

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА

На правах рукописи
Для служебного пользования

экз. № 00 147 *

Аспирант КОНДРАКОВ Игорь Михайлович

УДК 621.643.2: 624.13

**Разработка и создание мартенситного
привода машин для прохождения
скважин в массиве горных пород**

Специальность 05.05.06 — «Горные машины»
05.05.04 — «Дорожные и строительные машины»

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

г. Новосибирск — 1988 г.

Петровскому, Другу
и соратникам.

28.01.89г.

Работа выполнена в Институте горного дела СО АН СССР

- | | |
|-----------------------|---|
| НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ | - доктор технических наук,
ЧАЙКОВСКИЙ Эрнест Гиляриевич |
| ОФИЦИАЛЬНЫЕ ОППОНЕНТЫ | - доктор технических наук,
профессор, Лауреат
Государственной премии,
РЯШЕНЦЕВ Николай Павлович |
| | - кандидат технических наук,
доцент,
МОКИН Николай Васильевич |
| ВЕДУЩЕЕ ПРЕДПРИЯТИЕ | - Республиканский инженерно-
технический центр по восста-
новлению и упрочнению дета-
лей машин и механизмов
СО АН СССР |

Защита состоится "___" _____ 198__ г. в _____ часов
на заседании специализированного совета Д 003.17.01 Института
горного дела СО АН СССР /630091, г. Новосибирск-91, Красный
проспект, 54/.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института
горного дела СО АН СССР.

Ученый секретарь
специализированного совета, *Павлов*
д.т.н., профессор

А.Д. Костылев

Актуальность темы. Потребность в строительной и горной промышленности в прокладке протяженных подземных коммуникаций различного назначения при ежегодном приросте трубопроводов в СССР равном 55 км, ставит задачи дальнейшего развития бестраншейных способов проходки скважин грунта с различными физико-механическими свойствами. Для проходки скважин бестраншейными способами используются различные машины — пневмопробойники, устройства для раскатки, прокола и другие.

Необходимыми условиями высокопроизводительной и эффективной работы машин для проходки скважин являются обеспечение большой удельной мощности привода с целью создания требуемых прокалывающих усилий и надежных упорных устройств для восприятия реактивных сил стенками скважины.

Известные устройства, такие как пневмопробойники и устройства для раскатки, обладают рядом определенных достоинств и отвечают этим требованиям при проходке скважин в грунтах с определенными физико-механическими свойствами. Вместе с тем они не могут быть использованы при проходке скважин во влажных и неустойчивых грунтах, не обеспечивающих надежного сцепления устройства со стенками скважины. Для этих машин характерно наличие шума в процессе работы. С увеличением диаметра проходимой скважины и прочности грунта значительно возрастают и прокалывающие усилия, что приводит к необходимости увеличения времени и энергии на единицу выработки, повышая тем самым габариты и массу машин.

Известны силовые приспособления, устройства (пресс, домкрат и др.), в которых в качестве рабочего тела используют материалы, способные развивать высокие удельные мощности при фазовых превращениях мартенситного типа. Использование новых материалов, способных генерировать значительные усилия при малых размерах, позволит создавать качественно новые типы приводов. Машин с малогабаритными мощными приводами значительно расширит область их применения. Поэтому исследования, направленные на разработку и создание мощных, бесшумных малогабаритных приводов к разрабатываемому новому классу самоходных машин, базирующихся на новых физических принципах и использующих новые материалы, например, получаемые на основе открытия советских ученых в № 239, т.е. обладающих термомеханической памятью формы при фазовых превраще-

ниях мартенситного типа, являются актуальными.

Диссертационная работа выполнена в соответствии с планом НИР ИГД СО АН СССР и отвечает "Основным направлениям экономического и социального развития СССР на 1986-1990 гг. и на период до 2000 г.", где указано на необходимость использования при разработке новой техники возможности материалов с заранее заданными свойствами.

Цель работы. Разработка и создание принципиально нового типа привода (мартенситного) к машинам для проходки скважин в грунте.

Идея работы заключается в использовании материалов с термо-механической памятью формы для создания нового типа привода.

Задачи исследований:

- обоснование и разработка принципиальных и конструктивных схем мартенситного привода машин для проходки скважин в грунте;
- теоретическое и экспериментальное исследование рабочего процесса мартенситного привода;
- обоснование рациональных конструктивных и технических параметров и разработка методики инженерного расчета мартенситного привода;
- сравнительная оценка технических параметров мартенситного привода с ранее известными приводами;
- проверка работоспособности и эффективности привода в лабораторных условиях и при проколе скважин.

Методы исследований. Для решения поставленных задач использовались следующие методы научных исследований: аналитический обзор существующего опыта; выявление и анализ тенденций развития устройств для проходки скважин в грунте; аналитическое и экспериментальное исследования с целью определения диапазонов рациональных значений основных параметров; проверка работоспособности привода на стенде и при проколе скважин; научное обобщение и анализ экспериментальных данных. Экономичность и уровень совершенства привода оценивались по величине приведенного к.п.д. тепловой машины.

