М359509

НА ПРАВАХ РУКОПИСИ НЕ ВЫДАЕТСЯ

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР

МОСКОВСКОЕ ордена ЛЕНИНА И ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧИЛИЩЕ имени Н.Э.БАУМАНА

На правах рукописи

КАГАРМАНОВ Александр Фазылович

НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ, МЕТОДИКА РАСЧЕТА И ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ИМПУЛЬСНЫХ МАШИН И УСТАНОВОК

(Специальность 05.03.05 – Процессы и машины обработки металлов давлением)

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук

МОСКВА – 1979

Работа выполнена в Московском высшем техническом училище им. Баумана Н.Э. и производственном объединении "Электро-луч".

Официальные оппоненты:
1.д.физ.-м.н., академик Рахматуллин Халил Ахмедович,
2.д.т.н., профессор Овчинников Анатолий Георгиевич,
3.д.т.н., профессор Праздников Анатолий Владимирович.

Ведущее предприятие-Коломинский завод тяжелого станкостроения.

Защита диссертации состоится" "_____1980г. на заседании специализированного совета по машинам и технологии горячей обработки материалов. Московского высшего технического училища им. Баумана Н.Э. по адресу: Москва, 107005, 2-я Бауманская ул., 5.

Ваши отзывы в 2-х экземплярах, заверенных печатью, просим присылать по указанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МВТУ им. Баумана Н.Э.

Автореферат разослан " "_____1979г.

УЧЕ
Д
ПАНОВ Ю.А.

М359509

Л 73975 от 58 тираж 100

СВЕДЕНИЯ О РАБОТЕ

Актуальность проблемы. Решениями XXУ съезда КПСС по машиностроению предусмотрено дальнейшее повышение единичной мощности машин и агрегатов, развитие прогрессивной малооперационной технологии, снижение материалоемкости, повышение производительности технологических машин. Одним из методов решения поставленной задачи является создание в области кузнечно-прессового машиностроения машин и агрегатов, работающих на принципиально новой основе, имеющих уменьшенную материалоемкость, повышенное быстродействие, обеспечивающее значительное уменьшение длительности контакта штампа с деформируемым металлом, что ведет к повышению стойкости штамповой оснастки, способных штамповать поковки из труднодеформируемых металлов с оптимальными энергетическими затратами.

Цель исследования. Целью исследования была - разработка научных основ создания принципиально новых гидравлических импульсных машин и установок, а также методики их расчета и проектирования.

Научная новизна. В результате выполненной работы установлено, что формирование импульса сопровождается влиянием сложного переходного процесса, возникающего в системе аккумулятор - клапан - трубопровод при быстром открытии клапана (за время менее 10^{-4} с). Этот процесс приводит к увеличению интенсивности импульса; гидромеханическое сопротивление системы зависит от параметров волны и является величиной переменной во времени, кроме того, величина этого сопротивления зависит от соотношения массы подвижных частей машины и жидкости в трубопроводе; распределение энергии импульса по разветвлениям сложного трубопровода гидросистемы и время переноса энергии по этим разветвлениям зависят только от длин разветвлений, соотношения диаметров общей части трубопровода и его разветвлений, а также диаметра трубы рассматриваемого разветвления; механизм воздействия импульса на деформируемую заготовку не зависит от схемы передачи энергии импульса заготовке; амплитуда и энергия импульса зависят от теплового эффекта, возникающего при волновом теплопереносе в трубопроводе. Этот тепловой эффект приводит к увеличению энергии и амплитуды импульса.

№ 1359509

НТБ МГТУ им.Н.Э.Баумана
1359509

МВТУ им. Н.Э. Баумана ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ БИБЛИОТЕКА

Практическая ценность. Применение гидравлического импульса для пластического деформирования металлов позволяет:

- обеспечить приложение, предварительно разогнанным инструментом, на деформируемую заготовку пиковой нагрузки на требуемом участке рабочего хода;

- увеличить в 2 раза усилие нагружения заготовки при деформировании неразогнанным инструментом;

- увеличить энергию деформирования в 4 раза;

- обеспечить автоматизацию работы машины простым способом - использованием разветвленного трубопровода-волновода, по которым распространяется гидравлический импульс, достигающий исполнительного звена за время, соответствующее циклограмме;

- уменьшить материалоемкость машины за счет удвоения давления;

- увеличить быстродействие за счет переноса энергии со скоростью звука;

- повысить надежность оборудования.

Апробация работы. На основании данных теории, достоверность которых подтверждена экспериментально и разработанной методики, были рассчитаны, спроектированы, изготовлены и установлены на заводах и предварительно испытаны с выходом на номинальный режим два опытно-промышленных образца гидравлического импульсного пресс-молота. Один из них установлен на московском заводе "Электросвет", другой на заводе "Рассвет".

машиностроительном

Объем работы. Итоги работы изложены на 238 стр., с иллюстрацией на 100 рисунках.

В списке литературы указано 239 наименований работ.

ПРИНЯТЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

p_a и p – давление в аккумуляторе и текущее в системе;
R_y – сила сопротивления уплотнения;
q – удельное усилие;
$\sigma_{тд}$ – динамический предел текучести;
$\Delta p_в$ – подпор в возвратной полости цилиндра;
E – модуль упругости первого рода;
$E_э$ – эффективная энергия импульса;
$П_т$ – потенциальная энергия волны;
$К_т$ – кинетическая энергия волны;
c – скорость распространения волны в жидкости;
$v_ж$ и $v_ж$ – скорость жидкости соответственно истечения из аккумулятора и в трубопроводе;
$v_п$ – скорость подвижных частей машины;
v'_{max} – скорость деформирования к концу упругой деформации;
m – масса подвижных частей;
t – текущее время;
$t_{тд}$ и $t_к$ – время соответственно начала и конца пластического деформирования;
t_o и $t_з$ – время открытия и закрытия клапана;
l_m и l'_m – длина трубопровода-волновода и сливной магистрали;
d_m и d'_m – диаметр трубопровода-волновода и сливной магистрали;
$d_{заг}$ – диаметр заготовки;
d – диаметр цилиндра;
d_c – наружный диаметр трубопровода;
$l_{об}$ и $l_р$ – длина общей части и разветвления сложного трубопровода-волновода;
$l_з$ – длина заготовки;
h – толщина заготовки;
s и $s_р$ – полный и рабочий ход плунжера;
$\delta_т$ – приведенная толщина стенки трубопровода;
$H_{заг}$ – высота изделия;
$l_щ$ – длина щели клапана;

