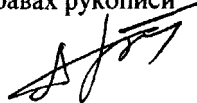


На правах рукописи



Кутумов Алексей Анатольевич

**НАВЕСНОЙ ПНЕВМАТИЧЕСКИЙ МОЛОТ
С ДРОССЕЛЬНЫМ ВОЗДУХОРАСПРЕДЕЛЕНИЕМ
ДЛЯ РАЗРАБОТКИ МЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ**

Специальность 05.05.04 - Дорожные, строительные и
подъемно-транспортные машины

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Томск - 2004

Работа выполнена в Новосибирском государственном архитектурно-строительном университете (Сибстрин)

Научный руководитель - Заслуженный изобретатель РСФСР
доктор технических наук,
профессор Э.А. Абраменков

Официальные оппоненты:
доктор технических наук, профессор - Б.Н. Смоляницкий
кандидат технических наук, доцент - Ф.В. Цап

Ведущее предприятие - СПОАО «Сибкадемстрой»
г. Новосибирск

Защита диссертации состоится «25» декабря 2004 г. в 14⁰⁰ час.
на заседании специализированного совета К 212.265.01 по защите
диссертаций на соискание ученой степени кандидата технических
наук в Томском государственном архитектурно-строительном
университете по адресу
634003, г. Томск, пл. Соляная 2, корп. 4, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью организации, просим высылать в Совет по адресу университета.

Автореферат разослан «23» ноября 2004г.

Ученый секретарь
специализированного Совета
к.т.н., доцент



Кравченко С.М.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

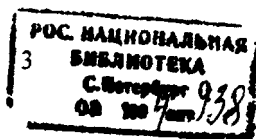
Актуальность проблемы. Производство земляных работ в зимнее время при строительстве новых промышленных и гражданских объектов, а также ведение аварийных работ по ремонту подземных коммуникаций требует применения все более совершенного специализированного оборудования для разработки мёрзлых грунтов.

Из всего многообразия разрабатываемых грунтов большие трудности возникают в процессе разрушения мёрзлых грунтов, разработка которых является трудоёмким и малопроизводительным процессом. Стоимость разработки чрезвычайно высока и во много раз превышает стоимость разработки грунтов в летний период, поскольку прочность мёрзлого грунта в десятки раз выше прочности не мёрзлого грунта.

Почти все типы землеройных машин мало используются в зимний период. Если бы были созданы методы и средства, позволяющие осуществлять разработку мёрзлых грунтов с производительностью, близкой к производительности в летних условиях, общий объём земляных работ, выполняемых ежегодно в стране, значительно бы возрос.

Непосредственная эффективность разработки мёрзлого грунта землеройными машинами существующих типов практически невозможна, поэтому для успешной разработки таких грунтов требуется создание новых специальных конструкций машин типа экскаваторов с ковшом активного действия и навесных молотов, среди которых пневматические молоты даже в сравнении с гидравлическими являются предпочтительными.

Данная работа выполнялась по научному направлению гос. реу. №01940009360 Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета «Разработка на основе импульсных систем новых и повышение эффективности существующих ручных машин и инструментов, применяемых в промышленном, гражданском и сельскохозяйственном строительстве в условиях Сибири»



Идея исследований. Использование положительных качеств дроссельного пневмоударного механизма с центральной воздухоподводящей трубкой (ДПУМ(Т)) в навесных пневматических машин ударного действия.

Цель исследования. Создание пневмоударного механизма (ПУМ) навесного пневматического молота с улучшенными эксплуатационными характеристиками.

Задачи исследования:

- обеспечение параметров физико-математической модели дроссельного пневмоударного механизма с подвижной центральной воздухоподводящей трубкой и предкамерой сетевого воздуха;

- установление баро- и термодинамических зависимостей ДПУМ(Т);

- установление параметров рабочего процесса механизма и уточнение методики его инженерного расчета;

- создание экспериментального образца навесного пневматического молота с ДПУМ(Т) и предкамерой сетевого воздуха, исследование и испытание его в лабораторных условиях.

Методы исследования. Применен комплексный метод, включающий аналитический обзор и обобщение известного опыта; теоретические разработки с использованием методов механики; математическое моделирование рабочих процессов пневмоударного механизма с целью установления рациональных соотношений между геометрическими и энергетическими параметрами.

На защиту выносятся следующие положения, относящиеся к пневматическому молоту:

- физико-математическая модель рабочего процесса ДПУМ(Т);

- баро- и термодинамические процессы в камерах рабочего и холостого ходов ДПУМ(Т);

- результаты исследования ДПУМ(Т) с различными настройками по определению рациональных соотношений параметров.

Достоверность научных положений обоснована:

- анализом ситуации по исследуемой проблеме и использованием опыта исследования и создания эффективного оборудования по разработке мёрзлых грунтов;
- анализом физико-математических моделей, которые использовались ранее при создании ПУМ;
- сопоставлением параметров рабочего цикла ДПУМ(Т), полученных при аналогичных исследованиях другими авторами.

Научная новизна заключается в следующем;

- предложена физико-математическая модель рабочего процесса пневматического молота с ДПУМ(Т) и предкамерой сетевого воздуха;
- получены и исследованы баро- и термодинамические зависимости рабочего цикла ДПУМ(Т) пневматического молота;
- получены оптимальные соотношения параметров ДПУМ(Т) пневматического молота.

Практическая ценность работы заключается в следующем:

- разработан и изготовлен навесной пневматический молот с ДПУМ(Т) для разрушения мёрзлых грунтов;
- разработана методика инженерного расчета и выбора основных параметров навесного пневматического молота.
- новый навесной пневматический молот с ДПУМ(Т) используется в учебном процессе в качестве наглядного пособия по учебным дисциплинам «Строительные машины» и «Механизация и автоматизация строительства» в НГАСУ (Сибстрин).