Научные положения, выносимые на защиту:

- новая принципиальная схема мартенситного привода с телескопическим расположением его секций и обеспечивающая синхронную работу полисистемы силовых элементов;
- функциональные зависимости деформационно-силовых характеристик мартенситного привода от его конструктивных параметров и режимов работы;

- области рациональных значений основных деформационно-силовых характеристик силовых элементов мартенситного привода, при которых обеспечивается его наибольшая работоспособность и стабильность параметров, и, которые находятся в пределах: величина деформации при "холостом" режиме работы - 4 ... 7%, соотношение величин хода привода при наличии усилия сопротивления и без него - 0,47 ... 0,82, величины - генерируемого рабочего реактивного напряжения - 200 ... 360 МПа и напряжения растяжения силовых элементов, необходимого для их взведения - 15 ... 25% от величины генерируемого напряжения;

- методика инженерного расчета основных конструктивных и технических параметров мартенситного привода исследованного типа.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций обеспечивается достаточным объемом статистических данных, аналитическими и экспериментальными исследованиями мартенситного привода и его компонентов в лабораторных и полевых условиях; использованием современной регистрирующей аппаратуры и удовлетворительной сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований; работоспособностью экспериментального образца. При изучении процессов с детерминированными параметрами расхождения между результатами теоретических исследований и экспериментов составляли не более 10%.

Научная новизна результатов исследования заключается в следующем:

- разработан принципиально новый мартенситный привод в виде полисистемы силовых элементов, образующих телескопически связанные друг с другом секции;
- установлена зависимость основных параметров привода от деформационно-силовых характеристик силовых элементов и определены диапазоны их рациональных значений; установлено влияние основных параметров на выходные показатели устройства;
- установлена взаимосвязь конструктивных и технических параметров привода с режимами работы;
- установлен диапазон рациональных значений соотношения величин хода привода при наличии и отсутствии усилия сопротивления;
- разработана методика инженерного расчета основных параметров мартенситного привода циклического действия;
- работоспособность мартенситного привода доказана стендовыми

ми и полевыми испытаниями.

Личный вклад автора состоит в разработке принципиальных и конструктивных схем мартенситного привода и выборе наиболее рациональной; теоретическом и экспериментальном исследовании динамики его рабочего процесса; получении зависимостей деформационно-силовых характеристик от его конструктивных параметров и режимов работы; разработке схем рационального нагрева силовых элементов; конструировании экспериментального образца мартенситного привода и экспериментальных стендов; разработке методики инженерного расчета мартенситного привода; проведении экспериментальных исследований, лабораторных и полевых испытаний; создании новых перспективных схем устройств с мартенситными приводами для проходки скважин в грунте.

Практическая ценность работы. Доказана возможность разработки малогабаритного мартенситного привода, развивающего значительные усилия при большой величине хода, и использования его для создания прокалывающих усилий в устройствах для проходки скважин способом прокола. По результатам исследования разработаны экспериментальный образец привода, исследовательские стенды и методики инженерного расчета.

Реализация результатов работы. Результаты исследований легли в основу разработки экспериментальной модели мартенситного привода для устройства с диаметром рабочего органа 130 мм.

Апробация работы. Материалы работы и отдельные ее фрагменты докладывались на лабораторных семинарах в лаборатории АГМ и совместном семинаре лабораторий АГМ и пневматических машин ИГД СО АН СССР, на научно-техническом совете в институте "Гидропроект" ВСО в г. Красноярске, на семинаре в Институте угля в г. Кемерово, а также на научно-техническом совете в Республиканском инженерно-техническом центре по восстановлению деталей машин и механизмов в г. Томске.

Публикация. По результатам исследования опубликовано 3 статьи, получено 18 авторских свидетельств и 8 положительных решений.

Объем работы. Диссертационная работа состоит из 5 глав, изложена на 145 страницах текста, содержит 18 таблиц, 87 рисунков, список литературных источников из 121 наименования на 11 страницах и приложения на 24 страницах.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе представлены анализ состояния современных способов и технических средств для образования скважин в грунте этими способами, их сравнение и критические оценки.

Вопросам проходки горизонтальных скважин в грунте различными способами посвящены работы Б.В. Суднишникова, А.Д. Костылева, К.К. Тупицына, К.С. Гуркова, В.В. Каменского, В.Д. Плавских, Н.П. Чепурнова, Х.Б. Ткача, Е.Н. Чередникова, В.К. Смирновского, А.С. Базетдинова, Н.В. Васильева, Н.Я. Кершенбаума, В.И. Миняева, Г.Н. Пестова, Г.Е. Лаврова, О.Я. Савинова, А.Я. Лускина и др.

Проведенный анализ показал, что известные устройства для проходки скважин такими способами, как пробивание и раскатка, являющиеся в настоящее время наиболее совершенными самоходными машинами, предназначены преимущественно для проходки скважин в грунтах I-3 категорий. Однако, при проходке слабоустойчивых грунтов требуются упорные приспособления, препятствующие срыву устройства со стенок скважины, а с увеличением диаметра, при проходке в грунтах средней плотности и плотных, кроме того, — значительная мощность приводов. Совмещение достоинств мощного малогабаритного привода с наличием упорных приспособлений в самоходных устройствах — один из путей создания устройства, обеспечивающих проходку скважин в грунтах с различными физико-механическими свойствами, а также лишенных ряда недостатков известных устройств.

