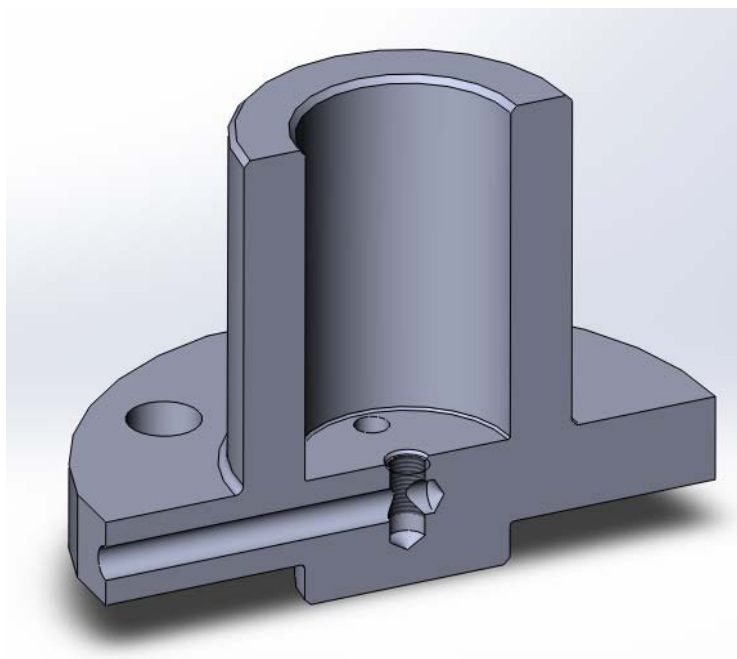


Рис. 5. Отрисованная модель цилиндра гидравлического

Несмотря на вышеперечисленные преимущества, данный комплекс имеет ряд недостатков: программный комплекс не предназначен для расчета стенов для крупных испытуемых объектов (с массой более 500 кг), а также имеет некоторые упрощения при расчете стенов для испытуемых объектов с массой до 500 кг.

ВЫВОДЫ

Разрабатываемый ПМК позволит проводить проектировочно-прочностные расчеты базовых параметров и деталей ударных стендов на базе гидроупругого привода, предназначенных для проверки испытываемых объектов, находящихся в созданной базе данных, на ударостойкость и ударопрочность. Комплекс может использоваться для вновь проектируемых стендов и для проверочных расчетов уже спроектированных стендов, осуществления параметризации вычисляемых параметров и отрисовки в САД-системе камеры высокого давления, как базовой и высоконагруженной детали привода стенда. Комплекс позволяет сократить время, затрачиваемое на расчеты – отсутствует проведение пользователем сложных и громоздких расчетов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Исследование, разработка, изготовление опытного образца и внедрение гидроимпульсной ударной машины для резки движущихся крупногабаритных профилей: отчет о НИР (Х29-82) // ДГМА; Руководитель темы Л.Л.Роганов. – № ГР 0182.6036811. – Краматорск, 1986. – 89 с.
2. Исследование, разработка и внедрение опытной пресс-молотовой установки с гидроимпульсным приводом для статико-динамического деформирования металлических порошков и порошковых заготовок: отчет о НИР (Х44-83) / ДГМА; Руководитель темы Л.Л. Роганов. – № ГР 0183.0073430; Инв. № 0285.0089445. – Краматорск, 1986. – 87 с.
3. Тарасов А.Ф. Разработка САПР рабочих гидроцилиндров пресс-молотов / А. Ф. Тарасов // Надежность режущего инструмента и оптимизация технологических систем. – Краматорск : ДГМА, 1996. – Т.1. – С. 40–47.
4. Роганов Л. Л. Устройство для удержания гидроупругого механизма в исходном положении / Л. Л. Роганов, М. Л. Роганов, Л. Н. Абрамова // Обработка материалов давлением : сборник научных трудов. – Краматорск : ДГМА, 2011. – №2(27). – С. 169–172.
5. Роганов Л. Л. Совершенствование технологий и машин для разных отраслей машиностроения на основе развития гидроупругих и клиношарнирных механизмов / Л. Л. Роганов // Обработка материалов давлением : сборник научных трудов. – Краматорск : ДГМА, 2011. – №2(27). – С. 163–168.
6. Жилевич М. И. Методика и алгоритм автоматизированного расчета многоступенчатых телескопических гидроцилиндров на устойчивость и прочность / М. И. Жилевич, Д. Г. Олехнович, С. В. Ермилов // Вестник Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого. – 2010. – № 2 (41).
7. Автореферат на соискание ученой степени кандидата технических наук, Нгуен Мань Дык Разработка принципов создания и исследования самонастраивающихся гидравлических демпфирующих устройств двухстороннего действия, Братск, 2014. На правах рукописи.
8. СПИИ – программа для расчета строительных конструкций: [Электронный ресурс] // Железобетонные каркасы URL: <http://www.beton-karkas.ru/index.php/2009-10-13-08-09-56/69-2009-10-30-16-46-58/190-2009-11-30-18-19-50>. (Дата обращения 22.09.2015).
9. ShellCalc 2.0 Прочностные расчеты осесимметричных пространственных конструкций в условиях больших деформаций: [Электронный ресурс] // Расчеты на прочность URL: <http://stresscalc.ru/prog.php?numprog=7>. (Дата обращения 22.09.2015).
10. Программная система alpha для решения математических проблем управления в условиях неопределенности: [Электронный ресурс] // Программные продукты и системы URL: <http://www.swsys.ru/index.php?page=article&id=1050>. (Дата обращения 22.09.2015).
11. Дорри М.Х. Инструментальный программный комплекс «Расчета Динамических систем» средство моделирования и разработки алгоритмов управления: Проблемы управления / М. Х. Дорри, А. А. Роцин. – 2011. – №4. – URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/instrumentalnyy-programmnyy-kompleks-raschet-dinamicheskikh-sistem-sredstvo-modelirovaniya-i-razrabotki-algoritmov-upravleniya#ixzz3mazKFcWP>. (Дата обращения 22.09.2015).
12. Роганов М.Л. Математические модели гидроупругого механизма / М. Л. Роганов, Л. Л. Роганов, А. Е. Грановский // Науковий вісник ДДМА: збірник наукових праць. – Краматорськ ДДМА, 2012. – № 1 (9Е). – С. 150–156.