Личный вклад автора заключается в следующем:

- сформулированы основные принципы и подходы теоретических и экспериментальных исследований, направленных на выполнение задач исследований;
- предложены и обоснованы рациональные параметры ДПУМ(Т) с предкамерой сетевого воздуха;
- предложена и исследована физико-математическая модель рабочего процесса навесного пневматического молота с дроссельным воздухораспределением с подвижной центральной воздухоподводящей трубкой и предкамерой сетевого воздуха;

- предложено виброзащитное пневмобаллонное устройство к навесному пневматическому молоту;

- предложены формулы для инженерного расчета и выбора основных параметров навесного пневматического молота для разработки мёрзлых грунтов.

Апробация исследований. Изложенные в диссертации результаты обсуждались на 59, 60 и 61-й научно-технической конференции НГАСУ (Сибстин) (Новосибирск 2002 - 2004гг.).

Публикации. Основные положения диссертации опубликованы в 9 печатных работах и 1 патента РФ, на изобретение.

Объём и структура работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, библиографического списка и приложений. Работа изложена на 222 страницах основного машинописного текста, содержит 99 рисунков и 10 таблиц. Список литературы включает 246 наименования. В приложении включены программа расчета и другие материалы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении отмечены актуальность проблемы, идея, цель, задачи и методы исследований, положения, выносимые на защиту, достоверность научных положений, научная новизна и практическая ценность полученных результатов и личный вклад автора.

Первая глава диссертации посвящена анализу существующих машин и технологий разрушения мёрзлых грунтов, а также аналитическому обзору исследований рабочих процессов пневматических машин ударного действия по данной проблеме.

В настоящее время исследования в нашей стране и за рубежом показывают, что общее количество способов разработки мёрзлых грунтов непрерывно растёт. Появляются новые технологии, основанные на последних достижениях механики, физики, химии, электротехники и др. В связи с этим возникает задача оценки этих технологий и определения областей их применения. Рассмотрены различные технологии: термическое и электрическое разрушение, технологии предохранения грунтов от промерзания, технологии оттаивания, взрывной способ и т.п. Показано,

что наиболее эффективным способом разработки мёрзлых грунтов является ударный, с использованием навесных устройств.

Широкие исследования по ударному разрушению мёрзлых грунтов, скальных пород и углей проведены во ВНИИСтройдормаше, МАДИ, ИГД СО РАН, МИСИ, ИГД им. А.А. Скочинского, ЦНИИСе, УПИ, Карагандинском политехническом институте и других организациях под руководством А.Н. Зеленина, Ю.А. Ветрова, М.И. Гальперина, В.Д. Абезгауза, Л.И. Барона, В.И. Баловнева, Д.П. Волкова, Л.И. Фёдорова, И.А. Недорезова, А.И. Федулова, Г.В. Родионова, М.А. Турина, Н.С. Шкуренко, И.М. Вашука, Ю.Г. Коняшина, В.С. Никифоровского, Е.И. Шемякина, а также их учениками и последователями. Анализ выполненных работ показывает, что большая часть из них посвящена изучению влияния отдельных факторов и параметров на эффективность процессов рыхления и отбойки.

Основным показателем процесса ударного разрушения мёрзлого грунта принята удельная энергоёмкость. Установлено, что на величину удельной энергоёмкости разрушения и производительность при данных грунтовых условиях оказывают влияние следующие факторы: энергия единичного удара, эффективность передачи энергии при ударе, частота ударов, форма и размеры рабочего органа, расстояние установки рабочего инструмента от кромки забоя или толщины разрушаемого слоя, расстояния между зубьями при разработке грунта группой инструментов, угол наклона рабочего органа, величина статической пригрузки.

Эффективность применения той или иной технологии разработки грунтов будет зависеть от научно обоснованного выбора конструктивных и технических параметров ударных устройств, схем средств навески и перемещения их в технологическом пространстве относительно разрушаемого объекта.

Во второй главе изложены методы обеспечения основных параметров ПУМ. Рассмотрены и проанализированы различные типы приводов. Энергия единичного удара, приходящаяся на единицу массы машины, по имеющимся материалам у пневматических и гидравлических ударных устройств, в среднем, имеет одинаковое значение. При этом преимуществ гидроударных уст

роЙств по производительности не обнаружено. При равной мощности гидромолоты тяжелее пневмомолотов на 22% и дороже в 2,5 раза. Необходимо отметить, что в каждом конкретном случае вопрос выбора типа привода ударного устройства должен решаться, исходя из условий применения. Учитывая, что создаваемая машина будет эксплуатироваться в условиях Сибири, наиболее целесообразным, с точки зрения автора, будет использование пневматического ударного устройства.

Основным параметром, определяющим производительность машин, является энергия единичного удара. Наиболее рациональным обоснованием выбора величины энергии единичного удара является расчётный путь, так как при этом можно учесть физико-механические свойства обрабатываемой среды. При таком подходе производительность обеспечивается за счёт частоты ударов, которая вводится в соответствии с допусаемым (оптимальным) усилием нажатия. Было установлено, что для V категории мёрзлых грунтов (35-70 ударов *C* динамического ударника-плотномера ДорНИИ), учитывая изменение коэффициента трения грунта по стали, необходимая и достаточная величина энергии единичного удара равна $A=600$ Дж.

В современных конструкциях ПУМ применяются различные типы воздухораспределения, которые условно можно разделить на дроссельное, золотниковое, клапанное, беззолотниковое, струйное, бесклапанное, комбинированное. В дроссельном механизме отсутствуют такие недостатки: зависимость длины ударника от величины его хода (беззолотниковые и бесклапанные ПУМ), малая надёжность воздухораспределителей (клапанные и золотниковые ПУМ). Выбор дроссельного распределения предпочтён самой высокой надёжностью запуска при отрицательных температурах, чего нельзя отметить для клапанных и золотниковых ПУМ, а также устойчивостью в широком диапазоне свойств обрабатываемого материала, от дерева до металла. Применение в ДПУМ центральной подвижной воздухоподводящей трубки позволяет уменьшить габариты механизма и его массу. Также представляется возможным реализовать бесканальный дроссельный механизм с уменьшенным числом посадочных по-

верхностей, выполнение которых с одной установки крайне затруднительно (рис. 1).