В работе показано, что повышение удельной мощности устройства за счет увеличения удельной работоспособности его рабочего тела — энергоносителя путем его замены, представляет наиболее перспективным путем решения поставленных задач, так как позволяет привлечь для этой цели новые вещества и физические принципы, обеспечивающие создание мощных малогабаритных приводов. В свою очередь анализ тенденций развития устройств для проходки скважин в грунте позволил спрогнозировать дальнейшее развитие самоходных устройств для прокола скважин, а также найти конкретные пути и средства решения поставленной задачи. Одним из путей ее решения является использование материалов, обладающих термомеханической памятью формы — явления, которое было обнаружено в 1949 г. советскими учеными Г.В. Курдюмовым и Л.Г. Хандросом. Вопросам физической природы эффекта памяти формы, особенностям его проявления и практического использования посвящены работы многих исследователей: В.А. Лихачева, В.Н. Хачина, И.Н. Корнилова, О.К. Белоусова, С.Л. Кузьмина и др. Известны работы, в которых ставится вопрос и используются различ-

ные подходы к созданию инженерной механики материалов, обладающих эффектом памяти формы. Однако, вопросы связанные с разработкой, исследованиями и созданием методики инженерного расчета малогабаритных мартенситных приводов, работающих циклически длительное время и способных развивать одновременно значительные усилия и величины хода, а также с возможностью их применения для прокола скважины в грунте, остаются открытыми.

Отмеченные обстоятельства определили круг задач, решение которых необходимо для достижения поставленной цели.

Вторая глава посвящена выбору и обоснованию принципиальной схемы мартенситного привода устройства для проходки скважин в грунте. С этой целью проведена классификация устройств с мартенситным приводом по принципу работы и рассмотрены схемы основных функциональных элементов устройств – рабочего органа, мартенситного привода и упорных приспособлений.

В результате анализа двух разработанных групп устройств с мартенситным приводом, разделенных по принципу работы на циклические и работающие непрерывно, в качестве основы для дальнейшей разработки было выбрано устройство "шагающего" типа с мартенситным приводом циклического типа действия (а.с. по заявкам № 4159429/22-03 от 12.06.87 и 4269517/22-03 от 23.12.87). Оно состоит из рабочего органа, головного и хвостового упоров, мартенситного привода и секции блока управления и системы охлаждения.

Разработка мартенситного привода, сочетающего одновременно возможность развития больших усилий $P_{мп}^*$ и величин хода $\Delta L_{мп}$, является сложной задачей.

Из разработанных схем мартенситного привода выбрана и обоснована наиболее простая (рис. 1), позволяющая путем набора необходимого числа $N_{сз}$ силовых элементов в секции и количества N_c самих секций, а также способа их соединения друг с другом получать требуемые усилия прокола $P_c = P_{мп}^*$ и величины хода $\Delta L_{мп}$, которые могут быть заданы следующими уравнениями:

а) при последовательном соединении N_c секций (включающих $N_{сз}$ силовых элементов каждая)

$$\left. \begin{aligned} P_{мп}^* &= N_{сз}(P_{сз}^* - P_p) = N_{сз}F(\sigma^* - \sigma_p), \\ \Delta L_{мп} &= N_c \Delta L_c, \end{aligned} \right\} \quad (I)$$

где

$$P_{сз}^* = \sigma^* F = \sigma^* \frac{\pi d_0^2}{4};$$

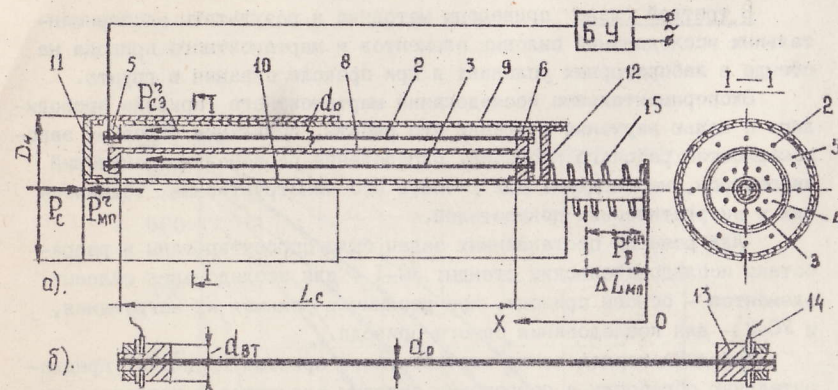


Рис. 1. а. Мартенситный привод. б. Силовой элемент.
1 – корпус; 2, 3 – силовые элементы; 4, 5, 6, 7 – опорные диски внутренней и наружной секций; 8 – корпус внутренней секции; 9 – корпус наружной секции; 10 – передающая штанга; 11, 12 – соединительные муфты; 13 – опорная втулка; 14 – клемма для подключения к источнику эл. тока; 15 – пружинный привод; БУ – блок управления.

б) при параллельном соединении N_c секций

$$\left. \begin{aligned} P_{мп}^* &= N_c N_{сз} (P_{сз}^* - P_p), \\ \Delta L_{мп} &= \Delta L_c. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Решение этих уравнений будет заключаться в определении диапазонов рациональных значений ΔL_c , σ^* , σ_p и других параметров, от которых они зависят.

Рабочий цикл мартенситного привода (рис. 1) включает следующие фазы: I – исходное состояние, пружинный привод не введен, силовые элементы растянуты; 2 – закрепление корпуса наружной секции 9, подача электроэнергии на силовые элементы 2 и 3, их нагрев и сокращение длины с выдвиганием вперед на величину хода $\Delta L_{мп}$ внутренней секции 8 со сжатием пружины 15 и созданием прокалывающего усилия; 3 – закрепление головной части 11, освобождение корпуса наружной секции 9 и выключение питания. В процессе охлаждения силовые элементы 2, 3 "вспоминая" "холодную" форму, вытягиваются под действием пружинного привода 15, а наружная секция 9 при этом подтягивается головной частью 11. Далее цикл повторяется. Включение и отключение питания, регулирование температурного режима осу-

ществляется блоком управления.