δ – высота уплотнения плунжера;

$f_п$ – площадь плунжера;

$f_т$ – площадь поперечного сечения трубопровода;

$f^{п}_{заг}$ – площадь заготовки в плане;

$V_р$ – объем полости заготовки;

ΔV и $\Delta V_р$ – приращение объема простого и сложного трубопровода-волновода при формировании энергии импульса;

$V_а$ – объем аккумулятора;

$\eta_к$ – коэффициент переноса энергии;

$\eta_п$ – коэффициент полезного действия переноса;

η – общий коэффициент полезного действия переноса;

$\eta_э$ – эффективный коэффициент полезного действия;

$\eta_у$ – полный коэффициент полезного действия;

$\beta_{пр}$ – объемный коэффициент сжатия;

$\rho_ж$ – плотность жидкости при нормальных условиях;

$\rho_т$ – плотность материала;

μ – динамический коэффициент вязкости;

ν – коэффициент кинематической вязкости жидкости;

$\Delta t_ж$ – приращение температуры;

$t^{\circ}_ж$ – температура окружающей среды;

$\Delta t^{\circ}_ж$ – температурный напор;

$\Delta t'_ж$ – приращение температуры за счет вязкого трения.

В В Е Д Е Н И Е

Решениями XXУ съезда КПСС предусмотрено опережающее развитие наиболее прогрессивных способов металлообработки.

К одному из таких способов относится кузнечно-штамповочное производство. Развитие кузнечно-штамповочного производства идет по линии непрерывного совершенствования технологического процесса производства деталей и оборудования, на котором осуществляется технологический процесс штамповки.

Совершенствование технологического оборудования осуществляется как за счет увеличения темпов модернизации машин, так и за счет создания новых машин. Создание новых машин осуществляется путем совершенствования существующих, а также путем использования новых форм энергии, например, химической и световой. Оба этих пути относятся к путям принципиально новых разработок. Выбор энергоносителя принципиально новой машины зависит от требований производства; к производительности машины, надежности, экономичности, ремонтоспособности, доступности и легкой автоматизации, безопасности и т.д. Эти требования весьма просто удовлетворяются, если использовать в качестве энергоносителя жидкость высокого давления, гидропривод машины заставить работать только в нестационарном режиме. В этом случае удается обеспечить быстродействие, приложение пиковой нагрузки на требуемом участке рабочего хода, повысить производительность, уменьшить материалоемкость, обеспечить условия легкой автоматизации путем исполвзования системы разветвленных разнодлинных труб, а также получить другие положительные факторы.

Работы, посвященные созданию новых быстродействующих гидравлических импульсных машин и установок, велись на кафедре АМ-6 МВТУ им.Н.Э.Баумана под руководством проф., д.т.н. Зимина А.И., в ВЗМИ и производственном объединении "Электролуч".

На московских заводах "Электросвет" им.П.Н.Яблочкова и машиностроительном "Рассвет" установлены первые опытно-промышленные образцы таких машин, разработанные производственным объединением "Электролуч" и кафедрой АМ-6.

Созданию этих машин предшествовали обширные теоретические и экспериментальные исследования, обеспечившие возможность раз-

работки методики энергетического расчета и проектирования этих машин, а также разработать типовые схемы последних.

В данной работе приведены результаты теоретического и экспериментального исследования по применению гидравлического импульса в кузнечно-штамповочном производстве.

Работа содержит 7 глав, общие выводы и приложение.

Глава I - "Современное состояние проблемы и задачи исследования".

Для штамповки изделий из металла используются различные типы импульсных машин и установок: взрывные, электромагнитные, электрогидравлические. Для них характерен один и тот же - волновой - способ передачи энергии.

Общие теоретические исследования работы отдельных машин и установок специального назначения, не являющихся импульсным, но использующих энергию волны: тарана, гидроударника для бурения скважин, гидровибраторов, показывают, что при работе этих машин и установок параметры волны существенно зависят от их конструктивного исполнения. Поэтому постановка вопроса и сам путь решения задач носит частный характер, пригодный только для рассматриваемой схемы, см., например, работу Е.Ф.Эпштейна и В.Г.Яснова.

При применении гидравлического удара для пластического деформирования металлов можно обеспечить: быстродействие при переносе энергии источника до силовой головки машины или установки и при совершении полезной работы, нагружение заготовки при ударном деформировании пиковой нагрузкой на требуемом участке хода инструмента или удвоенным давлением при накимном нагружении; синхронизацию движения подвижных частей машины со встречным движением, работу механизмов в автоматическом режиме и уменьшение материалоемкости оборудования.

В связи с этим возникает необходимость решить следующую проблему - принцип использования гидравлического импульса для пластического деформирования металлов и автоматизации работы штамповочного оборудования за счет распределения гидравлического импульса по разветвлениям труб, обеспечивающих подачу жидкости к различным исполнительным звеньям.

В соответствии с этой проблемой целью работы являлась:

– выработка научных основ создания новых быстродействующих гидравлических штамповочных импульсных машин и установок;

– разработка типовых схем, методики расчета и проектирования, размерного ряда, а также создание и исследование этих машин на основе вновь развитой прикладной теории массопереноса применительно к их гидросистемам.

Для материализации этой цели необходимо было решить следующие задачи:

– выявить типы силового воздействия гидравлического импульса на деформируемую заготовку, которые могут быть реализованы в схемах машин и установок;

– установить общую закономерность в формировании энергии импульса и ее связи с параметрами гидропривода, снабженного простым или сложным трубопроводом-волноводом, заполненным реальной, вязкой, сжимаемой, теплопроводной жидкостью;

– определить энерго-кинематические параметры машин и установок на основе изучения механизма трансформации энергии импульса в кинетическую энергию подвижных частей машины и взаимодействия гидравлического импульса с деформируемой заготовкой;

– разработать методику определения энергетических и кинематических параметров, типовых схем и размерного ряда импульсного оборудования на основе выводов развитой теории волнового переноса;

– создать и внедрить опытно-промышленные образцы импульсных машин;

– определить их технико-экономические показатели.

