

На правах рукописи

Дерюшева Валентина Николаевна

МОДЕЛИ ПНЕВМОГИДРАВЛИЧЕСКОГО УДАРНОГО  
УЗЛА С УЧЕТОМ СВОЙСТВ ФОРМИРОВАТЕЛЯ  
ИМПУЛЬСА И НАГРУЗКИ

01.02.06 – Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Томск – 2009

Работа выполнена на кафедре автоматизация и роботизация в машиностроении Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Томский политехнический университет»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор  
Крауиньш Петр Янович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
Максименко Андрей Алексеевич;

кандидат технических наук, доцент  
Ларионов Сергей Аркадьевич

Ведущее предприятие: Государственное образовательное  
учреждение высшего  
профессионального образования  
«Иркутский государственный  
технический университет» (ИрГТУ)

Защита состоится 25.11.2009 г. В 15 – 00 часов на заседании совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д 212.269.01 при Государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Томский политехнический университет» по адресу: 634050, г.Томск, пр. Ленина, 30.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Томский политехнический университет» по адресу: 634034, г. Томск, ул. Белинского, 53 – а.

Автореферат разослан \_\_\_\_\_ 2009 г.

Ученый секретарь совета  
по защите докторских и кандидатских  
диссертаций Д 212.269.01,  
кандидат технических наук, доцент



Т. Г. Костюченко

## Общая характеристика работы

**Актуальность работы.** В современной технике для различных целей применяется широкий класс вибрационных и ударных узлов. Наиболее распространены ударные узлы с пневматическим, гидравлическим и пневмогидравлическим приводами, среди которых ударные узлы с энергоемкой газовой полостью, позволяющей обеспечить реализацию больших энергий ударов при незначительной установленной мощности привода. Использование гидропривода для взвода поршня-бойка позволяет иметь высокий КПД, повышенную долговечность, увеличение производительности, что приводит к высоким экономическим показателям. Поэтому важную роль играет совершенствование пневмогидравлических ударных узлов (ПГУУ) направленное на увеличение эффективности единичного удара.

Важным направлением является формирование ударного импульса необходимой формы и увеличение его длительности, что и приводит к возрастанию эффективности удара. Поэтому в последнее время, при изучении динамики ударных узлов, наблюдается значительный интерес исследователей к определению факторов влияющих на формирование ударного импульса.

Анализ различных ударных узлов, проведенный в первой главе, показал, что наиболее эффективны те, в которых между поршнем-бойком и наголовником имеется упруго-эластичный или вязкоупругий промежуточный элемент. Тем не менее, влияние этого элемента на формирование ударного импульса и работу ударного узла не изучено.

Учитывая, что ударные узлы применяются в различных областях (машиностроении, строительстве, горной промышленности), актуальной становится задача создания ПГУУ, со специальным формирователем, который позволит адаптировать ударный узел к обрабатываемой среде (далее нагрузке).

**Целью работы** является исследование пневмогидравлического ударного узла с настраиваемой формой ударного импульса путем математического моделирования и детального изучения конструктивных параметров и свойств элементов, входящих в коэффициенты уравнений модели.

### **Задачи исследования:**

1. Произвести подробный анализ параметров пневмогидравлического ударного узла выбранной конструктивной схемы входящих в коэффициенты дифференциальных уравнений математической модели.
2. Разработать математическую модель ПГУУ при неподвижном корпусе и отсутствии деформации (разрушения) нагрузки.

3. Исследовать особенности ударного импульса, полученного при использовании формирователя при отсутствии деформации (разрушения) нагрузки.
4. Изучить влияния параметров формирователя и свойств нагрузки на форму ударного импульса.
5. Разработать математическую модель пневмогидравлического ударного узла, учитывающей влияния колебаний корпуса и сопротивление нагрузки;
6. По результатам математического моделирования уточнить инженерную методику рационального выбора элементов конструкции ПГУУ с формирователем ударного импульса.

**Методика исследования** основывается на использовании математического моделирования рабочих процессов ПГУУ, научных положений гидромеханики, теоретической механики, а также применения методов математического моделирования на ЭВМ и вычислительной техники и методов вычислительной математики.

**Научная новизна работы** определяет

1. Разработанная конструктивная схема ПГУУ с формирователем ударного импульса.
2. Математическая модель ПГУУ без предварительной разработки опытного образца.
3. Конструктивные схемы формирователя, позволяющие регулировать форму и длительность ударного импульса.
4. Уточненная инженерная методика проектирования ударных устройств с настраиваемой формой ударного импульса на основе их предварительного детального изучения путем математического моделирования.

**Практическая ценность работы.** Выполненные в диссертационной работе исследования позволяют разрабатывать и конструировать новый тип ударных узлов с регулируемым формирователем импульса. Предложенная процедура определения коэффициентов входящих в математическую модель посредством детального анализа конструктивных параметров разрабатываемого ПГУУ позволяет ускорить разработку опытного образца близкого к техническим требованиям.

**На защиту выносятся:**

1. Принципиальная схема пневмогидравлического ударного узла с формирователем ударного импульса.
2. Математическая модель пневмогидравлического ударного узла с формирователем ударного импульса с учетом влияния колебаний корпуса и деформации (разрушения) нагрузки.
3. Результаты математического моделирования и уточнение инженерной методики проектирования и рационального выбора

основных параметров пневмогидравлического ударного узла с формирователем ударного импульса.

**Апробация работы.** Основные положения работы докладывались, осуждались и получили одобрение на ежегодных международных конференциях «Современные техники и технологии» (г.Томск 2006, 2007, 2008 г.г.), «Проблемы механики современных машин» (г.Улан-Удэ 2006 г.), «Современные проблемы машиностроения» (г.Томск 2006, 2008 г.г.) и на всероссийской научно-практической конференции «Молодые ученые Сибири» (г.Улан-Удэ 2006г.).

**Публикации.** По результатам проведенных исследований опубликовано 11 печатных работ, в том числе 1 статья в журналах центральной печати, свидетельство на регистрацию программы на ЭВМ и 2 патента на изобретение.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. В целом работа содержит 181 страниц, 93 рисунков, 4 таблицы, список литературы из 121 наименований и приложения на 25 страницах.

#### Содержание работы

**Во введении** дано обоснование актуальности и цели диссертационного исследования, изложены основные положения, выносимые на защиту, научная и практическая ценность работы.

**В первой главе** проведен обзор состояния известных исследований в области проектирования пневмогидравлических ударных узлов, приведены общие сведения и терминология.

В результате анализа конструктивных решений пневмогидравлических ударных узлов было выяснено, что пневмогидравлические ударные узлы по сравнению с другими имеют следующие преимущества: компактность, низкую металлоемкость на единицу энергии удара, простота регулирования энергии удара изменением давления газа в газовой полости. Это позволяет широкое их использования в различных областях: машиностроение, строительство, горная промышленность и др.