В третьей главе приведены методика и результаты экспериментальных исследований силовых элементов и мартенситного привода на стенде в лабораторных условиях и при проколе сважин в грунте.

Экспериментальные исследования мартенситного привода проводились с целью изучения и оценки его работы, выявления основных закономерностей рабочего процесса, определения рациональных значений параметров, необходимых для расчета его конструктивных, технических и энергетических показателей.

Для решения поставленных задач были спроектированы и разработаны исследовательские стенды: УС-1 – для исследования силовых элементов – основы привода, при различных режимах их нагружения, и УС-2 – для исследования самого привода.

Методика исследования мартенситного привода включала: предварительную обработку и подготовку силовых элементов к исследованию, разработку методики силового термоциклирования силовых элементов и мартенситного привода; определение деформационно-силовых характеристик силовых элементов и условий их стабилизации при различных режимах силового термоциклирования; исследование термоциклов силового элемента и мартенситного привода; проверку работоспособности привода в лабораторных и полевых условиях.

Для регистрации исследуемых параметров использована современная регистрирующая аппаратура и специально изготовленные приспособления. Результаты экспериментов обрабатывались статистическими методами, представлялись в виде таблиц, графиков и расчетов.

В качестве материалов силовых элементов был выбран сплав – никелид титана (ТН-1).

В связи с тем, что аналитическое исследование динамики рабочего процесса силового элемента из материала, обладающего термомеханической памятью формы, является сложной математической задачей, в работе был принят аналитико-экспериментальный метод исследования.

Влияние величин усилий растяжения и сопротивления на стабилизацию величины деформации $\epsilon_{пф}$ устанавливалось с помощью циклограмм "холостого" (без нагрузки) и силового термоциклирования. При этом зависимость между величинами генерируемого реактивного напряжения σ^2 и деформации $\epsilon_{пф}$, при наличии усилия сопротивления P_c задаваемого в различных режимах, устанавливалась экспериментально (рис. 2). А затем в результате анализа экспериментальных данных получено следующее соотношение

$$\sigma^2 = \sigma_{\max}^2 + \epsilon(B - \epsilon A), \quad (3)$$

10

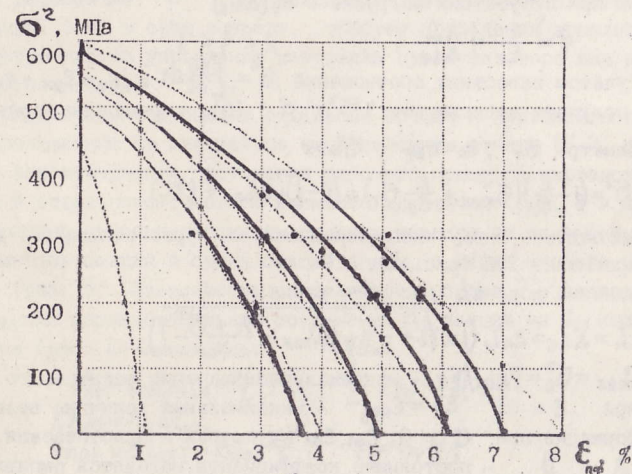


Рис. 2. Зависимость σ^2 от $\epsilon_{пф}$ при $\epsilon_0 = 3,73; 5; 6,11; 7\%$. — экспериментальные кривые, — теоретические кривые.

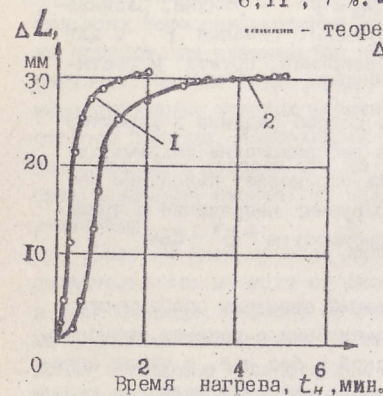


Рис. 3. Зависимость ΔL от t_n силового элемента при t_n : I – 2 мин.; II – 5 мин.

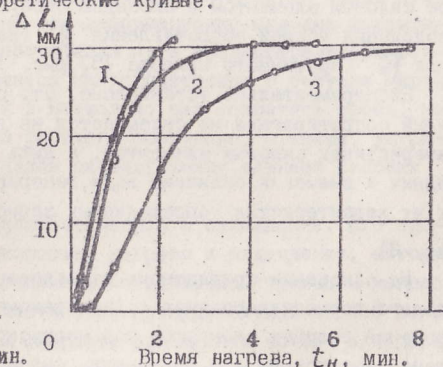


Рис. 4. Зависимость ΔL от t_n секции мартенситного привода при t_n : I – 2,2 мин.; II – 5,5 мин.; III – 7,5 мин.

II

где

$$\sigma_{\max}^* = \epsilon_0(\epsilon_0 A - B). \quad (4)$$

Для определения степени возврата деформации при наличии усилия сопротивления P_c введен безразмерный параметр ξ , отражающий отношение текущего значения деформации $\epsilon(\Delta L)$ к ее максимальному значению при отсутствии нагрузки - $\epsilon_0(\Delta L_0)$

$$\xi = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} = \frac{\Delta L}{\Delta L_0}; \quad 0 \leq \xi \leq 1. \quad (5)$$

С учетом известных соотношений $\sigma^* = \int_0^{\epsilon} \frac{\partial \sigma}{\partial \epsilon} d\epsilon$ и $\epsilon_0 = \epsilon_{уп} + \epsilon_{пл}$ из (3) получена зависимость " $\sigma^* - \epsilon$ " (6), выраженная через исходные параметры σ_T , $\epsilon_0 = \epsilon_{уп}$, $\sigma_{\max}^*$.

$$\sigma^* = (1 - \xi)(\sigma_{\max}^* + \frac{\epsilon_0}{\epsilon_0} \sigma_T) = (1 - \xi)(\sigma_{\max}^* + \xi \sigma_T). \quad (6)$$

Расхождение между экспериментальными и расчетными (6) данными не превышает 10% (рис. 2).