В главе показано решение без линеаризации системы дифференциальных уравнений с частными производными, описывающей нестационарное однородное движение жидкости в трубах. Решение имеет ответ вида:

$$p = p_a\left[1 - \frac{4}{\pi} e^{-\alpha t} \sum_{1}^{\infty} (-1)^n \frac{\cos\frac{2n-1}{2}\frac{l-x}{l}\pi}{2n-1} \left(\frac{\alpha}{\beta_n} sh\beta_n t + ch\beta_n t\right)\right]$$

при $v_{ж}|_{x=l_m} = 0$ и

$$p = p|_{v_{ж}|_{x=l_m}=0} + \sum_{1}^{\infty} p_a \frac{(2n-1)c}{2l\pi} \sin\frac{2n-1}{2}\frac{l-x}{l}\pi \int_0^t \left(\frac{\alpha}{\beta_n} sh\beta_n\tau + ch\beta_n\tau\right) d\tau \qquad (A)$$

при $v_{ж}|_{x=l_m} = \frac{p_a}{\rho_0 c}$; $\alpha = \frac{8\mu}{d_m^2}$, $\beta_n = \sqrt{\alpha^2 - \frac{c^2}{l^2}\left(\frac{2n-1}{2}\pi\right)^2}$.

Вычисления, выполненные на ЭВМ по программе "Алгол" (программа приведена в работе) показали, что количественная оценка волнового процесса близка к опытным данным.

Глава II - "Технологические нагрузки и характер силового воздействия исполнительного звена машин на деформируемую заготовку.

Кузнечно-штамповочное оборудование относится к типу технологических машин. Поэтому как проектирование, так и выбор кинематической схемы машин для получения изделий зависят от выполняемого на них технологического процесса.

Поскольку основными энергетическими характеристиками технологического процесса являются текущее и максимальное технологическое усилие и работа деформирования, то выбор и проектирование машин следует проводить с учетом этих основных характеристик.

Изучение динамики взаимодействия инструмента, существующих машин, с разным родом движения и деформируемой заготовки показало, что в настоящее время используются три типа силового воздействия: ударный, нажимной и ударно-нажимной. Все эти типы воздействия возможно реализовать и при применении гидравлического импульса по трем принципиальным схемам.

В связи с этим была разработана классификация возможных вариантов импульсного оборудования с указанием их назначения. Классификация представлена в работе в виде таблицы.

Также разработана методика выбора гидрокинематической схемы импульсного оборудования, согласно которой выбор рекомендуется осуществлять путем сопоставления заданного графика технологических усилий с графиками нагрузочной способности различных вариантов импульсных машин. Выбор считается осуществленным правильно, если обеспечено максимальное совпадение графика технологических нагрузок с одним из графиков нагрузочной способности. В этом случае будет обеспечено оптимальное энергетическое условие штамповки.

Глава III - "Основы теории и расчета энергетических параметров гидравлических импульсных машин и установок".

Исследование выполнено по гидравлической модели машины, представляющей совокупность упрощенной гидравлической системы

машины, с соответствующей моделью жидкости и силовой головки (исполнительного звена). При выборе модели использованы выводы глав I и II.

В качестве рабочей жидкости принята модель реальной вязкой сжимаемой теплопроводной жидкости. Гидравлический удар может использоваться для получения положительного эффекта в двух режимах работы гидравлической системы: автоколебания - гидравлический таран, вибраторы, гидроударники, молоты и в режиме единичного гидравлического импульса - машины и установки, рассматриваемые в данной работе и молот "Сибирь" Института гидродинамики Сибирского отделения АН СССР, существенно отличающиеся по принципу работы друг от друга.

Гидравлический импульс представляет собой полуволну давления, образующуюся в результате наложения прямой и обратной волн.

Изучению различных аспектов нестационарного движения жидкости в настоящее время уделяется большое внимание. Так, например, анализу влияния нестационарного гидравлического сопротивления трубопроводов на амплитудно-частотные характеристики привода посвящены работы исследователей: Колесникова К.С., Попова Д.Н., Гунова Б.В., Игнатова А.М., Матюшева И.М., Немировского И.А., Окунева В.А., Пересадько Ю.В. и др.

Анализу тепло- и массопереноса в жидкости, ее поведению в пограничном слое при ламинарном и турбулентном нестационарном движении, влияния различных факторов на параметры ударных волн; способов борьбы с гидравлическим ударом; исследованию гидравлических систем различного назначения посвящены работы исследователей: Ротта И.К., Зайцева А.А., Ботчова Р., Криминале В., Щукина В.Н., Померанцева А.А., Кутателадзе С.С., Абросимова Ю.Г., Асатура К.Г., Иванова М.Е., Целыковского А.Ф., Колесникова К.С., Малышева А.П., Вучетича Е., Обрадовича Д., Горбунова В.Ф., Харитонова В.П., Петухова Б.С. и т.д.

Однако исследования, посвященные изучению волнового переноса энергии в простых или сложных трубопроводах, заполненных жидкостью, недостаточны для расчета технологических машин и разработки методики их расчета и проектирования.

Данное теоретическое исследование выполнено при следующих известных допущениях:

1. Давление и уровень жидкости в аккумуляторе постоянны.

2. Скорость снижения уровня жидкости равна нулю.

Такие допущения возможны в виду существенной разницы в площадях поперечного сечения аккумулятора и трубопровода и непрерывного притока жидкости в аккумулятор от насоса.

3. Течение жидкости в трубопроводе ламинарное.

4. Давление газа и жидкости в аккумуляторе одинаковы (трением разделительного поршня пренебрегаем).

Полная энергия системы есть сумма нескольких составляющих, из них главная – энергия, перенесенная из аккумулятора.

Энергия переноса может быть определена при известных давлениях и скорости потока жидкости в трубопроводе. Эти параметры для первого периода определяются динамическими процессами, происходящими на границах системы, и явлениями, сопутствующими волновому движению жидкости в трубопроводе.

В главе показано, что давление жидкости на входе при случае мгновенного открытия клапана, т.е. когда нормальная площадь его щели $f_{ш} = f_{m}$ не влияет на формирование энергии, и если потери не учитывать, может быть определено решением системы дифференциальных уравнений вида

$$\rho_0 \frac{dv_u}{dt} = \frac{1}{l_{ш}} \left(p_a - \frac{1}{2}\rho_0 v_u^2\right),$$

$$v_u - v_ж = \beta_{пр} l_{ш} \frac{dp}{dt}$$

и уравнения

$$p = p_a - \rho_0 c \left(v_u - v_ж\right),$$

о зависимости вида

$$p = p_a \left(1 + e^{-\frac{ct}{l_{ш}}}\right). \qquad (1)$$

При этом скорость будет изменяться по закону

$$v_ж = \frac{p_a}{\rho_0 c}\left(1 - e^{-\frac{ct}{l_ш}}\right), \qquad (2)$$

а полная энергия определится по выражению:

$$E_0 = 2\beta_{пр} f_m (l_m + l_ш)\left(1 - \frac{l_ш}{4(l_m + l_ш)}\right), \qquad (3)$$

где $\beta_{пр} = \frac{1}{\rho_0 c^2}$.