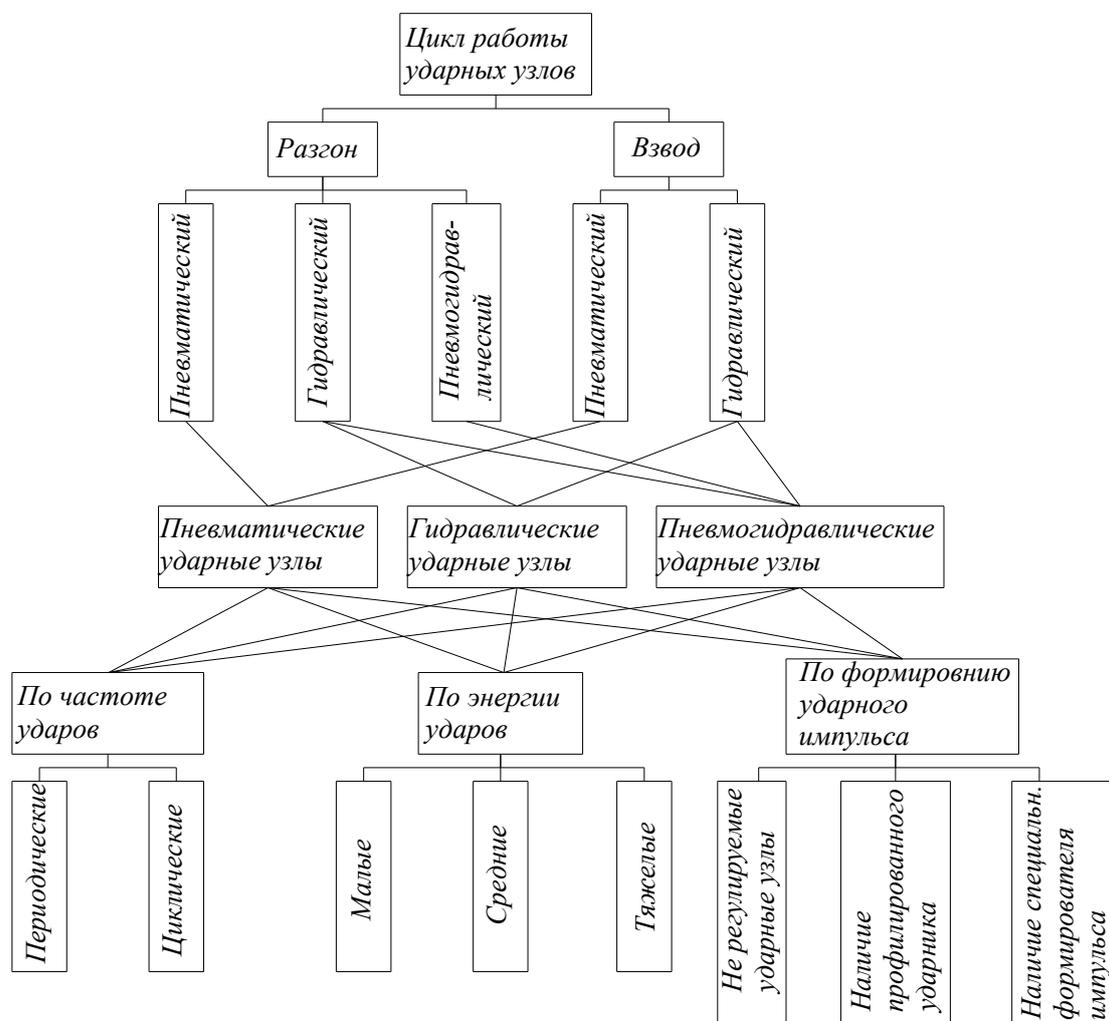
Анализ научных исследований и практических работ, выполненных ранее в нашей стране и за рубежом, позволили выявить основные факторы, определяющие эффективность удара:

1. Свойства поршня-бойка, его масса, скорость;
2. Свойства нагрузки;
3. Длительность ударного импульса;
4. Форма ударного импульса.

Проблеме исследования влияния формы и длительности ударного импульса на эффективность удара посвятили свои работы Жуков И. А.,

Алимов О. Д., Федотов Г. В., Еремьянц В. Э., Янцен И. А., Фадеев П. Я., Фадеев В. Я., Гусельников М. М., Мандрик М. С., Сердечный А. С., Сердечный А. А. и др.

Определено, что при увеличении длительности ударного импульса увеличивается эффективность удара, а эффективная форма ударного импульса зависит от свойств нагрузки.



**Рис. 1.** Классификация ударных узлов.

Имеются исследования, в которых выявлено, что при передаче ударного импульса через наголовник к нагрузке без использования длинных волноводов, длительность ударного импульса можно увеличить, используя упругий или вязкоупругий промежуточный элемент (формирователь), свойства которого определяют форму ударного импульса.

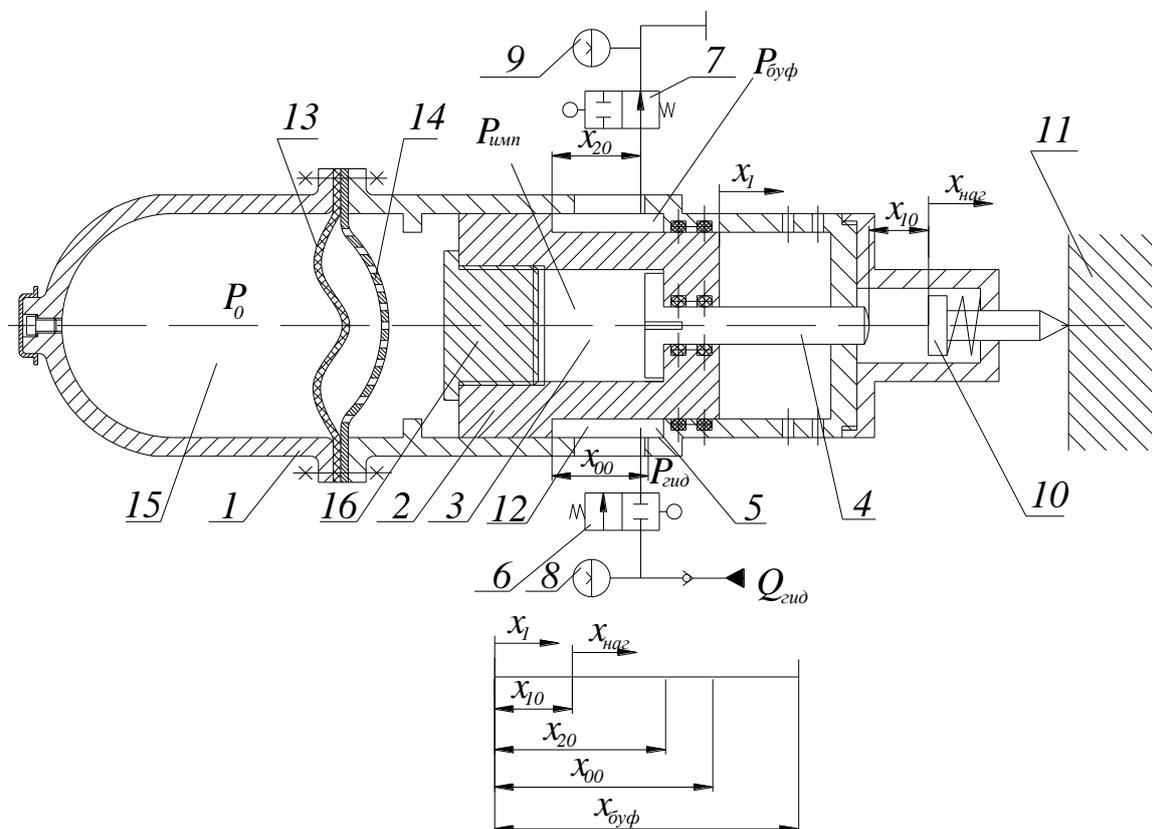
Таким образом, на основе анализа известных ударных узлов нами дополнена классификационная схема (см. рис.1) ударными узлами с встроенным специальным формирователем.