Исследованиям различных путей виброзащиты посвящены многочисленные работы: Б.В. Суднишникова, Н.А. Клушина, А.М. Петрева, А.С. Григанова, В.Ф. Горбунова, В.И. Копытова, И.Ф. Высоцкого, Ю.Д. Валанчаускаса, С.С. Дерберти, В.В. Козлова, Д.С. Бржезинского, а также другими авторами, которыми получены весьма важные результаты по решению задачи гашения колебаний ударного механизма, в которых показано, что заметный успех в решении этой задачи достигается только при совместной реализации взаимоприемлемых способов гашения вибрации. Необходимо отметить исследования А.И. Федулова, Р.А. Иванова, Я.А. Иванова, посвященные вопросу создания амортизаторов к навесным ударным устройствам. Полученные ими аналитические зависимости и методики расчета позволяют обоснованно выбрать параметры и произвести расчет амортизатора к различным навесным ударным устройствам без нарушения нормального режима работы и снижения ресурса их эксплуатации. Предлагается в качестве средства виброзащиты использовать два торообразных или овалообразных пневмобаллона, расположенных в двух ярусах между ударным узлом и навеской, с возможностью регулирования жесткости в зависимости от изменения физико-механических свойств обрабатываемой среды.

В качестве носителя для размещения ДПУМ(Т) предлагается использовать гусеничное шасси, выпускаемое ОАО «Рубцовский машиностроительный завод», в разработке которого принимал участие автор. Данная машина предназначена для выполнения различных народно-хозяйственных задач, на платформе которой возможна установка необходимого оборудования (компрессора, манипулятора, кабины оператора и т.п.). Эта машина может эксплуатироваться в условиях бездорожья, заболоченности, распутицы, пересечённой местности, глубокого снежного покрова при температуре воздуха от +40 °С до -40 °С.

В третьей главе представлены численные исследования динамики ДПУМ(Т). При построении физико-математической модели ДПУМ(Т) были приняты известные допущения и ограниче-

ния. Рассматриваемый пневматический молот с ДПУМ(Т) и предкамерой сетевого воздуха, содержит средства формирования импульса ударника в виде камер надува, средства впуска - постоянно открытые дроссели, средства выпуска - каналы выпуска отработавшего воздуха.

Расчётная схема предложенного механизма представлена на рис. 1. Здесь же приведены фрагменты расположения сечения трубки в зазоре центрального отверстия крышки, показывающие, что при изменении положения трубки, геометрическое сечение кольцевого дросселя впуска в камеру рабочего хода всегда постоянно (сечение А-А). В соответствии с данной схемой и проводилось построение физико - математической модели ПУМ.

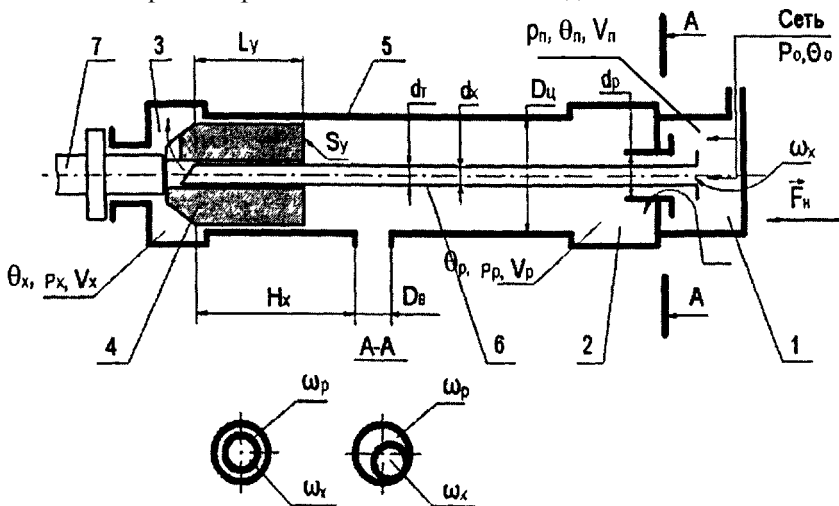


Рис. 1. Расчётная схема ДПУМ(Т): 1-предкамера; 2-камера рабочего хода; 3-камера холостого хода; 4-ударник; 5-корпус (цилиндр); 6-трубка; 7-инструмент.

При физико - математическом описании принято дополнительное допущение, не меняющее принципиальной физической картины процесса, но упрощающее ее описание: трубка в осевом положении неподвижна.

Система уравнений рабочего процесса в ДПУМ(Т) запишется в виде(1):

$$\left. \begin{aligned}
 \frac{dp_{\Pi}}{dt} &= \frac{k}{V_{\Pi}} \left[W(\omega_{\Pi o} \varphi_{\Pi o} - \omega_p \varphi_p - \omega_x \varphi_x) \right] \\
 \frac{dp_p}{dt} &= \frac{k}{V_p - x_y S_y} \left[W(\omega_p \varphi_p - \gamma_{ap} \varphi_{ap}) + p_p \frac{dx_y}{dt} S_y \right], \\
 \frac{dp_x}{dt} &= \frac{k}{V_x + x_y S_y} \left[W(\omega_x \varphi_x - \gamma_{ax} \varphi_{ax}) - p_x \frac{dx_y}{dt} S_y \right], \\
 \frac{d\theta_{\Pi}}{dt} &= \frac{\theta_{\Pi}}{p_{\Pi} V_{\Pi}} \left[W(\omega_{\Pi o} \varphi_{\Pi o} \Omega_{\Pi o} - \omega_p \varphi_p \Omega_p \pm \omega_x \varphi_x \Omega_x) \right], \\
 \frac{d\theta_p}{dt} &= \frac{\theta_p}{p_p (V_p - x_y S_y)} \left[W(\omega_p \varphi_p \Omega_p - \gamma_{ap} \varphi_{ap} \Omega_{ap}) + (k-1) p_p \frac{dx_y}{dt} S_y \right], \\
 \frac{d\theta_x}{dt} &= \frac{\theta_x}{p_x (V_x + x_y S_y)} \left[W(\omega_x \varphi_x \Omega_x - \gamma_{ax} \varphi_{ax} \Omega_{ax}) - (k-1) p_x \frac{dx_y}{dt} S_y \right], \\
 \frac{d^2 x_y}{dt^2} &= \frac{S_y (p_x - p_p) - F_T}{m_y} \text{ нпу } x_y \geq 0, \\
 \left(\frac{dx_y}{dt} \right)_0 &= -k_y \left(\frac{dx_y}{dt} \right)_y \text{ нпу } x_y < 0, \\
 \frac{d^2 x_{\kappa}}{dt^2} &= \frac{S_{\kappa} (p_x - p_p) - F_{T\Gamma} + F_y - F_T + F_n}{m_{\kappa}} \text{ нпу } x_{\kappa} \geq 0, \\
 \left(\frac{dx_{\kappa}}{dt} \right)_0 &= -k_{\kappa} \left(\frac{dx_{\kappa}}{dt} \right)_y \text{ нпу } x_{\kappa} < 0, \\
 \frac{d^2 x_T}{dt^2} &= \frac{S_T (p_x - p_p) - F_{T\Gamma} - F_T}{m_T} \text{ нпу } x_T \geq 0, \\
 \left(\frac{dx_T}{dt} \right)_0 &= -k_T \left(\frac{dx_T}{dt} \right)_y \text{ нпу } x_T \leq 0
 \end{aligned} \right\} (1)$$