Часть этой энергии трансформируется в энергию движения. Причем интенсивность трансформации может быть определена по коэффициенту гидромеханического сопротивления силовой головки.

$$\lambda = 0{,}5\frac{f_m}{f_n}\rho_0 c\left(1 + 32\mu d_ш d_к \frac{l'_m}{\rho_0 c d_m^{'2}} + \frac{h_ш}{\rho_0 c f_n}\right)\left[1 - \exp\left(-\frac{\rho_0 c f_n + 32\mu l'_m d_ш \frac{f_к}{d_m^{'2}} + h_ш}{m} t\right)\right] \qquad (4)$$

$$h_ш = 0{,}628\,\rho_0 c b d,$$

полученной решением системы уравнений вида

$$p = \lambda v_ж,$$

$$\frac{m\,dv_n}{dt} = p f_n + \rho_0 c (v_ж - v_n) f_n - \Delta p_ш f_к - R_y,$$

$$\Delta p_ш = \frac{32\nu l'_m}{d_m^{'2}}\rho_0\left(v_ж + 10^{-2}\frac{d_m^{'2}}{\nu}\frac{dv'_ж}{dt}\right),$$

$$v_ж = 2\frac{f_n}{f_m} v_n$$

с использованием операционного исчисления.

С учетом немгновенности действия клапана и потерь напора при нестационарном движении реальной сжимаемой вязкой теплопроводной жидкости энергия волны всегда будет меньше той, которую можно определить по формуле (3). Теплоперенос в гидросистеме увеличивает энергию волны. Эта энергия при условии $t_з = t_0$ может быть определена по зависимости

$$E_0 = 2\beta_{пр} l_m l_ж \rho_a^2 \left[1 - \beta_{пр}\rho_a\left(11{,}5 + 1{,}68\frac{ct_0}{l_m}\right) - 0{,}5\frac{ct_0}{l_m} - 16\frac{\nu l_m'}{d_m^2 c} + 12\frac{\Delta t_ж}{\rho_a}\left(1 - \frac{ct_0}{l_m}\right)\right]. \quad (5)$$

Причем приращение температуры может быть определено из соотношения

$$\Delta t_ж = \left(t_0^\circ + \Delta t_0^\circ + \Delta t_ж'\right)\left[1 - K\pi d_m l_m\left(2 + \frac{t_0^\circ}{t_0^\circ + \Delta t_0^\circ + \Delta t_ж'}\right)\frac{\delta_n d_c}{\lambda_ж d_m}\tau\right], \quad (6)$$

полученного решением уравнений теплопереноса с использованием теории импульсной теплопроводности.

Для оценки влияния открытия клапана было введено понятие коэффициента переноса энергии $\eta_к$, значение которого можно определить так

$$\eta_к = \frac{E_0''}{E_0'}$$

где E_0'' – энергия волны, полученная с учетом влияния работы клапана.

При условии $t_з = t_0$ по выражению

$$\eta_к = 1 - 0{,}5\,\frac{ct_0}{l_m + l_ш}. \quad (7)$$

Или при известном l_m и $l_ш$

$$t_0 = \frac{2\left(l_m + l_ш\right)}{C}\left(1 - \eta_к\right) \quad (8)$$

Для оценки эффективности переноса энергии источника волной было введено понятие коэффициента полезного действия переноса $\eta_п$, который может быть вычислен по зависимости

$$\eta_п = \frac{1 - \beta_{пр}\rho_a\left(11{,}5 + 1{,}68\frac{ct_0}{l_m}\right) - 0{,}5\frac{ct_0}{l_m} - 16\frac{\nu l_m'}{d_m^2 c} + 12\frac{\Delta t_ж}{\rho_a}\left(1 - \frac{ct_0}{l_m}\right)}{1 + 0{,}5\,\frac{ct_0}{l_m}}, \quad (8а)$$

Следовательно, общий коэффициент полезного действия переноса будет

$$\eta = \eta_к \cdot \eta_п \quad (9)$$

Энергия импульса совершает работу деформирования при

взаимодействии волны с инструментом при наличии активного сопротивления.

При этом могут быть два случая взаимодействия: I) длительность процесса этого воздействия меньше периода импульса и 2) длительность этого процесса больше периода импульса.

В первом случае для выяснения механизма преобразования энергии решается система дифференциальных уравнений с частными производными второго порядка. Это решение дано в работах Александрова Е.В. и др.

Во втором случае можно для анализа этого механизма использовать дифференциальное уравнение изменения количества движения и учесть, что при ударном деформировании степень деформации ε, согласно известному выводу Л.М.Кочанова, приведенному в работе "Основы теории пластичности", есть величина пропорциональная скорости деформирования и обратно пропорциональная сумме скоростей распространения пластической волны C_n и деформирования v_n.

В работе показано, что в этом случае скорость деформирования зависит: в упругой зоне (начальной стадии деформирования) от скорости распространения упругой волны и геометрических размеров исходной заготовки; в зоне пластического деформирования от соотношения силы воздействия на заготовку и динамического предела текучести. Причем, чем больше разница в них, тем интенсивнее проходит пластическое деформирование, что можно проследить по зависимости

$$v_n = \frac{\rho_a}{\rho_n \omega^2 h t_0}\sigma(t) - \frac{\rho_a}{\rho_n h}\frac{\sqrt{1+\omega^2}}{\omega^2}\cos(\omega t + \varphi_0)\sigma(t-t_0) + \\ + \frac{\Delta\rho}{\rho_0 c} - \ln\left(e^{\frac{\Delta\rho - \rho_0 c v_0}{\sigma_{sg}} + v_0 \frac{\rho_0 c}{\sigma_{sg}} t}\right)\sigma(t - t_{sg}) \qquad (9a)$$

$$\sigma(t-t_{sg}) = \begin{cases} 0 \text{ при } & t < t_{sg} \text{ и при } t > t_к \\ I \text{ при } & t_{sg} \le t \le t_к \end{cases}$$