Величина хода ΔL при этом равна:

$$\Delta L = \Delta L_c = \epsilon_k L \left(1 \pm \sqrt{1 + \frac{2}{\epsilon_k B F} (P_{\max}^* - \frac{P_c + P_r^{mn}}{N_{c3}})} \right), \quad (7)$$

где $\sigma_{\max}^* = \sigma_0^* = P_{\max}^*/F$ - максимальное значение реактивного напряжения при $\epsilon = 0$; $\epsilon_0 = \epsilon_{уп0}$ - максимальная величина возвращаемой деформации при $\sigma^* = 0$; $\epsilon_{уп}$, $\epsilon_{пл}$ - упругая и пластическая деформации; A и B - постоянные коэффициенты, находятся эмпирически путем замеров σ^* и ϵ или аналитически (см. табл. I, гл. 4); σ_T - предел текучести; $\epsilon_k = \frac{B}{2A}$; $(P_c + P_r^{mn})/N_{c3} = P^*$ - усилие, развиваемое силовым элементом с площадью поперечного сечения F , для преодоления усилий сопротивления P_c (например, грунта) и растяжения P_r^{mn} (пружинного привода I5, рис. I).

Экспериментально установлено, что способ задания и характер усилий сопротивления не сказывается на деформационно-силовых характеристиках силовых элементов, а лишь определяет поведение последних и значения величины хода, генерируемых напряжений в пределах их характеристик определяемых зависимостью " $\sigma^* - \epsilon_{уп}$ " (рис. 2).

На основании проведенных исследований отмечены особенности силового термоциклирования и даны рекомендации о режимах термоциклирования силовых элементов под нагрузкой и без нее, а также определена достаточная для введения силового элемента величина напряжения растяжения σ_r , находящаяся в пределах (0,15 ... 0,25) σ^* .

Дальнейший рост напряжения растяжения - от предела текучести в мартенситном состоянии вплоть до предела текучести в исходном состоянии, т.е. от σ_T^m до σ_T , особенно после придания силовым элементам в "холостом" режиме термоциклирования стабильной величины деформации $\epsilon_0(\Delta L)$, не приводит к значительному росту величины текущей деформации ϵ без накопления необратимой пластической деформации. Это, в свою очередь, требует проведения дополнительных мероприятий по упрочнению материала путем фазового или деформационного наклепа.

Исследование термоцикла отдельной секции и мартенситного привода, проведенные на специально изготовленном стенде УС-2, показало, что закономерности протекания рабочего процесса мартенситного привода и отдельного силового элемента идентичны (рис. 3 и 4), а деформационно-силовые параметры привода зависят от количества силовых элементов секции и самих секций в нем, а также способа их соединения (рис. 5). Зависимость создаваемого усилия $P_{мп}$ от величины хода $\Delta L_{мп}$ при последовательном соединении N_c секций из N_{c3} силовых элементов (рис. 5) имеет вид:

$$P_{мп}^* = N_{c3} \left[P_{\max}^* + \frac{\Delta L_c}{L} F (B - \frac{\Delta L_c}{L} F A) - P_r \right], \quad (8)$$

где

$$\Delta L_{мп} = N_c \Delta L_c, \quad P_{\max}^* = \sigma_{\max}^* F = \sigma_{\max}^* \frac{\pi d^2}{4}; \quad P_r = \sigma_r F;$$

P_r - усилие растяжения силовых элементов.

Отклонение длины силовых элементов, подвергнутых предварительному термоциклированию от среднего значения до 1% после сборки привода, не сказывается на его деформационно-силовых характеристиках. Однако более предпочтителен путь предварительного термоциклирования силовых элементов непосредственно в составе мартенситного привода, позволяющий в несколько раз сократить время, необходимое для доводки его до рабочего состояния, а также, устранить в течение нескольких циклов разницу между длинами силовых элементов.

Рабочий цикл привода включает нагрев и охлаждение. Его продолжительность зависит от скоростей нагрева и охлаждения, которые, в свою очередь, зависят от величины потребляемой приводом мощности и способа охлаждения. В частности, принудительный способ охлаждения с помощью жидкости при скорости охлаждения 40-80 °C/с позволяет довести время охлаждения до времени нагрева (что является предпочтительным режимом работы), т.е. до 2-4 с и, следовательно, до получения расчетных величин скоростей проходки - 30-60 м/ч.