Обозначения в (1) имеют следующий физический смысл:

$$W = \sqrt{\frac{2kR}{k-1}}; \omega_p = \text{const}; \omega_x = \text{const}; D_e = \text{const};$$

R, k - газовая постоянная и показатель процесса; $\omega_{пo}, \omega_p, \omega_x$ - проходные сечения дросселей впуска в предкамеру камеры рабочего и холостого ходов; D_e - диаметр выпускного отверстия; $P_a, P_o, P_{п}, P_p, P_x$ - давления воздуха в атмосфере, сети, в предкамере, в камерах рабочего и холостого ходов; $V_{п}, V_p, V_x$ - объёмы предкамеры, камер рабочего и холостого ходов; $\varphi_{пo}, \varphi_p, \varphi_x$ - функции впуска воздуха в предкамеру, камеру рабочего и холостого ходов; $\varphi_{ap}, \varphi_{ax}$ - функции выпуска воздуха в камеру рабочего и холостого ходов из атмосферы; γ_{ep}, γ_{ex} - функции проходных сечений каналов выпуска воздуха из камеры рабочего и холостого ходов; $\Omega_{пo}, \Omega_p, \Omega_x$ - функции расхода воздуха в зависимости от изменения температур со стороны предкамеры, камер рабочего и холостого ходов; Ω_{ap}, Ω_{ax} - функции расхода воздуха в зависимости от изменения температуры на выпуске в атмосферу из камер рабочего и холостого ходов; $\theta_a, \theta_o, \theta_{п}, \theta_p, \theta_x$ - температура воздуха в атмосфере, сети, в предкамере, в камерах рабочего и холостого ходов; k_y, k_k, k_T - коэффициенты «отскока» ударника и корпуса от инструмента и трубки от крышки корпуса; F_{TT}, F_y, F_T - силы трения трубки о втулку корпуса, ударника о корпус и трение трубки об ударник в направлении оси перемещения корпуса; F_H - сила нажатия на корпус; x_y, x_k, x_T - перемещение ударника, корпуса и трубки; S_y, S_H, S_T - площади диаметральных сечений ударника, инструмента и трубки; $S_k = S_y - S_H$ - площадь сечения корпуса со стороны инструмента; t - время; m_y, m_k, m_T - масса ударника, корпуса и трубки.

Баро- и термодинамические функции впуска и выпуска имеют вид:

для функции $\varphi_{\Pi o}$:

$$\varphi_{\Pi o} = \begin{cases} 0,2583 > p_{\Pi} / p_o & 0,2588 \cdot p_o \sqrt{\theta_o}, \\ 0,2583 \leq p_{\Pi} / p_o & p_o \sqrt{\theta_o} \cdot \sqrt{(p_{\Pi} / p_o)^{2/k} - (p_{\Pi} / p_o)^{(1+k)/k}}, \\ 0,2583 > p_o / p_{\Pi} & -0,2588 \cdot p_{\Pi} \sqrt{\theta_{\Pi}}, \\ 0,2583 > p_o / p_{\Pi} & -p_{\Pi} \sqrt{\theta_{\Pi}} \cdot \sqrt{(p_o / p_{\Pi})^{2/k} - (p_o / p_{\Pi})^{(1+k)/k}}; \end{cases} \quad (2)$$

для функций φ_p, φ_x :

$$\varphi_i = \begin{cases} 0,2583 > p_i / p_{\Pi} & 0,2588 \cdot p_o \sqrt{\theta_o}, \\ 0,2583 \leq p_i / p_{\Pi} & p_o \sqrt{\theta_o} \cdot \sqrt{(p_i / p_{\Pi})^{2/k} - (p_i / p_{\Pi})^{(1+k)/k}}, \\ 0,2583 > p_{\Pi} / p_i & -0,2588 \cdot p_i \sqrt{\theta_i}, \\ 0,2583 > p_{\Pi} / p_i & -p_i \sqrt{\theta_i} \cdot \sqrt{(p_{\Pi} / p_i)^{2/k} - (p_{\Pi} / p_i)^{(1+k)/k}}; \end{cases} \quad (3)$$

для функций $\varphi_{ap}, \varphi_{ax}$:

$$\varphi_{ai} = \begin{cases} 0,2583 > p_i / p_a & -0,2588 \cdot p_a \sqrt{\theta_a}, \\ 0,2583 \leq p_i / p_a & -p_a \sqrt{\theta_a} \cdot \sqrt{(p_i / p_a)^{2/k} - (p_i / p_a)^{(1+k)/k}}, \\ 0,2583 > p_a / p_i & 0,2588 \cdot p_i \sqrt{\theta_i}, \\ 0,2583 > p_a / p_i & p_i \sqrt{\theta_i} \cdot \sqrt{(p_a / p_i)^{2/k} - (p_a / p_i)^{(1+k)/k}}; \end{cases} \quad (4)$$