Приведен анализ существующих математических моделей пневмогидравлических ударных узлов и определено, что в большинстве

случаев пренебрегают потерями, колебаниями корпуса и деформацией (разрушением) нагрузки.

В конце главы сформулированы цели и задачи исследования.

Во второй главе приведена конструктивная схема пневмогидравлического ударного узла оснащенного формирователем ударного импульса (см. рис.2).



**Рис. 2.** Принципиальная схема пневмогидравлического ударного узла.

1 — корпус; 2 — поршень-бойк; 3 — полость формирователя;  
 4 — промежуточный бойк; 5 — буферная полость; 6 и 7 — распределители для переключения напорной и сливной магистрали; 8 и 9 — напорный и сливной аккумуляторы;  
 10 — наголовник; 11 — нагрузка; 12 — гидравлическая полость; 13 — мембрана; 14 — ограничитель; 15 — газовая полость; 16 — формирователь.

Проведен подробный анализ основных элементов: газовая полость, используемая для аккумуляции потенциальной энергии; потери, возникающие при движении поршня-бойка; буферная полость, необходимая для остановки поршня-бойка при отсутствии нагрузки; формирователь, внутри которого происходит формирование ударного импульса; управление переключением распределителей напорной и сливной магистралей.

Газовая полость имеет мембрану, которая разделяет газ от жидкости, придавая дополнительную упругость, характеризующуюся коэффициентом жесткости  $c_2$ . А давление в газовой полости, действуя на торец поршня-бойка, образует силу  $P_0$ .

Потери в пневмогидравлическом ударном узле, возникающие при движении поршня-бойка состоят из: сухого трения образующееся при страгивании поршня-бойка с места и резко падает при попадании смазки между трущимися поверхностями, и при циклической работе ударного узла появляется только при первом ударе; вязкого трения, которое возникает при наличии смазки и возрастает с увеличением скорости; гидравлических потерь, связанных с перепадом площадей поперечного сечения гидравлической полости и окон слива и напора.

В результате в зависимости от величины скорости движения поршня-бойка потери выражаются одним из трех уравнений:

$$P_{\alpha 1} = P_{\alpha 0} - k_{\alpha 1} \cdot V_1, \quad \text{при первом ударе}$$

$$P_{\alpha 2} = k_{\alpha 2} \cdot V_1, \quad \text{при } V_1 < V_{10};$$

$$P_{\alpha 2} = k_{\alpha 3} \cdot V_1^2, \quad \text{при } V_1 > V_{10},$$

где  $P_{\alpha 0}$  – сухое трение;  $k_{\alpha 2}$  – коэффициент вязкого трения;  $k_{\alpha 3}$  – коэффициент гидравлических потерь;  $V_1$  – скорость поршня-бойка.

Буферная полость образуется при пересечении поршнем-бойком координаты  $x_{00}$ , между торцом большой ступени поршня-бойка и корпусом. При наличии на поверхности большой ступени поршня-бойка продольных канавок (рис. 2), буферная полость будет характеризоваться силой образованной давлением в напорной магистрали, действующим на торец большой ступени поршня-бойка, и коэффициентом дросселирования:

$$P_{\text{буф}} = P_{\text{гид}} + \alpha_{\text{буф}} \cdot V_1^2,$$

где  $P_{\text{гид}}$  – сила образованная давлением в напорной магистрали;  $\alpha_{\text{буф}}$  – коэффициент дросселирования.

В зависимости от конструктивного исполнения, формирователь можно сделать упругим (рис. 3) или вязкоупругим (рис. 4).

При наличии упругого элемента (рис. 3) в полости формирователя можно получить 3 формы ударного импульса.

В первом случае (рис. 3, а) когда жесткость упругого элемента слишком мала, а сила предварительного поджатия достаточно велика, тогда уравнение, описывающее ударный импульс в формирователе имеет вид:

$$P_{\text{имп}} = P_{\text{пред}}.$$

В другом случае, жесткость упругого элемента оказывает существенное влияние на формирование ударного импульса (рис. 3б,в), поэтому уравнение примет вид:

$$P_{\text{имп}} = P_{\text{пред}} + c_{\text{ф}} \cdot (x_1 - x_{10}),$$

где  $P_{\text{пред}}$  – сила предварительного поджатия упругого элемента;  $x_{10}$  – координата, в которой промежуточный боек сталкивается через

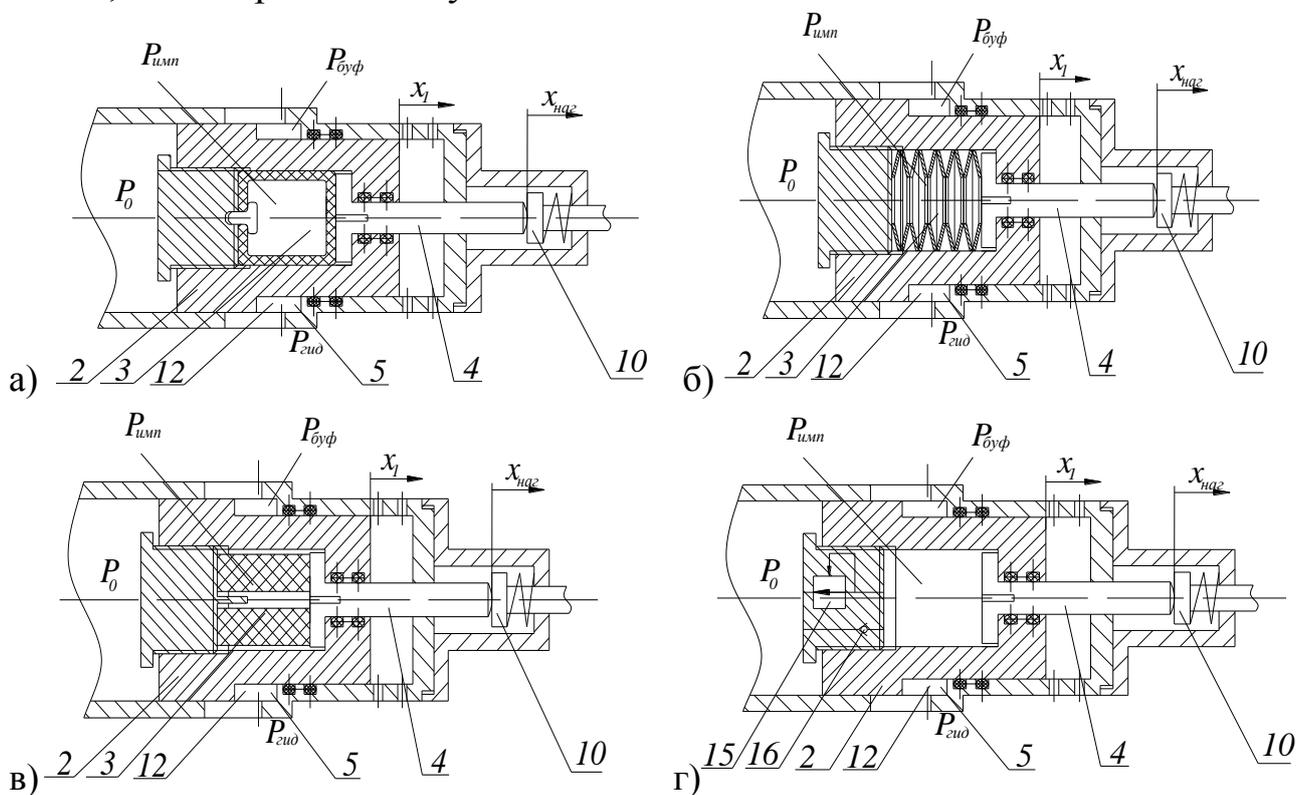
наголовник с нагрузкой и останавливается;  $x_1$  – координата перемещения поршня-бойка.