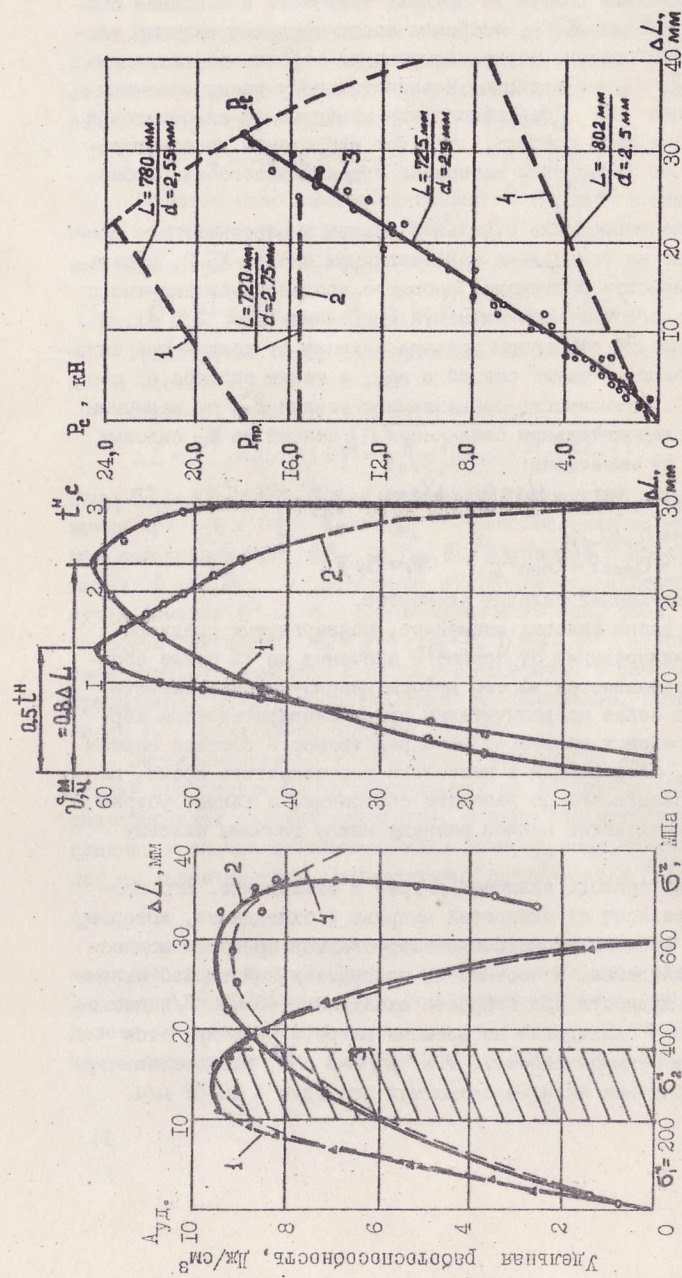


Рис. 7. Зависимость μ от $\sigma^2(1)$ и $\Delta L(2)$, при $\sigma_0 = 6.11\%$; 1 - эксперимент, 2, 4 - расчет.

Рис. 6. Зависимость μ от $\Delta L(1)$ и $\mu(2)$ при $L = 2.6$ с.

Рис. 5. Зависимость P от ΔL : 1 - при $L_1 = 173$ мм; 2, 3 - при $P = 1660$ кН; 4 - при $L_2 = 0.559$ мм, $N_s = 12$.

Испытания мартенситного привода при проколе скважин диаметрами 86 мм и 130 мм в грунте осуществлялись с использованием исследовательского стенда УС-2. Они подтвердили ранее полученные при стендовых испытаниях зависимости и показали хорошее качественное и количественное соответствие экспериментальных данных расчетным, что отражено в акте полевых испытаний. Они также показали, что изменение в течение единичного рабочего цикла усилия сопротивления P_c грунта внедрению в него рабочего органа ведет к адекватному изменению генерируемого мартенситным приводом реактивного усилия $P_{мп} = P_c$ и соответствующему изменению величины $\Delta L_{мп}$.

В результате проведенных испытаний мартенситного привода на стенде и при проколе скважин в грунте была подтверждена работоспособность и возможность его использования для создания прокалывающего усилия в устройствах для проходки скважин.

В четвертой главе приведены анализ результатов экспериментальных исследований и определение диапазонов рациональных значений основных параметров мартенситного привода.

Исследование зависимости величины хода мартенситного привода $\Delta L_{мп}$ от генерируемого напряжения σ^2 (6) показало, что рациональные значения деформации ϵ при $\epsilon_0 = 6.11\%$ находятся в пределах 3 ... 5%, обеспечивая его стабильную работу.

Анализ зависимости $\Delta L = f(P^2)$ (7) показал, что для увеличения суммарного усилия $P_{мп}$ (8), при условии получения значительной величины хода, наиболее рационален путь увеличения числа силовых элементов с одновременным увеличением их деформации ϵ_0 (в пределах диапазона рациональных значений 4 ... 7%), а также количества секций P_c привода. Это связано с тем, что с уменьшением величины усилия сопротивления, приходящегося на один силовой элемент, растет ΔL и снижается потребляемая мощность.

По циклограммам изменения величины хода в течение времени нагрева установлено, что средняя скорость возврата (перемещения привода) накопленной силовыми элементами деформации в течение первой половины времени нагрева растет до своего максимального значения, возвращая около 80% этой деформации ΔL , и падает до 0, возвращая оставшуюся часть (рис. 6). На основании этих данных разработано несколько схем нагрева силовых элементов привода, позволяющих повысить эффективность проходки за счет более рационального использования времени рабочего цикла, например, путем раннего включения в него упорных приспособлений устройства для проходки скважин. Выбор рациональной схемы зависит от конкретных требований, предъявляе-

ных к мартенситному приводу по потребляемой мощности и скорости проходки.