для функций γ_{ap}, γ_{ax} :

$$\gamma_{ap} = \begin{cases} 0, & \text{при } (H_x + D_a) < x_y, \\ x_y \cdot D_a, & \text{при } (H_x + D_a) \geq x_y, \\ \pi \cdot D_a^2 / 4, & \text{при } H_x \geq x_y; \end{cases} \quad \gamma_{ax} = \begin{cases} 0, & \text{при } H_x \geq x_y, \\ x_y \cdot D_a, & \text{при } (H_x + D_a) \geq x_y, \\ \pi \cdot D_a^2 / 4, & \text{при } (H_x + D_a) < x_y; \end{cases} \quad (6)$$

для функции $\Omega_{\Pi o}$:

$$\Omega_{\Pi o} = \begin{cases} \varphi_{\Pi o} > \theta & k - (\theta_{\Pi} / \theta_o), \\ \varphi_{\Pi o} \leq \theta & k - 1; \end{cases} \quad (6)$$

Для функций Ω_p, Ω_x :

$$\Omega_i = \begin{cases} \varphi_i > \theta \\ \varphi_i \leq \theta \end{cases} \cdot \begin{cases} k - (\theta_i / \theta_{\Pi}) \\ k - 1; \end{cases} \quad (7)$$

для функций Ω_{ap}, Ω_{ax} :

$$\Omega_{ai} = \begin{cases} \varphi_{ai} \leq \theta \\ \varphi_{ai} > \theta \end{cases} \begin{cases} k - (\theta_i / \theta_a) \\ k - 1. \end{cases} \quad (8)$$

Следует отметить, что система (1) позволяет рассматривать два случая: $x_T = \theta$ и $x_T \neq \theta$. Система уравнений (1) решается при $x_T = \theta$, что может быть обеспечено конструктивным решением с сохранением возможности радиального перемещения трубки, которое не изменяет параметров обеспечения рабочего процесса, поскольку диаметрально проходное сечение канала впуска, а, следовательно, расход воздуха сохраняет свои характеристики. Решение системы (1) производится численным методом. В результате решения определяются оптимальные параметры в размерном и безразмерном виде. Для создаваемого ДПУМ(Т) размерные параметры следующие: $d_a = 0,45$ м - диаметр выпускного канала, $d_{ax} = 0,009$ м - диаметр дросселя холостого хода; $d_{px} = 0,0098$ м - диаметр дросселя рабочего хода; $H_x = 0,13$ м - начальная высота камеры холостого хода; $V_x^H = 0,001152$ м³ - начальный объём камеры холостого хода. Безразмерные параметры равны:

$$\begin{cases} \alpha = \omega_x V_p (\omega_p V_x)^{-1} = 6, \\ \lambda = V_p V_x^{-1} = l_p l_x^{-1} = 7, \\ h_x = H_x l_p^{-1} = H_x (\lambda \cdot l_x)^{-1} = H_x S_y V_x^{-1} = 0,6 \end{cases} .$$

Используя оптимальные параметры в физико-математической модели ДМУМ(Т) были получены зависимости изменения во времени давления воздуха $p_i = p(t)$ в камерах рабочего и холостого ходов, которые представлены на рис. 2 осциллограммами моделирования рабочего процесса.

На рис. 3 представлены зависимости давления $p_i = p(t)$, температуры $\theta_i = \theta(t)$, а с х $G_i = G(t)$, е л ь н ы х теплоемкостей

$c_{pi}=c_p(t)$, $c_{vi}=c_v(t)$, а также показателя процесса $n_i=n(t)$ в камерах ДПУМ(Т) для камер рабочего и холостого ходов. Указанные зависимости совмещены с графиком пути движения ударника (зависимость $x=x(t)$) принципиальной схемой ДПУМ(Т) с отметками его характерных участков движения. Зависимость $x=x(t)$ является также взаимоконтролирующей для других параметров, изменяющихся во времени.

На рис. 4 представлены параметры температуры и удельной энтропии $(\theta-S)_i$ в камере холостого хода. Точка А соответствует моменту соударения инструмента с ударником (началу цикла холостой - рабочий ход);

На рис. 5 представлены параметры температуры и удельной энтропии $(\theta-S)_i$ в камере рабочего хода. Участок А - Б - 1 соответствует сжатию воздуха в камере рабочего хода с одновременным вытеснением его в атмосферу.

На рис 6 представлены параметры давления и объёма $(p - V)_i$ в камерах рабочего и холостого ходов. Точка А точка имеет тоже смысловое обозначение, что и на рис. 4,5.

Представленные осциллограммы соответствуют условиям: $p_0=0,6$ МПа; $\alpha=6$; $\lambda=7$.

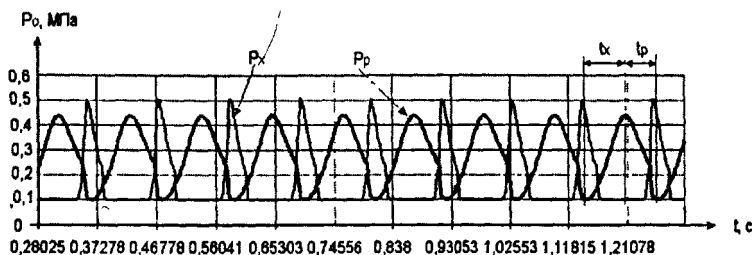


Рис. 2. Осциллограммы рабочих процессов в камерах рабочего и холостого ходов физико - математической модели ДПУМ(Т) (p_x , p_p - давление в камерах холостого и рабочего ходов)