Когда в формирователе встроен регулируемый клапан давления с обратным клапаном (рис. 3г), соединяя газовую полость и полость формирователя, то получаем ступенчатую форму импульса, которая характеризуется при разгоне поршня-бойка силой  $P_{пред}$ , образованной давлением, на которое настроен регулируемый клапан, а при возврате поршня-бойка, силой образованной давлением равным давлению в газовой полости:

$$P_{имп} = P_{пред}, \text{ при } V1 > 0,$$

$$P_{имп} = P_0 \cdot S_{\delta 2} / S_{n\delta}, \text{ при } V1 < 0,$$

где  $P_{пред}$  – сила, образованная давлением на которое настроен регулируемый клапан;  $S_{\delta 2}$  – площадь торца промежуточного бойка, расположенного в полости формирователя;  $S_{n\delta}$  – площадь торца поршня-бойка, на который действует давление газовой полости.



**Рис. 3.** Конструктивные схемы формирователя с упругой характеристикой

При наличии вязкоупругого элемента в формирователь встроен регулируемый дроссель с обратным клапаном (рис. 4), а уравнение ударного импульса примет вид:

$$P_{имп} = P_{пред} + \alpha_{\phi} \cdot (V_1)^2,$$

где  $P_{пред}$  – сила, образованная давлением равным давлению в газовой полости;  $\alpha_{\phi}$  – коэффициент дросселирования.

Определено, что переключение распределителей напорной и сливной магистралей

происходит в двух точках (рис. 5). При разгоне поршня-бойка окна сливной магистрали открыты, а окна напорной – закрыты. Под действием силы  $P_0$  в газовой полости поршень-боек разгоняется. При пересечении поршнем-бойком координаты  $x_{10}$  происходит столкновение промежуточного бойка с нагрузкой через наголовник и первый останавливается, начинает формироваться ударный импульс в полости формователя за счет того, что поршень-боек продолжает двигаться. При пересечении поршнем-бойком координаты  $x_{20}$  происходит переключение сливной магистрали на напорную и в гидравлическую полость подается жидкость. Если силы ударного импульса  $P_{имп}$  и силы  $P_{гид}$ , образованной давлением в напорной магистрали не достаточно, чтобы остановить поршень-боек, то при пересечении координаты  $x_{00}$  поршень-боек попадает в буферную полость, в которой резко возрастает давление, тем самым, замедляя и останавливая поршень-боек. После чего поршень-боек возвращается в начальное положение за счет силы  $P_{гид}$ , образованной давлением в напорной магистрали, действующим на торец малой ступени поршня-бойка, и эта сила больше силы  $P_0$ , образованной давлением в газовой полости.

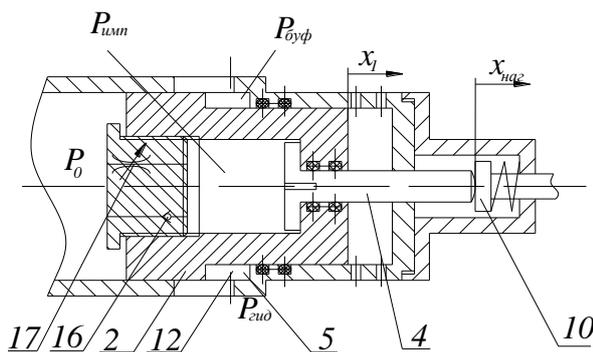


Рис. 4. Конструктивная схема формователя с вязкоупругой характеристикой

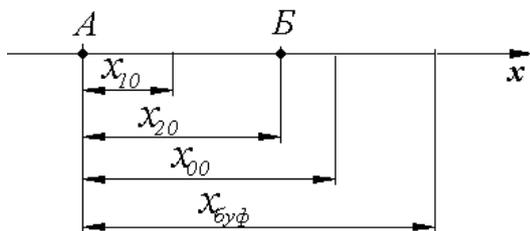


Рис. 5. Схема переключения распределителей напорной и сливной магистралей.

При пересечении поршнем-бойком начальной координаты происходит переключение напорной магистрали на сливную и под действием силы  $P_0$  в газовой полости поршень-боек останавливается, а затем разгоняется для удара. Цикл повторяется.

Установлено, что на корпус при разгоне поршня-бойка действует сила  $P_к$ , образованная давлением в газовой полости, что заставляет его двигаться в противоположную сторону. Когда поршень-боек пересекает координату  $x_{20}$  и в гидравлическую полость поступает жидкость, давление которой, действуя на корпус, образует силу  $P_{гид}$ , что приводит к остановке и реверсу корпуса. Если величины ударного импульса в формователе недостаточно, чтобы остановить поршень-боек, то при пересечении

поршня-бойка координаты  $x_{00}$  образуется буферная полость, в которой резко поднимается давление действующая на стенки корпуса образует силу  $P_{\text{буф}}$ . В результате действия сил  $P_0$ ,  $P_{\text{зуд}}$  и  $P_{\text{буф}}$  корпус колеблется.