полученной решением дифференциальных уравнений вида

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{E}{\rho_n h d_{заг}} x = \frac{\rho_a}{\rho_n h}\left(1 + \frac{t}{t_0}\right)_{/0<t<t_0} + \frac{\rho_a}{\rho_n h}_{/t \ge t_0}$$

$$\frac{dv_n}{dt} = \frac{dv_0}{dt} e^{\frac{\Delta p - \rho_0 c v}{\sigma_{sg}}}.$$

где значение $\frac{dv_0}{dt}$ находится дифференцированием соотношения и подстановкой значения $t = t_{sg} \leq 0$

$$v_n = \frac{\rho_0}{\rho_n \omega^2 t_0} \delta(t) - \frac{\rho_0}{\rho_n} \frac{\sqrt{1+\omega^2}}{\omega^2} \cos(\omega t + \varphi_0) \delta(t - t_0), \quad \omega = \sqrt{\frac{E}{\rho_n d_{sag}}}$$

$$\varphi_0 = \operatorname{arctg} \frac{1}{\omega}. \quad \delta(t) = \delta(t - t_0) = \begin{cases} 0 & \text{при } t < 0 \text{ и } t < t_0 \\ 1 & \text{при } t > 0 \text{ и } t > t_0 \end{cases}.$$

В результате исследований, изложенных в главе, было установлено:

I. Формирование гидравлического импульса сопровождается влиянием сложного переходного процесса, происходящего при быстром открытии клапана. Этот процесс увеличивает амплитуду и крутизну фронта импульса по сравнению с амплитудой и крутизной, имеющими место при относительно медленном открытии клапана. Причем амплитуда импульса в пределе стремится к удвоенному давлению жидкости в аккумуляторе, когда время открытия клапана стремится к нулю.

2. В трубопроводе наблюдается волновой теплоперенос, приводящий к увеличению энергии импульса.

3. На трансформацию энергии импульса в кинетическую энергию простого или сложного движения механической системы оказывает влияние гидромеханическое сопротивление силовой головки. Причем величина этого сопротивления является переменной во времени и зависящей от соотношения масс подвижных частей машины и жидкости в трубопроводе.

Максимальная трансформация энергии импульса достигает 0,65 от полной энергии, при соотношении масс равной I,76.

4. Механизм воздействия импульса на деформируемую заготовку не зависит отт схемы воздействия импульса (непосредственное воздействие на заготовку или через твердое тело).

5. При взаимодействии волны с заготовкой наблюдается взаимопереход одной формы энергии импульса в другую. Причем направление взаимоперехода форм энергии зависит от технологического процесса.

6. Распределение энергии импульса в сложном трубопроводе находится в прямой связи от назначения каждого разветвления системы. Причем ни степень сложности трубопровода, ни конструкция

силовой головки, которой заканчивается разветвление, не влияют на величину энергии переноса.

Глава 4 – "Обобщенная методика энергетического расчета и проектирования гидравлических штамповочных машин и установок.

В данной главе изложена методика расчета и проектирования гидравлических импульсных машин и установок, разработанная на основе результатов исследований, изложенных в предыдущих главах.

I. Важнейшим узлом гидравлической импульсной машины и установки является клапан, пропускающий жидкость из аккумулятора в трубопровод при быстром открытии и тем самым генерирующий удар, поэтому исследованию его было уделено первоочередное внимание.

В основном исследовались клапаны тарельчатого типа, "плавающие" и с сервоприводом.

В работе дается подробное описание исследования динамики "тарельчатого" двухстороннего клапана.

2. Расчет машин и установок: а) в главе Ш показано, что при гидравлическом ударе, создаваемом быстрым открытием клапана, энергия источника всегда трансформируется в импульсную энергию вида

$$П_т + К_т .$$

Использование различных передаточных звеньев (гл.П) может обеспечить получение различных форм выходной энергии. Причем полезная работа может быть совершена либо энергией импульса при непосредственном контакте жидкости с заготовкой, либо частью этой энергии и кинетической энергией подвижных частей машины, в которую преобразована некоторая доля энергии импульса.

При этом выбор схемы преобразования зависит технологического назначения машины.

Таким образом, расчет машины и установки должен начинаться с выбора схем преобразования энергии импульса в энергию подвижных частей оборудования. В работе приводится таблица рекомендуемых схем преобразования энергии импульса.

Далее.

I. Определяется максимальная сила нагружения заготовки.

МВТУ им. Н.Э. Баумана ФУНДАМЕНТАЛЬ

В гл.II показывается, что максимальная сила нагружения должна быть равной максимальной технологической нагрузке.

Несоблюдение этого требования может явиться одной из причин недоштамповки за один импульс.

2. Определяется эффективная $E_э$ и полная $E_о$ потребная энергия импульса по заданной работе пластического деформирования.

При их определении рекомендуется пользоваться значениями:

$\eta_э = 0,95 \div 0,99$ – для установок,

$\eta_э = 0,8$ – для машин,

$\eta_у = 0,65 \div 0,71$ – для машин,

$\eta_у = 0,57 \div 0,67$ – для установок.

3. Определяется давление жидкости на плунжер, потребное для пластического деформирования заготовки и давление жидкости в аккумуляторе по зависимостям

$$p = q \frac{f_{заг}}{f_п^n},$$

$$p_а = 0,1 \frac{E l_m}{d_m c} v'_{max}. \qquad (10)$$

4. Определяются размеры трубопровода-волновода, по одной из зависимостей:

$$l_р \geq 2 l_з, \quad l_{об} = \frac{2 V_р}{0,785 D_{об}^2},$$

$$f_m = \frac{E_о}{3 p_а}, \quad l_m = \frac{\Delta V_у}{1,5 \beta_{тр} p_а d_m^2}, \qquad (11)$$

$$3 = l_р + 5 \text{ или } 3 = H_{заг} + 5$$

5. Определяется масса подвижных частей (только для машин) по графику, приведенному в работе, или по зависимости

$$v_п = \frac{2 p_а}{\rho_о c} \left[1 - \exp\left(-0,8 \frac{f_п \rho_о c}{m} t\right) \right]. \qquad (12)$$

6. Определяются условный проход импульсного клапана и время его открытия и закрытия. Условный проход принимается рав-

ным поперечному сечению цилиндра исполнительного звена или трубопровода, время открытия клапана определяется из соотношения приведенного в работе. Оно не должно быть более $\frac{\ell_m}{10c}$

7. Определяется емкость V_a аккумулятора по зависимости

$$V_a = 0{,}18 \frac{\Delta V}{(1 - \eta_к)} . \qquad (13)$$

Если известны эффективная энергия машины или установки и скорость деформирования, расчет рекомендуется вести следующим образом.