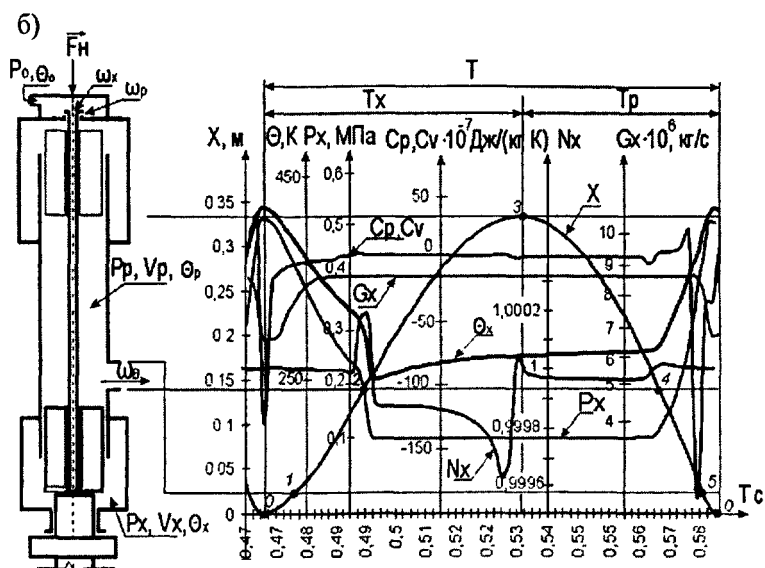
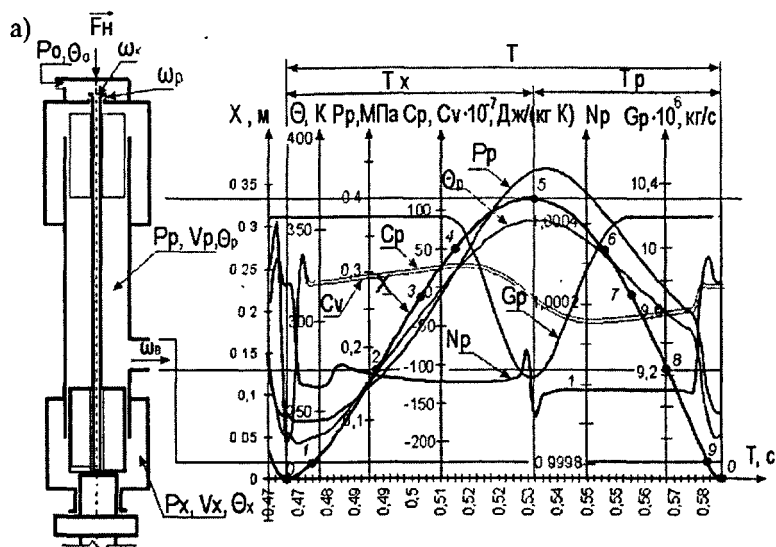


Рис. 3. Баро- и термодинамика рабочих процессов в ДПУМ(Т): а) камера холостого хода, б) камера рабочего хода.

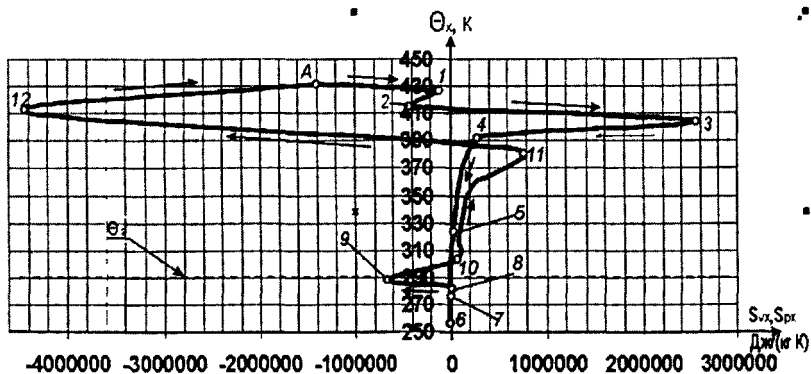


Рис. 4. Параметры температуры и удельной энтропии в камере холостого хода.

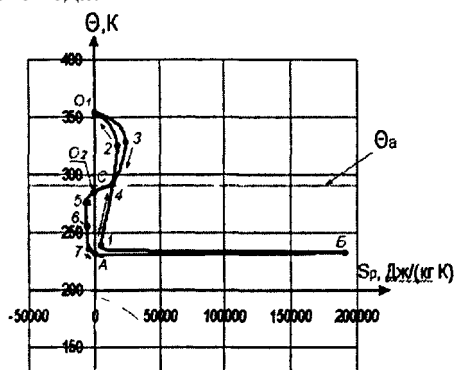


Рис. 5. Параметры температуры и удельной энтропии в камере рабочего хода.

Были определены параметры силового воздействия пневматического молота с ДПУМ(Т) в основном предельном режиме при наличии между корпусом и манипулятором амортизатора выполненного в виде пневмобаллонов. В результате проведенных расчетов получена оптимальная собственная частота колебаний $\omega_{opt} = 62,8$, которая обеспечивает минимум вибрации, при условии, что амплитуда колебания корпуса $S^{max} \leq 5 \cdot 10^{-3}$ м, при этом амплитуда силы, передаваемой на манипулятор в процессе работы пневмомолота, должна снизиться после введения подвески примерно до 3 раз.

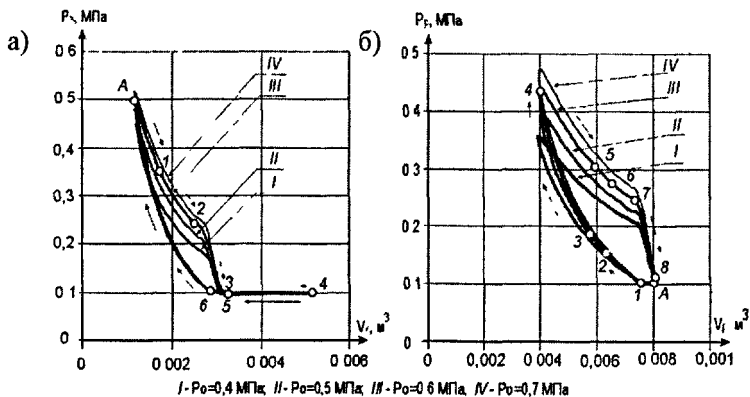


Рис. 6. Параметры давления и объёма в камерах: а)-холостого хода, б)-рабочего хода.

Четвертая глава содержит результаты экспериментальных исследований. По полученным данным численных исследований был изготовлен лабораторный образец навесного пневматического молота с ДПУМ(Т) рис. 7.