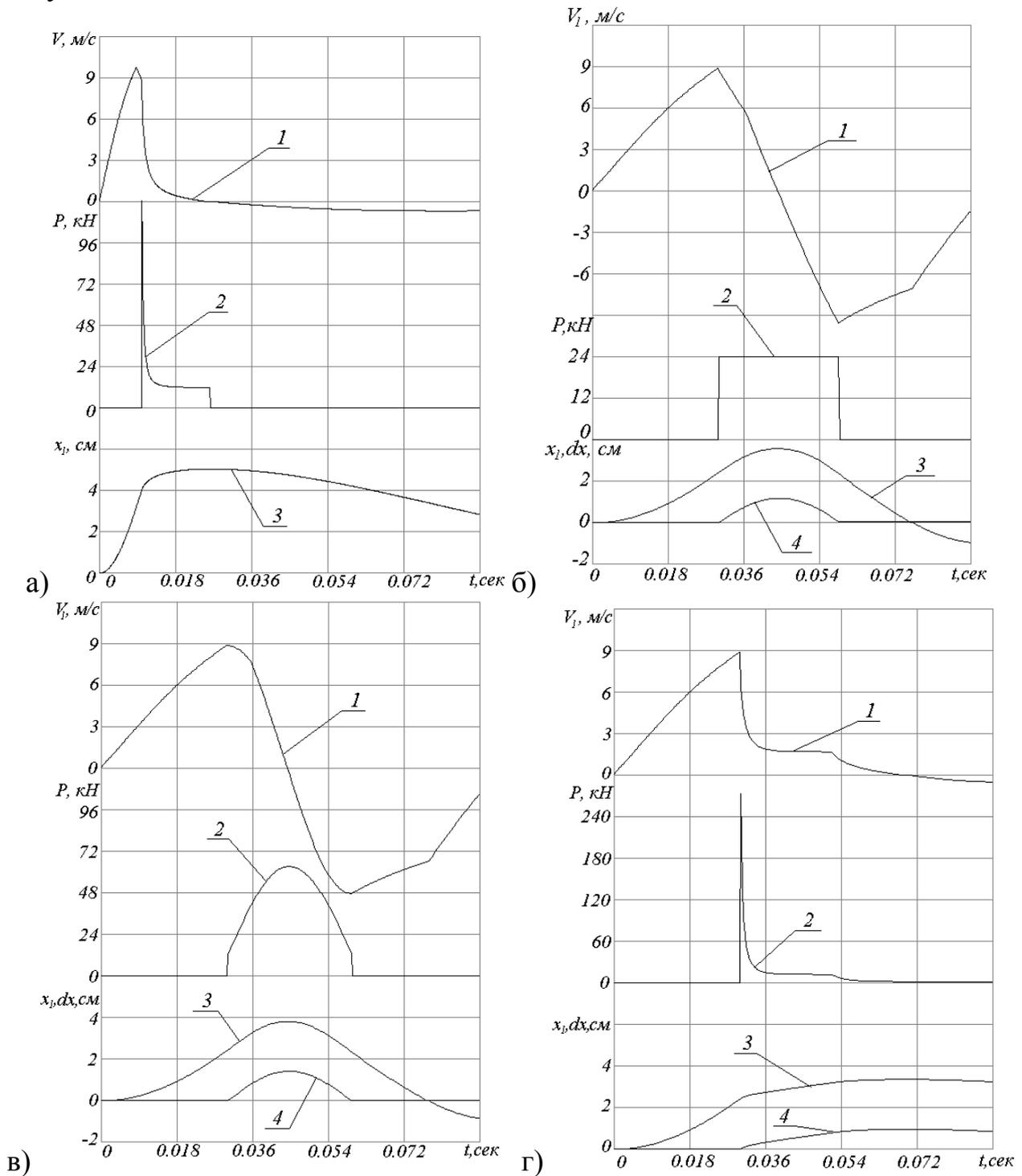
При разработке математической модели приняты следующие допущения: параметры, характеризующие каждый из основных элементов являются величинами постоянными ( $m_1, m_k, c_\phi, \alpha_\phi, k_{\alpha 1}, k_{\alpha 2}, k_{\alpha 3}, c_z, c_{ам}, \alpha_{ам} = const$ ).

Математическая модель работы пневмогидравлического ударного узла с формирова­телем импульса включает уравнение движения поршня-бойка и корпуса в циклах разгона, удара, торможения и взвода:

$$\left\{ \begin{array}{l} m_1 \frac{d^2 x}{dt^2} + P_\alpha + c_z \cdot (x_1 - x_k) = P_0, \text{ при } x_1 < (x_{10} + x_{наз}) \text{ и } V_1 > 0; \\ m_1 \frac{d^2 x}{dt^2} + P_\alpha + c_z \cdot (x_1 - x_k) = P_0 - P_\phi, \text{ при } (x_{20} + x_k) > x_1 > (x_{10} + x_{наз}) \text{ и } V_1 > 0; \\ m_1 \frac{d^2 x}{dt^2} + P_\alpha + c_z \cdot (x_1 - x_k) = P_0 - P_{зуд} - P_\phi, \\ \text{при } (x_{00} + x_k) > x_1 > (x_{20} + x_k) \text{ и } V_1 > 0; \\ m_1 \frac{d^2 x}{dt^2} + P_\alpha + c_z \cdot (x_1 - x_k) = P_0 - P_\phi - P_{\text{буф}}, \text{ при } x_1 > (x_{00} + x_k) \text{ и } V_1 > 0; \\ m_1 \frac{d^2 x}{dt^2} + P_\alpha + c_z \cdot (x_1 - x_k) = P_0 - P_{зуд}, \text{ при } (x_{00} + x_k) > x_1 \text{ и } V_1 < 0; \\ m_k \cdot \frac{d^2 x_k}{dt^2} + \alpha_{ам} \cdot \frac{dx_k}{dt} + c_{ам} \cdot x_k + P_\alpha + c_z \cdot (x_1 - x_k) = -P_k, \\ \text{при } 0 < x_1 < (x_{20} + x_k) \text{ и } V_1 > 0; \\ m_k \cdot \frac{d^2 x_k}{dt^2} + \alpha_{ам} \cdot \frac{dx_k}{dt} + c_{ам} \cdot x_k + P_\alpha + c_z \cdot (x_1 - x_k) = -P_k + P_{зуд}, \\ \text{при } (x_{20} + x_k) < x_1 \text{ и } V_1 > 0 \text{ или } x_1 < (x_{00} + x_k) \text{ и } V_1 < 0; \\ m_k \cdot \frac{d^2 x_k}{dt^2} + \alpha_{ам} \cdot \frac{dx_k}{dt} + c_{ам} \cdot x_k + P_\alpha + c_z \cdot (x_1 - x_k) = -P_k + P_{\text{буф}}, \text{ при } (x_{00} + x_k) < x_1; \\ P_\alpha = P_{\alpha 0} - k_{\alpha 1} \cdot (V_1 - V_k), \text{ при } 0 < (V_1 - V_k) < V_{mp}; \\ P_\alpha = k_{\alpha 2} \cdot (V_1 - V_k), \text{ при } 0 < |(V_1 - V_k)| < V_{10}; \\ P_\alpha = k_{\alpha 3} \cdot |(V_1 - V_k)| \cdot (V_1 - V_k), \text{ при } V_{10} < |(V_1 - V_k)|; \\ P_{зуд} = k_z \cdot P_0; \\ P_{\text{буф}} = \alpha_{\text{буф}} \cdot (V_1 - V_k)^2 + P_{зуд}, \text{ при } (V_1 - V_k) > 0; \\ P_{\text{буф}} = P_{зуд}, \text{ при } (V_1 - V_k) < 0; \\ P_\phi = \alpha_\phi \cdot (V_1 - V_{наз})^2 + P_{пред}, \text{ или } P_\phi = c_\phi (x_1 - (x_{10} + x_{наз})) + P_{пред}, \text{ или } P_\phi = k_n \cdot P_0. \end{array} \right.$$

Представлены результаты математического моделирования (см. рис. 6) без учета влияния колебаний корпуса и деформации

(разрушения) нагрузки, из которых видно, что, варьируя параметрами полости формователя можно реализовать различные временные формы импульса.