В начале по эффективной энергии определяется работа деформирования и полная энергия машины или установки. Задается давление. (Рекомендуемые давления p_a = 200 - 300 кг/см^2).

Затем по формуле (5) при условии $t_o = \frac{2(\ell_m + \ell_ш)}{10\,c}$ и $t = \frac{2(\ell_m + \ell_ш)}{c}$ находится объем трубопровода.

Далее из соотношения кинетической энергии находится масса подвижных частей.

Затем, принимая во внимание, что относительная масса $K = \frac{m}{\rho_o V}$ находятся все необходимые расчетные величины.

Глава 5 - "Гидрокинематические схемы и специальные вопросы теории штамповочных импульсных машин и установок".

В этой главе рассматриваются гидрокинематические схемы машин и установок различного исполнения: гидравлические импульсные установки, на которых деформирование заготовки осуществляется импульсом, действующим непосредственно на заготовку и машины различного назначения, в которых деформирование осуществляется инструментом, предварительно разогнанным импульсом. Дается описание назначения и принципа работы рассмотренных классов оборудования. А также приводятся результаты исследования специальных вопросов проектирования этих машин и установок.

Отмечается, что гидравлические импульсные машины по технологическому назначению могут быть: 1) пресс-молотами; 2) обжимными; 3) высадочными автоматами и т.п.

Показано:

I. Что гидравлический импульсный пресс-молот конструктивно напоминает гидравлический пресс. Состоит из собственно пресса исполнительного звена и гидросистемы с аккумулятором со встроенным клапаном. По принципу действия может работать по молотовому и прессовому режимам.

Таким образом, подвижные части либо могут разгоняться, либо иметь незначительный ход приближения.

На такой машине рекомендуется использовать гидродемпфер, на который должен опираться стол. В работе приведен его расчет.

2. Что гидравлическая импульсная обжимная машина по принципу действия аналогична обжимным машинам с механическим приводом. Применение гидропривода с использованием гидравлического импульса позволяет существенно упростить конструкцию машины, повысить производительность и уменьшить шум.

При этом исполнительное звено может иметь несколько радиально расположенных гидравлических цилиндров, т.е. в этом случае трубопровод-волновод имеет разветвления одинаковой длины.

Количество разветвлений берется по числу цилиндров. Кроме того, могут быть разветвления для обеспечения подачи заготовки. Расчет этих машин аналогичен расчету пресс-молотов.

3. Что гидравлический импульсный высадочный автомат аналогичен холодновысадочному автомату с механическим приводом. Применение гидравлического удара позволяет увеличить существенно производительность машины, упростить конструкцию и повысить эффективность.

Автомат является весьма сложным агрегатом с несколькими исполнительными узлами. В связи с этим разветвления волновода должны иметь различную длину.

Причем длина разветвления определяется последовательностью работы узлов, задаваемой циклограммой работы автомата.

Наличие разветвлений различной длины приводит к усложнению протекания волнового процесса в системе, затрудняющему аналитическое описание этого процесса. В связи с этим был исследован процесс распространения волны в сложном трубопроводе-волноводе, с использованием графического метода Л.Беркерона.

Анализ процесса показал, что в сложном трубопроводе фор-

мируется импульс экспоненциальной, или синусоидальной форм.

Поскольку для определения условий нормальной работы автомата и его производительности важно время срабатывания различных элементов гидромеханической системы, был проведен подробный анализ влияния различных факторов на длительность срабатывания указанных элементов и выведена зависимость для расчета времени работы последних.

Глава 6 - "Экспериментальное исследование моделей гидравлических импульсных машин".

В целях проверки достоверности выводов теоретического исследования были проведены экспериментальные исследования моделей машин и установок.

а) На пресс-молоте исследовались: скорость и энергия, запасаемая подвижными частями до начала деформирования исходной заготовки; факторы, влияющие на энергию подвижных частей; полная энергия импульса; факторы, влияющие на величину этой энергии; коэффициент полезного действия модели машины.

б) На обжимной машине и автомате дополнительно проверялись: устойчивость работы и максимально возможная частота ударов в пределах импульсного нагружения.

Для определения к.п.д. машины производилась осадка заготовок.

При проведении экспериментальных исследований измерялись: давление в рабочей полости цилиндра при разгоне подвижных частей и их возвратном ходе; давление за импульсным клапаном; давление в возвратной полости цилиндра; ход подвижных частей во времени; ход импульсного клапана во времени; работа деформирования поковки.

Поскольку при экспериментальном исследовании должны были быть замерены как динамические, так и статистические величины, то было особое внимание уделено выбору аппаратуры и датчиков.

Предварительно параметры были разделены на динамические и статические. Динамические параметры: гидродинамическое давление жидкости, ход подвижных частей и клапана и их скорость; статические параметры - гидростатическое давление жидкости и газа в аккумуляторе.

Для измерения динамических величин использовались:

а) датчики давления мембранного типа, специально спроектированные, изготовленные и испытанные; б) ходограф реостатного типа; в) датчик скорости.

Для измерения статических величин: манометры класса I,5 и проволочные тензодатчики сопротивления, наклеенные непосредственно на трубопровод между аккумулятором и клапаном.

В качестве отметчика времени использовался вибратор с собственной частотой 500 Гц. Регистрация показаний производилась на осциллографах Н102 и Н700.

Испытание проводилось для давлений от 4 до 9 Мн/м^2 и для двух масс I,5 и 8,5 кг. Технологические испытания проводились при давлении 6, I0, I2, I4, I6, I8 Мн/м^2.

В результате экспериментального исследования было установлено, что начальная скорость деформирования изменялась в диапазоне от 3,55 до 5,8 м/сек, что совершаемая работа по мере роста энергии возрастала по параболическому закону; давление у плунжера вначале возрастает, затем, когда подвижные части начинают разгоняться, падает монотонно, а быстрота падения зависит от закона изменения скорости плунжера. В конце деформирования давление жидкости в силовой головке возрастает до $2\rho_a$; что изменение давления в процессе перемещения плунжера является функцией скорости подвижных частей. Причем, чем больше эта скорость, тем меньше давление, и, наоборот, чем меньше скорость, тем больше давление.