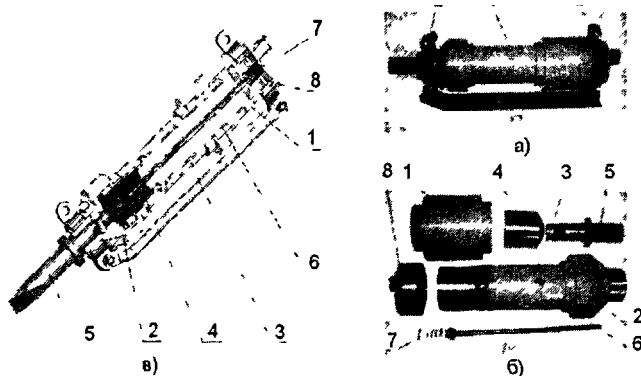


Рис 7. Навесной пневматический молот с ДПУМ(Т): а) общий вид: 1 - пневмомолот, 2 - узел крепления; б) и в) составные части и разрез пневмомолота: 1 - камера рабочего хода, 2 - камера холодного хода, 3 - корпус, 4 - ударник, 5 - инструмент, 6 - воздухоподводящая трубка, 7 - пружина, 8 - предкамера.

Экспериментальные исследования вибрационных и шумовых характеристик проводились комплектом аппаратуры Брюль и Кьер (Дания).

Сопоставление осциллограмм рабочего процесса показало хорошее качественное совпадение исследуемых процессов. Характер изменения давления воздуха в камерах пневматического молота с ДПУМ(Т), как показало изучение осциллограмм при $p_0 = 0,4, 0,5, 0,6$ и $0,7$ МПа, указывает на стабильность (устойчивость и надёжность) рабочих циклов. На рис. 8 представлены осциллограммы, полученные при $p_0=0,6$ МПа.

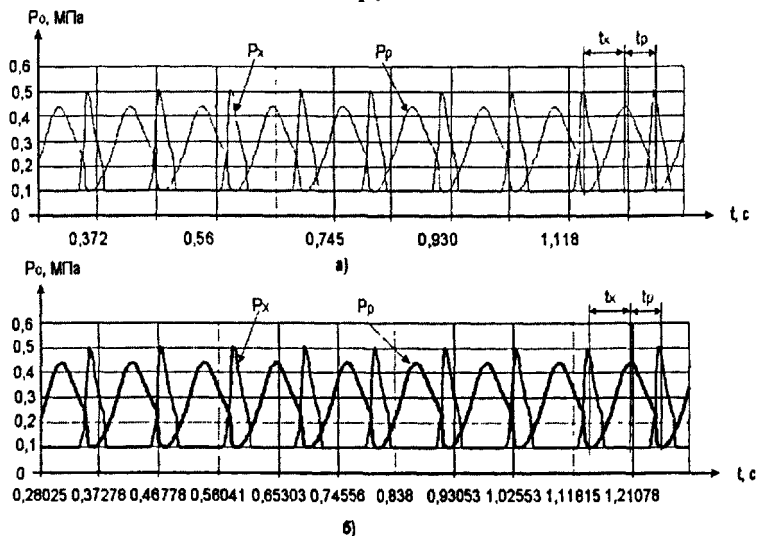


Рис. 8. Осциллограммы рабочих процессов в камерах рабочего и холостого ходов пневматического молота с ДПУМ(Т):

а) лабораторный образец; б) физико-математическая модель.

При расчетных размерах выпускных трактов обеспечивается практически полное опорожнение рабочих камер ДПУМ(Т). Максимальное расхождение абсолютных значений давления воздуха в характерных точках его изменений не превышает 2,5 % для камеры рабочего хода, 3 % - для камеры холостого хода. Анализ полученных сравнительных результатов по энергетическим характеристикам (рис. 9 и табл. 1) показывает их хорошее количественное соответствие. Так, расхождение в значениях по энергии удара не превышает 3 %, по частоте ударов 2,5 %, а по расходу воздуха 10 %, что находится в пределах возможной погрешности приборов и обработки результатов измерений.

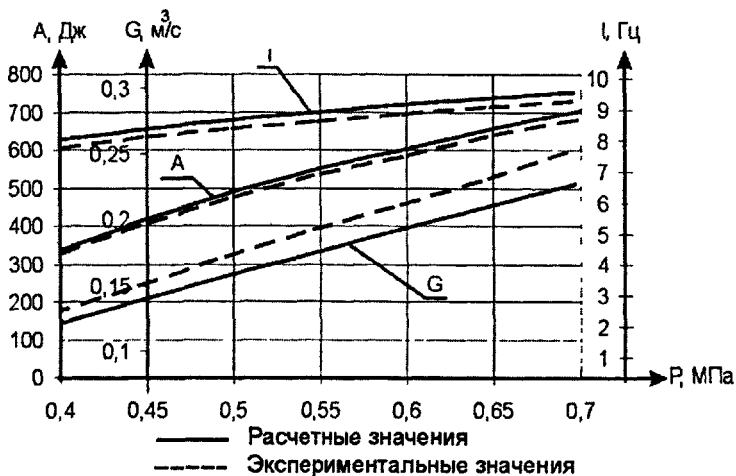


Рис. 9. Результаты сопоставления расчетных и экспериментальных параметров.

Таблица 1
Основные сравнительные характеристики физико-математической модели и пневмомолота с ДПУМ(Т)

Параметр	Объект исследований	Давление воздуха P_0 , МПа			
		0,4	0,5	0,6	0,7
Энергия удара A , Дж	модель	342	492	602	708
	пневмомолот	337	484	589	688
Частота ударов i , Гц	модель	7.98	8.53	8.97	9.33
	пневмомолот	7.8	8.3	8.7	9
Расход воздуха G , м ³ /с	модель	0.1207	0.159	0.1948	0.2293
	пневмомолот	0.13	0.173	0.214	0.254

По уровню вибрации и шуму изготовленный пневматический молот с ДПУМ(Т) не превышает значений существующих навесных машин. Отмечается тенденция снижения уровней звуковой мощности на частоте (500-1000 Гц), что обусловливается более низким давлением воздуха в камерах к началу выпуска, несмотря на повышенную частоту ударов (выпусков) в сравнении с аналогами, а на частоте более 4000 Гц имеет место превышение звуковой мощности (до 5 дБ), а затем ее снижение.