Исследование экспериментальных, а затем найденных аналитических зависимостей удельной работоспособности $A_{уд}$ материала силовых элементов от величин генерируемого напряжения σ^* и хода ΔL (деформации ϵ) (рис. 7) позволило из условий

$$\frac{dA_{уд}}{d\Delta L} = 0; \quad (9) \quad \frac{dA_{уд}}{d\sigma^*} = 0; \quad (10)$$

путем минимизации удельной работоспособности определить диапазоны рациональных значений $\Delta L(\epsilon)$ и σ^* .

$$A_{уд} = \sigma_{max}^* \frac{\Delta L}{L} + \frac{\Delta L^2}{L^2} (B - \frac{\Delta L}{L} A) - \sigma_r \frac{\Delta L}{L}, \quad (11)$$

$$A_{уд} = 2\epsilon_c \sigma^* (1 - \frac{\sigma^*}{\sigma_{max}^*}) - \sigma_r \epsilon, \quad (12)$$

где $\epsilon_c = A_{уд}^{max} / \sigma_c^*$ — значение ϵ_c , при котором $A_{уд}$ достигает максимума, при этом $\sigma_c^* = \sigma_c = \frac{1}{2} \sigma_{max}^*$; $\sigma^* \gg \sigma_r$.

Из полученных зависимостей (11) и (12) с учетом (9), (10) и при допущении, что величина упругой деформации $\epsilon_{уп}$ силового элемента значительно меньше $\epsilon - \epsilon \gg \epsilon_{уп}$, определены коэффициенты A , B и ξ , выраженные через ϵ_0 , σ_{max}^* , $A_{уд}^{max}$ и предел текучести материала σ_T (см. табл. I).

$$B = - \frac{\sigma_{max}^* - \sigma_T}{\epsilon_0} = - 2 \frac{A_{уд}^{max}}{\epsilon_0} = - 2 \frac{\sigma_T}{\epsilon_0} \epsilon_k, \quad (13)$$

$$A = \frac{\sigma_T (\sigma_{max}^* - \sigma_T)}{2 \epsilon_0 A_{уд}^{max}} = \frac{\sigma_T}{\epsilon_0}, \quad (14)$$

$$A_{уд}^{max} = \frac{\epsilon_0 \sigma_{max}^*}{2} (1 - \frac{\sigma_T}{\sigma_{max}^*}) = - \sigma_T \epsilon_k, \quad (15)$$

$$\sigma_{max}^* = \sigma_T (1 - 2 \frac{\epsilon_k}{\epsilon_0}) = \sigma_T / (1 - \frac{\epsilon_k}{\epsilon_0}). \quad (16)$$

Как следует из анализа зависимости (12) — $A_{уд}$ от σ^* (рис. 7) и экспериментальных данных, наибольшую величину $A_{уд}$ и стабильные деформационно-силовые характеристики материал силовых элементов имеет при $\sigma_1^* = 200 \text{ МПа} \leq \sigma^* \leq \sigma_2^* = 360 \text{ МПа}$ (где $\sigma_2^* = 0,9 \cdot \sigma_T$) и при значении безразмерного параметра $\xi - 0,47 \leq \xi \leq 0,82$ (табл. I), что находится в хорошем качественном и количественном соответствии — расхождение расчетных данных с экспериментальными не превышает 2-6%. Для повышения $A_{уд}$ материала необходимо стремиться к увеличению ϵ (в пределах указанных значений ξ) за счет повы-

шения значения ϵ_0 и прочностных характеристик.

Таблица I

Параметры	Численное значение параметра			
$\epsilon_0 = \epsilon_{эф.}, \%$	3,75	5,0	6,11	7,0
$\sigma_{max}^*, \text{ МПа}$	510	560	580	600
$A, \text{ МПа}$	144000	126000	76000	69000
$B, \text{ МПа}$	-7037	-4866	-5000	-2904
$\xi = \epsilon_{отт}/\epsilon_0$	0,47...0,79	0,48...0,77	0,47...0,82	0,60...0,82

В пятой главе приведена методика инженерного расчета основных конструктивных и технических параметров мартенситного привода, разработанная на основании результатов выполненного комплекса аналитических и экспериментальных исследований.

Исходными данными для расчета являются: максимальные величины потребляемой мощности W_{max} и скорости проходки $v_{мс}$, диаметр проходимой скважины D_c и характеристики грунта (удельное сопротивление грунта $\sigma_{упл.}$, его пористость Π_0). Затем дополнительно определяются диаметр d_0 , длина силовых элементов L и характеристики материала с термомеханической памятью формы (предел текучести σ_T , температуры мартенситных переходов, ϵ_0 , величина ξ).

На первом этапе расчета на основе исходных данных D_c , $\sigma_{упл.}$, Π_0 , d_0 , σ_T , L и ξ определяются требуемые усилия прокола, количество силовых элементов в секции, их основные параметры и конструктивные размеры секций мартенситного привода. Затем, исходя из заданного соотношения продолжительности нагрева и охлаждения и времени рабочего цикла определяются скорость проходки, потребляемая мощность, к.п.д. привода и передачи электроэнергии.

Для ускорения расчета основных параметров и выходных показателей мартенситного привода исследованного типа разработана номограмма (рис. 8), составленная из экспериментально и аналитически полученных зависимостей.