Масса подвижных частей оказывает влияние на давление в начальной стадии движения плунжера. Чем больше масса, тем больше давление, действующее на плунжер, что объясняется увеличением инертности подвижных частей машины.

Следовательно, чем больше масса, тем больше отражение волны.

Из опытов следует, что во всех случаях скорость стремится к максимальному значению, равному удвоенной скорости течения жидкости за фронтом волны.

Методика исследования автомата была в основном аналогична методике испытания гидравлического пресс-молота.

Кроме того, на автомате было проведено многократное осциллографирование его работы для выявления устойчивости его

работы.

В результате исследования также было установлено, что скорость распространения волны для гидравлических систем с условным проходом трубопровода равным 20 мм в среднем составляет 1100 м/сек. Ударное давление в трубопроводе меняется по синусоидальному закону, как это и было определено теоретически.

Были обнаружены эффекты отскока инструмента и опережения формирования импульса. Первый эффект проявляется в результате подхода к плунжеру пассивной фазы волны, что ведет к отходу плунжера от заготовки на (0,2-0,25) рабочего хода подвижных частей с последующим повторным ударом инструмента по заготовке. Данный эффект вреден. Может быть устранен закрытием клапана к моменту подхода отраженной волны к нему.

Эффект опережения объясняется распространением волны от золотника обратной связи, при его перемещении. В результате этого перемещения происходит предварительный гидравлический удар повышенного давления. Устранение этого нежелательного эффекта возможно соответствующей компановкой гидросистемы. Например, устранить этот эффект можно, если длину трубопровода обратной связи взять несколько больше длины трубопровода-волновода от клапана до разветвления.

Проводилась проверка фронта волны и влияния на его формирование времени открытия клапана, что подтвердило теоретические положения.

Все результаты экспериментальных исследований имели отклонения от данных теоретического анализа за 10-15%, а в отдельных случаях на 20%.

В виду аналогичности испытаний обжимной машины здесь не приводятся результаты ее испытания.

В главе 7 приведен расчет технико-экономических показателей.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Создан принципиально новый тип штамповочного оборудования - быстродействующие гидравлические импульсные машины и установки.

2. Разработаны научная основа создания гидравлических им-

пульсных машин и установок и методика их расчета и проектирования.

3. Разработаны типовые гидрокинематические схемы импульсного оборудования и размерный ряд этих машин.

4. Показано, что возможно решение без линеаризации системы дифференциальных уравнений, описывающих нестационарное движение реальной жидкости в трубах.

5. Установлено, что в период преобразования энергии импульса в работу пластического деформирования одновременно с этим преобразованием происходит непрерывный взаимопереход одной формы энергии импульса в другую. При этом направление и интенсивность перехода зависит от силы активного сопротивления. Когда эта сила меньше силы давления жидкости на плунжер, потенциальная форма энергии переходит в кинетическую и, наоборот, при активной силе, большей силы давления жидкости на плунжер происходит переход кинетической формы энергии в потенциальную.

Такой взаимопереход энергии из одной формы в другую улучшает схему нагружения, приближая ее к графику изменения технологического усилия по ходу.

6. При деформировании заготовки энергией импульса энергия источника выделяется прерывно, необходимыми для деформирования долями. Это достигается за счет применения импульсного клапана, встраиваемого в аккумулятор. Прерывное выделение энергии источника позволяет повысить эффективность использования мощности электродвигателя.

7. Установлено, что масса подвижных частей машины оказывает влияние на интенсивность роста их скорости при разгоне. Это влияние проявляется через коэффициент гидромеханического сопротивления.

В целях обеспечения необходимой скорости разгона масса подвижных частей должна подбираться по номограмме, предложенной в работе.

8. Предложено синхронизацию встречного движения частей и автоматическую работу механизмов машины осуществлять путем использования разветвлений трубопровода с одинаковыми длиной и диаметром для синхронизации и с одинаковым диаметром, но с разной длиной – для автоматизации. Причем определяющим в первом

случае является энергия импульса в разветвлении, а во втором – продолжительность работы механизма отт начала распространения части волны по разветвлению до конца совершения работы механизмом по цикловой диаграмме при параллельно-последовательной работе.

9. Установлено, что при использовании демпферного устройства на машинах с простым трубопроводом возможно исключить передачу неиспользованной, избыточной энергии на фундамент.

I0. Установлено, что автоматизация машины при помощи использования сложного трубопровода обеспечивает устойчивую работу этой машины в целом.

II. Теоретически показано, что применение трубопровода для переноса энергии источника позволяет эффективнее использовать эту энергию.

I2. Технико-экономическим обоснованием по укрупненным показателям установлено, что только за счет замены трех молотов одной импульсной машиной достигается сокращение общих капитальных вложений на сумму 47500 руб. Применение гидравлического импульса позволяет снизить металлоемкость машины примерно в I,3 раза и более.

I3. Показано, что к.п.д. $\eta_э$ зависит от отношения d_m/l_m Чем больше это отношение, тем выше к.п.д. $\eta_э$, тем больше эффективная энергия.

Рекомендован предпочтительный интервал отношения d_m/l_m 0,02 ÷ 0,I2.

I4. Установлено, что при применении гидравлического импульса в машинах ударного действия возможно обеспечить пиковую нагрузку на требуемом участке рабочего хода и удвоенную нагрузку при статическом нагружении.

I5. Показано, что в период неустановившегося движения жидкости в пределах времени импульса возможно использование избыточной тепловой энергии системы, образующейся в результате перехода части энергии источника в тепло.

I6. Рекомендуется импульсные машины и установки использовать для изготовления деталей методами объемной и листовой штамповки, требующих короткоходовые операции или в случае применения труднодеформируемых металлов.

Приложение

Размерный ряд гидравлических импульсных машин и установок

Полная энергия в кДж	Давление жидкости в аккумуляторе, МПа	Объем трубопровода, в $см^3$	Размеры стола, в мхм	Размеры машины в плане в мхм	Масса, в кг
I,0	20,0	I670	0,200x0,200	0,600x0,400	500
I,5	20,0	2500	0,200x0,200	0,600x0,400	750
2,5	20,0	4I60	0,200x0,200	0,600x0,400	I250
4,0	20,0	6700	0,250x0,250	0,800x0,600	2000
6,3	32,0	4I00	0,400x0,300	I,00x0,600	3I50
I0,0	32,0	6500	0,400x0,400	I,20x0,600	5000
I2.5	32,0	7800	0,450x0,450	I,20x0,600	6250
I6,0	32,0	I0400	0		8000
20,0	32,0	I3000			I0000
25,0	32,0	I6200			I2500
30,0	32,0	I9500			I5000
40,0	32,0	26000			20000
63,0	32,0	4I000			3I500
80,0	32,0	52000			40000
I00,0	32,0	65000			50000
I25,0	32,0	78000			62500
I60,0	32,0	I04000			80000

При составлении размерного ряда был использован принятый при производстве кузнечно-штамповочных машин нормальный ряд чисел.