**Рис. 6.** График: скорости поршня-бойка (1); силы ударного импульса (2); перемещения поршня-бойка (3); изменения линейного размера полости формователя (4) по времени: а) *буферное торможение*; б) *при формователе с упругой характеристикой  $P_{\text{имп}} = P_{\text{пред}}$* ; в) *при формователе с упругой характеристикой  $P_{\text{имп}} = P_{\text{пред}} + c_f(x_1 - x_{10})$* ; г) *при вязком формователе:  $P_{\text{имп}} = P_{\text{пред}} + \alpha_f \cdot (V_1)^2$* .

В третьей главе рассмотрены свойства нагрузки и определены основные уравнения, характеризующие ее:

1) постоянная сила сопротивления:  $P_{наг} = P_{наг0}$ ;

2) сила сопротивления, зависящая от координаты деформации (разрушения) нагрузки:  $P_{наг} = P_{наг0} + c_{наг} \cdot x_{наг}$ ;

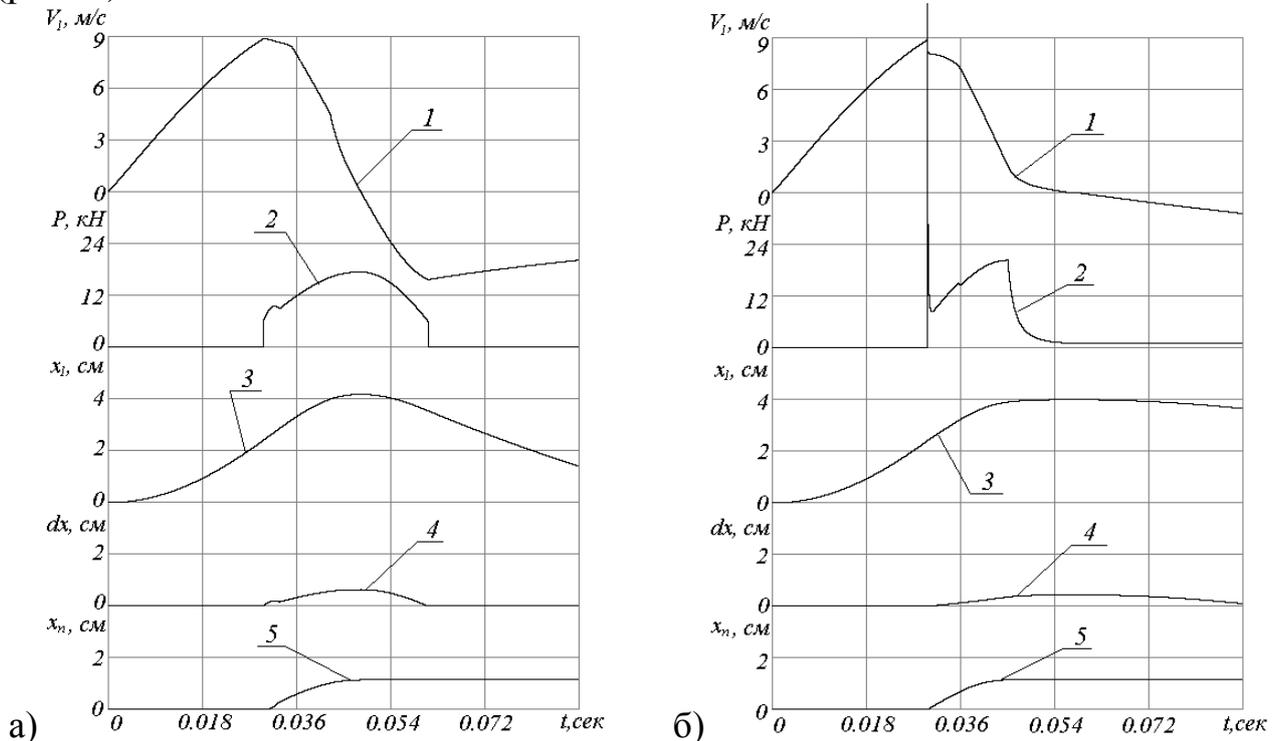
3) сила сопротивления, зависящая от скорости деформации (разрушения) нагрузки:  $P_{наг} = P_{наг0} + \alpha_{наг} \cdot V_{наг}$ .

Деформация (разрушение) нагрузки прекращается при движении поршня-бойка в начальное положение.

При составлении математической модели в некоторых случаях учтено влияние совместной массы промежуточного бойка и наголовника.

Определено, что когда заданная величина импульса в формирователе  $P_{имп}$  больше величины силы сопротивления нагрузки  $P_{наг}$ , то не происходит смещение поршня-бойка относительно промежуточного бойка и формирователь не задействован, в результате получаем импульс без формирователя, величина которого равна силе сопротивления нагрузки.

Если же в формирователе величина импульса  $P_{имп}$  всегда меньше величины сопротивления нагрузки  $P_{наг}$ , то не происходит деформирования (разрушения) нагрузки и импульс формируется, как показано выше (рис. 6).



**Рис. 7.** График: скорости поршня-бойка (1); силы ударного импульса (2); перемещения поршня-бойка (3); изменения линейного размера полости формирователя (4); деформации (разрушения) нагрузки (5) по времени при нагрузке с координатным сопротивлением и:

а) упругой характеристикой формирователя:  $P_{имп} = P_{пред} + c_{ф}(x_1 - x_{10})$ ;

б) вязкоупругой характеристикой формирователя  $P_{имп} = P_{пред} + \alpha_{ф} \cdot (V_1)^2$ .

Приведены результаты математического моделирования с учетом взаимного влияния формы ударного импульса и деформации (разрушения) нагрузки (рис. 7), на основе которых установлено, что при одной и той же нагрузке можно сформировать разной формы ударные импульсы в зависимости от свойств формователя (см. рис. 7).