В пятой главе рассмотрены направления и перспективы дальнейших исследований. Энергетические параметры ПУМ, применительно к навесным пневматическим молотам для разработки мёрзлых грунтов, будут смещаться в сторону роста энергии единичного удара, чтобы иметь возможность разрабатывать несколько категорий мёрзлых грунтов, т. е. возникает необходимость разработки типоразмерного ряда. В части исполнений ПУМ, безусловно перспективным является использование дроссельной системы воздухораспределения. Для повышения экономичности навесных машин с ДПУМ целесообразным будет исследовать механизмы с перепуском, вытеснением, наддувом и форсажом. Необходимо уточнить значения показателя процесса для камер рабочего и холостого ходов, что позволит скорректировать физико-математическую модель процесса и её применение для инженерной методики расчета ДПУМ с другими элементами совершенствования, например по расходу воздуха. Также представляется перспективным, с теоретических и практических целей, применение подвижной центральной воздухоподводящей трубки позволяющей снизить массу молота и повысить технологичность его изготовления, сохранив при этом все положительные качества ДПУМ.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ.

- В результате выполненных исследований осуществлен подбор взаимно соответствующих структуры ударной мощности молота и типа его носителя с учетом условий эксплуатации в климатической зоне Сибири. Также выполнен выбор необходимых и достаточных признаков и уравнений ДПУМ(Т) с подвижной трубкой и предкамерой сетевого воздуха для оценки (в первую очередь - экономичности и мощности, во вторую - силовых, вибрационных и шумовых характеристик) механизма и установление рациональных соотношений его параметров, обеспечивающих при заданных ограничениях, минимальное значение удельного расхода сжатого воздуха и вывод максимальной мощности из рабочего объёма.

- Методика инженерного расчета ДПУМ(Т) с предкамерой сетевого воздуха и рекомендации позволяют рассчитать основ-

ные геометрические размеры механизма с любым сочетанием энергетических параметров, при заданном ограничении по расходу воздуха и усилию нажатия на корпус молота.

- Предложены зависимости, позволяющие уточнить основные геометрические размеры ДПУМ(Т) с предкамерой сетевого воздуха и дополнительными признаками пуска.

- Создан экспериментальный образец навесного пневматического молота с дроссельным воздухораспределением на энергию единичного удара 600 Дж. Молот не имеет аналогов в РФ и за рубежом. По металлоёмкости на единицу ударной мощности молот выгодно отличается от зарубежных аналогов и не уступает отечественным образцам.

- Лабораторные испытания молота с ДПУМ(Т) показали, что он обладает достаточной производительностью, надежным запуском и работой.

Основные положения диссертации представлены в следующих опубликованных работах:

1. **Смирных И.В.** Пневмоударные устройства с повторным использованием воздуха в рабочих камерах / Смирных И.В., Гаршин С.В., **Кутумов А.А.**, и др. // Труды НГАСУ. Т. 5, №6 (21) Новосибирск 2002. - С. 126-135.

2. **Кутумов А.А.** Аналитический обзор исследований разрушения мёрзлых грунтов ударной нагрузкой. / **Кутумов А.А.**, Абраменков Э.А., Коробков В.В. // Труды НГАСУ. Т. 5, №6 (21) Новосибирск. 2002. - С. 6-20.

3. **Гаршин С.В.** Предварительная оценка тенденций изменения энергетических параметров машин ударного действия / Гаршин С.В., Малышева Ю.Э., **Кутумов А.А.**, и др. // Труды НГАСУ. Т. 5, №6 (21) Новосибирск. 2002. -С 136-145.

4. **Кутумов А.А.**, Обоснование типа воздухораспределительного устройства пневмоударной машины для разрушения мёрзлых грунтов / **Кутумов А.А.**, Абраменков Д.Э., Абраменков Э.А. и др. //Труды НГАСУ. Т. 7, №1(28). Новосибирск 2004. - С 38-56.

5. **Кутумов А.А.** Предварительная оценка возможности размещения навесного оборудования на универсальном гусеничном шасси /**Кутумов А.А.**, Абраменков Э.А., Абраменков Д.Э., и др. // Труды НГАСУ. Т. 7, №3(30), Новосибирск 2004. - С. 40-48.

6. **Кутумов А.А.** Взаимное влияние геометрических и энергетических параметров навесного пневмомолота с дроссельным воздухораспределением. / **Кутумов А.А.**, Абраменков Д.Э., Шабанов Р.Ш., и др. // Труды НГАСУ. Т. 7, №2(29). Новосибирск 2004.-С. 130-142.

7. **Кутумов А.А.** Взаимозависимости вибрационных характеристик навесного пневмомолота / **Кутумов А.А.**, Гайслер Е.П., Абраменков Э.А., и др. // Труды НГАСУ. Т. 7, №1(28). Новосибирск 2004. - С. 46-55.

8. **Абраменков Д.Э.** Пневматический механизм ударного действия с продувкой и форсажем камеры рабочего хода / Абраменков Д.Э., Абраменков Э.А., **Кутумов А.А.**, и др. // Изв. вузов. Строительство. 2004, №9. - С. 74-82.

9. **Кутумов А.А.** Параметры пневматического механизма машины ударного действия для разработки мерзлых грунтов. **Кутумов А.А.**, Абраменков Э.А., Гаршин С.В. и др. // Труды НГАСУ. Т.7, № 2(29). Новосибирск 2004. - С.143-157.

10. Заявка №2003124266/03(025679) МПК 7E2C37/00 на патент РФ. Виброзащитное средство молота навесного // Д.Э. Абраменков, Э.А. Абраменков, А.А. **Кутумов** и др. Решение о выдаче и начале действия патента РФ 01.08. 2002г.

Новосибирский государственный архитектурно-
строительный университет (Сибстрин)
630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113
Отпечатано в мастерской оперативной полиграфии
НГАСУ (Сибстрин)
1,4 п.л. тираж 100 экз. Заказ 434

23449