Приведены технические характеристики опытно-промышленных образцов гидравлических импульсных пресс-молота и пресс-автомата.

Даны примеры расчета различных машин.

Вопросы, рассмотренные в диссертационной работе, изложены в следующих трудах.

1. А.И.Зимин, А.Ф.Кагарманов. Экспериментальная гидравлическая импульсная установка. Сборник МВТУ им.Баумана, "Машины и технология обработки металлов давлением", 1964.

2. А.Ф.Кагарманов. Выбор устройств для борьбы с гидравлическим ударом на современных прессах. Ж. "Кузнечно-штамповочное производство", № 7, 1964.

3. А.И.Зимин, А.Ф.Кагарманов. Гидравлический импульсный пресс-молот". Сб.: МВТУ ИМ.Баумана, "Машины и технология обработки металлов давлением", 1967.

4. А.Ф.Кагарманов и др. Исследование датчиков различных конструкций. Ж. "Кузнечно-штамповочное производство", № 4, 1967.

5. А.Ф.Соколов, А.Ф.Кагарманов. Методика расчета распределительных клапанов. - Сборник МВТУ им.Баумана, "Машины и технология обработки металлов давлением", 1969.

6. Ю.А.Бочаров, А.Ф.Кагарманов. Исследование безударной разгрузки цилиндров гидравлических прессов. Сборник МВТУ им. Баумана, "Машины и технология обработки металлов давлением", 1969.

7. А.Ф.Кагарманов. Гидравлический импульсный пресс-молот. Тезисы докладов на научно-технической конференции ВЗМИ, 1967.

8. А.Ф.Кагарманов. Гидравлические импульсные пресс-молоты и их технологические возможности. Тезисы докладов на Всесоюзной научно-технической конференции по новой технологии объемной штамповки, Минск, 1970.

9. А.Ф.Кагарманов. Выбор кузнечно-штамповочного оборудования по технологическим признакам, "Прогрессивные процессы,

штампы и оборудование для холодной и горячей штамповки". Материалы семинара. М., 1971.

10. А.Ф.Кагарманов. Гидравлический импульсный пресс-молот. Тезисы докладов на УП научно-технической конференции. Тула, 1971.

11. А.Ф.Кагарманов. Гидравлический импульсный пресс-молот и его технологические возможности. Ж. "Кузнечно-штамповочное производство", № 11, 1970.

12. А.Ф.Кагарманов и др. Динамический расчет распределительных клапанов гидравлических прессов. - Сборник ВЗМИ, 1971.

13. А.Ф.Кагарманов, М.Б.Сафарян. Зависимость формы фронта ударной волны от времени открытия импульсного клапана. Ж. "Промышленность Армении", № 10, 1970.

14. А.Ф.Кагарманов, М.Б.Сафарян. Гидравлический импульсный высадочный автомат. Ж. "Кузнечно-штамповочное производство", № 2, 1972.

15. М.М.Друкер, А.Ф.Кагарманов и др. Опробование способа калибровки производственных деталей методом взрыва в замкнутом объеме. Отчет по хоздоговорной теме № 5, 1965.

16. А.И.Зимин, А.Ф.Кагарманов и др. Гидравлический молот нового типа. Отчет по хоздоговорной теме, 1969.

17. А.Ф.Кагарманов и др. Исследование и разработка гидравлического импульсного пресс-молота. Отчет по теме № 217/69, 1970.

18. А.Ф.Кагарманов и др. Теория и методика расчета новых гидравлических штамповочных импульсных машин и установок. Отчет по госбюджетной работе, 1972.

19. А.Ф.Кагарманов. Теоретическое и экспериментальное исследование гидравлической импульсной установки. Дисс.на соиск. учен.степ.к.т.н., 1963.

20. А.Ф.Кагарманов. Теоретическое и экспериментальное исследование гидравлической импульсной установки. Автореф.дисс., 1963.

21. А.Ф.Кагарманов, Р.М.Рамаев. Динамика рабочего органа гидравлических импульсных ковочных вальцов, "Известия" вузов, "Машиностроение", № 10, 1975.

22. А.Ф.Кагарманов, И.Е.Коцин. О динамике гидравлических

импульсных машин. К. "Промышленность Армении", № 3, 1977.

23. А.Ф.Кагарманов и др. Гидравлический импульсный пресс-молот. Авт.овид. № 173608. Опубликован в бюлл. № 15, 21, 1965.

24. А.Ф.Кагарманов и др. Гидравлический импульсный пресс-молот. Авт.овид. № 184131. Опубликовано 9.11.66 в бюлл. № 14.

25. А.Ф.Кагарманов. Распределительный клапан. Авт.овид. № 180037. Опубликовано 28.11.66 в бюлл. № 6.

26. А.Ф.Кагарманов и др. Проволочно-гвоздильный автомат. Авт.овид. № 271489. Опубликовано 26.05.70 в бюлл. № 18.

27. А.Ф.Кагарманов и др. Гидравлический привод вращения рабочих органов машины. Авт.овид. № 518379, бюлл. № 23, 1976.

28. А.Ф.Кагарманов и др. Гидравлический привод вращения рабочих органов машины. Авт.овид. № 488647, бюлл. № 39, 1975.

29. А.Ф.Кагарманов и др. Гидравлический импульсный автомат. Авт.овид. № 579075, бюлл. № 41, 1977.

30. А.Ф.Кагарманов и др. Новые быстродействующие штамповочные гидравлические импульсные машины и установки НИИМАШ г.Москва, 1978.

По работе были сделаны доклады и сообщения на научно-технических конференциях и научных семинарах кафедры ОМД, на кафедрах АМ-6 и К-5 МВТУ и Тульского политехнического института в 1965-1970 гг., на Всесоюзных семинарах кузнецов-штамповщиков, организованных Домом научно-технической пропаганды им.Дзержинского в период 1970-1977 гг.