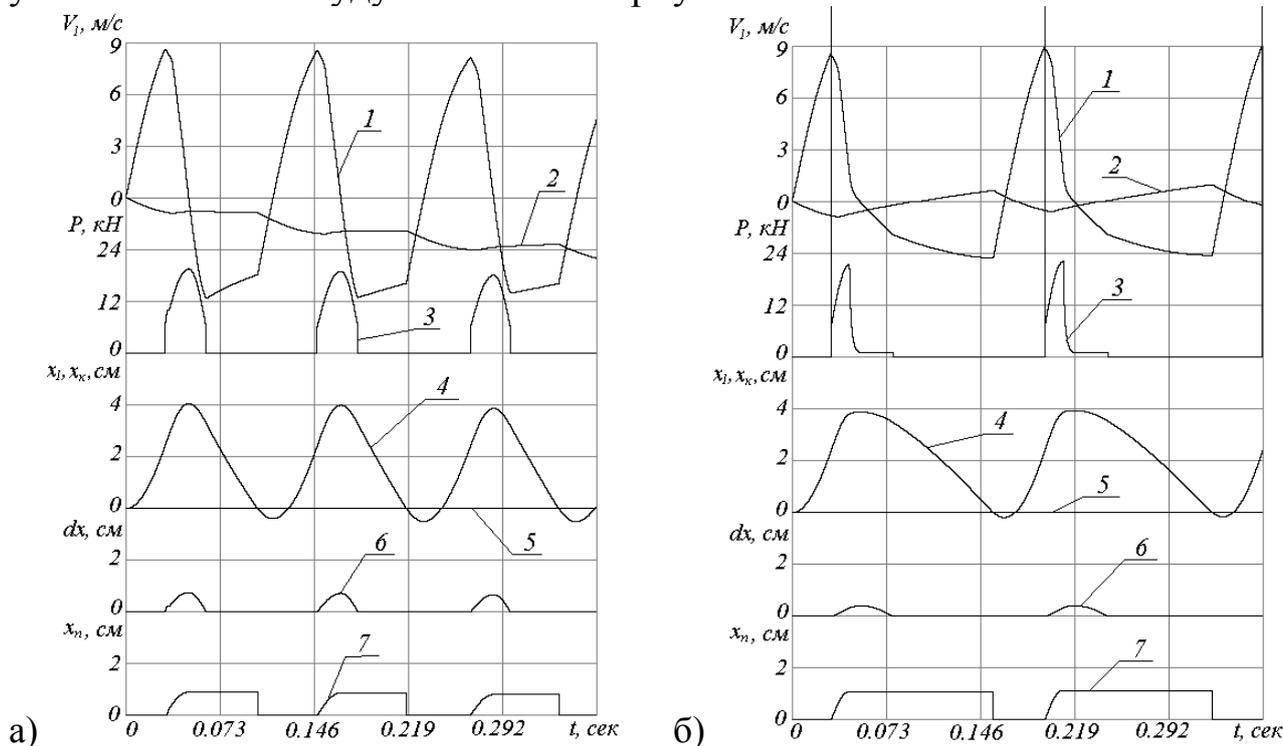
**В четвертой главе** работы приводятся результаты математического моделирования пневмогидравлического ударного узла с учетом влияния колебаний корпуса и деформации (разрушения) нагрузки на работу самого ударного узла.

Определено, что колебания корпуса влияют на:

1) момент переключения распределителей сливной и напорной магистралей;

2) величину хода поршня-бойка, на максимальную скорость поршня-бойка, а значит на энергию удара;

И это влияние не превышает 13%. При наличии деформации (разрушения) нагрузки цикл работы поршня-бойка пневмогидравлического ударного узла становится несимметричным, за счет потраченной энергии на деформацию (разрушения) нагрузки и время возвращения поршня-бойка в начальное положение увеличивается, что уменьшает амплитуду колебаний корпуса.



**Рис. 8.** График: скорости поршня-бойка (1); скорости корпуса (2); силы ударного импульса (3); перемещения поршня-бойка (4); перемещения корпуса (5); изменения линейного размера полости формователя (6); деформации (разрушения) нагрузки (7) по времени с учетом колебаний корпуса, при нагрузке с координатным сопротивлением и:

- а) упругой характеристикой формователя;  
 б) вязкоупругой характеристикой формователя.

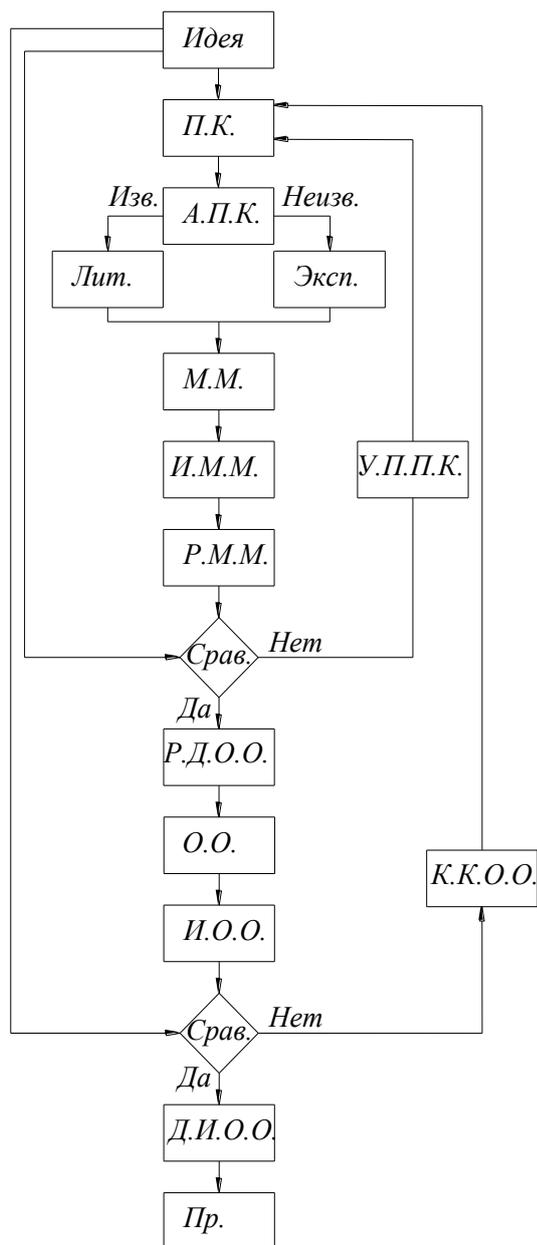
Приведены результаты математического моделирования пневмогидравлического ударного узла с учетом колебаний корпуса и деформацией (разрушения) нагрузки (см. рис. 8), из которых видно, что влияние колебаний корпуса на работу ПГУУ оказывает несущественное.

Предложена уточненная инженерная методика последовательности разработки опытного образца ПГУУ оснащенных формирователем ударного импульса (рис. 9).

На основании идеи (Идея) составляется предварительная конструкция (П.К.) ПГУУ, для которой производится подробный анализ

основных параметров конструктивной схемы (А.П.К.). Значение ранее известных параметров (Изв.) определяются из литературы (Лит.), а для определения неизвестных параметров (Неизв.) проводится эксперимент (Эксп.).

Следующим шагом для предварительной конструкции с полученными параметрами разрабатывается математическая модель (М.М.), которая учитывает все особенности работы ПГУУ. После этого производится исследование полученной математической модели (И. М. М.), результаты которой (Р.М.М.) сравниваются (Срав.) с поставленными техническими требованиями в идеи. Если полученные результаты математического моделирования не удовлетворяют требованиям (Нет), то уточняются параметры предварительной конструкции (У.П.П.К.), если же удовлетворяют (Да) – тогда на основе полученных конструктивных параметров разрабатывается документация опытного образца (Р.Д.О.О.).



**Рис. 9.** Схема уточненной инженерной методики последовательности разработки опытного образца ПГУУ.

После этого изготавливают опытный образец (О.О.) и проводят физические исследования (И.О.О.), результаты так же сравниваются с поставленными техническими

требованиями в идеи (Срав.), если физического исследования не соответствует требованиям (Нет), необходимо произвести корректировку конструкции опытного образца (К.К.О.О.), вернувшись на шаг разработки предварительной конструкции (П.К.). В противоположном случае (Да) производят дальнейшие необходимые исследования опытного образца (Д.И.О.О.) и отправляют новую продукцию в производство (Пр.).

Данная методика позволяет сократить сроки создания новой машины, трудовые и временные ресурсы, так как до разработки и создания опытного образца, исследования проводятся на математической модели.

На основе исследований математической модели предложена конструкция ПГУУ.

Проведен эксперимент, с помощью которого было определено, что жесткость жидкостной среды в формирователе увеличивается нелинейно, что легко реализуется на математической модели, изменением функции, описывающей силу в формирователе, представив ее в зависимости от координаты изменения линейного размера полости формователя.

Так же с помощью эксперимента было доказано, что у пластичных образцов присутствует упругая характеристика, и, наоборот, у упругих — пластичная.

### Заключение

1. Среди существующих ударных узлов наиболее эффективными являются те, которые содержат промежуточный элемент между бойком и наголовником. В зависимости от области применения и вида нагрузки используются упругие и вязкоупругие промежуточные элементы.

2. Подробно рассмотрена новая конструктивная схема ПГУУ с формователем ударного импульса. Определены основные параметры и их зависимости от конструктивного исполнения элементов ударного узла: газовой полости, потерь, возникающих при движении поршня-бойка и промежуточного бойка, формователя ударного импульса, буферной полости, корпуса и амортизатора.

3. Показано, что при моделировании необходимо учитывать координату и скорость деформации нагрузки (обрабатываемой среды), которая характеризуется тремя силами сопротивления: постоянной, координатной и вязкой.

4. Установлено, что на форму и длительность ударного импульса оказывают влияние свойства формователя и нагрузки. Предложено три варианта формователя: с упругим элементом, встроенным клапаном и дросселем.

5. Исследована математическая модель, учитывающая влияния колебаний корпуса и деформации (разрушения) нагрузки. Получены

четыре формы ударного импульса при отсутствии деформации (разрушения) нагрузки. Определено влияние колебаний корпуса на работу ПГУУ и на неподвижное основание.

6. Определено, что на процесс формирования ударного импульса накладываются два ограничения: сила, образованная в формирователе, и сила сопротивления нагрузки. Если сила в формирователе постоянно больше силы сопротивления нагрузки, то формирователь не работает, а деформация (разрушение) нагрузки происходит как при бойке без формирователя. Если сила сопротивления нагрузки постоянно больше силы в формирователе, то деформация (разрушение) нагрузки не происходит, импульс образуется в формирователе как при отсутствии деформации (разрушения) нагрузки.

7. Предложена уточненная инженерная методика проектирования ПГУУ, включающая в себя математическое моделирование с последующей оптимизацией основных параметров ПГУУ и проведения экспериментов для ранее неизученных элементов до создания опытного образца.

8. В результате выполнения экспериментальных исследований показано, что при проектировании формирователя необходимо учитывать нелинейность изменения приведенной жесткости жидкости в формирователе с увеличением давления, а так же тот факт, что каждая нагрузка характеризуется упругой и пластической деформацией.

На основании выполненных исследований были сделаны следующие выводы:

1. Отсутствие формирователя приводит к получению ударного импульса, зависящего только от свойств нагрузки. Если нагрузка не деформируется (разрушается), амплитуда импульса будет стремиться к бесконечности.

2. Используя формирователь можно изменять форму и длительность импульса для одной и той же нагрузки, повышая эффективность удара.

3. Определено, что жидкость в формирователе имеет переменный модуль упругости. Наблюдается высокая скорость ее истечения при большом перепаде давления между полостью формирователя и газовой полостью. Предложена конструкция дросселя, которая понижает скорость истечения жидкости.

4. Выяснено, что для любой нагрузки характерно упругая и пластическая деформация.

5. Установлено, что колебания корпуса оказывает не значительное влияние на подвижные элементы и энергию удара.

Основные результаты диссертационной работы изложены в следующих публикациях:

1. Дерюшева В. Н., Крауиньш П. Я. Модель первого каскада пневмогидравлического ударного механизма // Современные техника и технологии: Труды XII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Томск: Изд. ТПУ, 2006 – т. 1.–С. 219–221.

2. Дерюшева В. Н., Крауиньш П. Я. Модель первого каскада пневмогидравлического ударного механизма // Проблемы механики современных машин: Материалы третьей международной конференции. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2006 – т. 1.– С. 182–184.

3. Дерюшева В. Н., Крауиньш П. Я., Сотников Н. Н. Влияние потерь на формирование энергии удара // Современные проблемы машиностроения: Труды III Международной научно-технической конференции. – Томск: Изд. ТПУ, 2006.–С.160–162

4. Дерюшева В. Н., Крауиньш П. Я., Яненко А. А. Исследование влияния отклонения корпуса на цикл работы пневмогидравлического ударного механизма // Современные техника и технологии: XIII Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых. – Томск: Изд. ТПУ, 2007 – т. 1.–С. 220–222.

5. Дерюшева В. Н., Крауиньш П. Я. Влияние потерь на формирование скорости в первом каскаде пневмогидравлическом ударном механизме. // Молодые ученые Сибири: Материалы Всероссийской молодежной научно-практической конференции. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2007. – С. 145–147.

6. Дерюшева В. Н., Крауиньш П. Я. Моделирование пневмогидравлического ударного узла // Современные техника и технологии: Сборник трудов XIV Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Томск: Изд. ТПУ. – 2008 – Т. III.–С.273–275.

7. Дерюшева В. Н., Крауиньш П. Я. Влияние изменения массы корпуса на цикл работы пневмогидравлического ударного узла // Известие вузов. Горный журнал 2008 – №7 – С. 80–84.

8. Дерюшева В. Н., Крауиньш П. Я. Формирование ударного импульса в зависимости от исполнения промежуточной полости пневмогидравлического ударного узла. // Современные проблемы машиностроения: труды IV Международной научно-технической конференции. — Томск: Изд. ТПУ, 2008. — С. 455–459.

9. Свидетельство на регистрацию программы на ЭВМ 2008614693. Моделирование пневмогидравлического ударного узла/ Крауиньш П. Я., Дерюшева В. Н.; заявитель и правообладатель Государственное образовательное учреждение высшего

профессионального образования Томский политехнический университет.  
– N 2008613544; заявл. 30.07.2008.; зарегистр. 30.09.2008.

10. Пат. 2342530 Российская Федерация МПК E21C 37/00, E02F 5/30, E01C 23/12. Гидропневматическое ударное устройство [текст]/ Крауиньш П. Я., Смайлов С. А., Дерюшева В. Н., Кувшинов К. А.; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Томский политехнический университет. – N 2007120780/03; заявл. 04.06.2007; опубл. 27.12.2008. – Бюл. № 36.

11. Пат. 2340811 Российская Федерация МПК F16F 15/023. Гидропневматический амортизатор с безинерционным гасителем [текст]/ Крауиньш П. Я., Смайлов С. А., Иоппа А. В., Супрунов А. Ю., Дерюшева В. Н., Кувшинов К. А.; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Томский политехнический университет. – N 2007121275/11; заявл. 06.06.2007; опубл. 10.12.2008. – Бюл. № 34.

Тираж 100 экз.  
Отпечатано в ООО «Позитив-НБ»  
634050 г. Томск, пр. Ленина 34а