Расчетные параметры мартенситных приводов к устройствам для проходки скважин диаметрами от 130 до 600 мм в различных грунтах приведены в табл. 2. При этом для диаметра 600 мм в секциях мартенситного привода применена более плотная компоновка силовых элементов, позволяющая увеличить количество секций в приводе и, следовательно, величину его хода. А для увеличения генерируемого усилия (без увеличения количества силовых элементов) следует исполь-

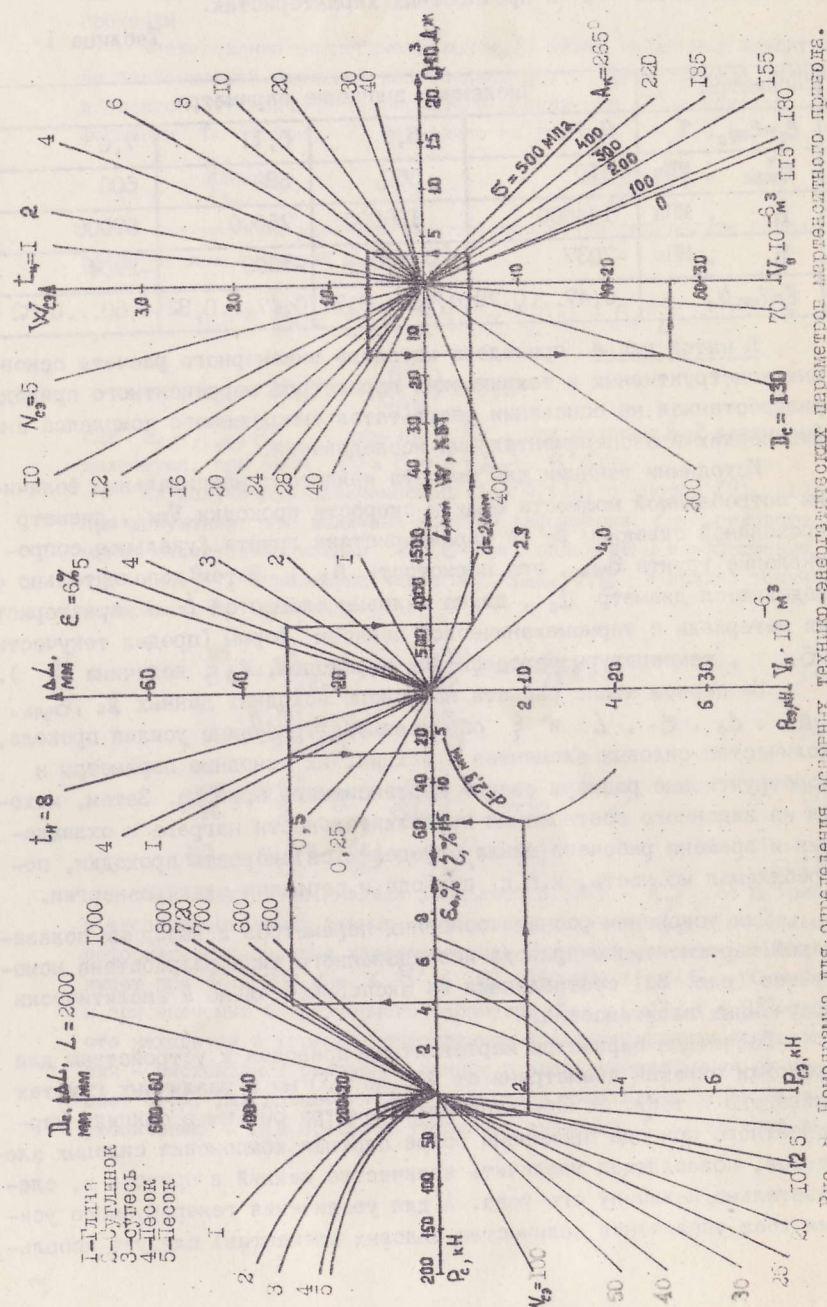


Рис. 8. Помогательная диаграмма для определения основных технико-энергетических параметров мартенситного привода.

зовать материал с более высоким пределом текучести σ_T и σ_{cr} , порядка 600-800 МПа.

В работе также рассмотрены области возможного применения мартенситного привода и дана сравнительная оценка его основных параметров с ранее известными приводами устройств для проходки скважин в грунте. Она показала, что разработанный мартенситный привод обладает определенными достоинствами и некоторыми преимуществами перед известными: возможностью создания при проходке скважин больших удельных усилий (приходящихся на площадь поперечного сечения скважины) - от 2 до 20 МПа (при силовых элементах с диаметрами 4-8 мм); возможностью управления параметрами привода на любой стадии рабочего процесса (усилием, величиной хода, скоростью проходки и реверсом); применением тепловой энергии в любом виде и достаточной для совершения полезной работы; бесшумностью в работе; возможностью создания устройств с автономным питанием; возможностью его применения в устройствах для проходки скважин в грунтах с различными физико-механическими свойствами и др.

Таблица 2

№	Диаметр проходимой скважины, D_c мм	Усилие прокола P_c кН	Параметры				Характеристики грунта		
			Силовых элементов		Мартенситн. привода		Удельное сопротивление $\sigma_{уд}$ МПа	Число ударов ударника ДорНИИ	Грунт
			диаметр мм	генерируемое напряжение МПа	к-во силовых элементов $N_{эл}$ шт.	величина хода ΔL мм			
1. 130	24,2	2,9	300	12	60	1,40	3,5	Супесь	
	26,4	4,0	300	7	60	1,43	6,5	Суглинок	
	44,2	6,0	300	5	60	2,00		Глина	
2. 200	57,5	2,9	300	28	143	1,40	3,5	Супесь	
	62,4	4,0	300	17	143	1,43	6,5	Суглинок	
	104,7	6,0	300	12	143	2,00		Глина	
3. 400	230,2	2,9	300	116	590	1,40	3,5	Супесь	
	249,5	4,0	300	66	590	1,43	6,5	Суглинок	
	418,7	6,0	300	49	590	2,00		Глина	
4. 600	517,9	2,9	300	262	974	1,40	3,5	Супесь	
	561,3	4,0	300	148	1113	1,43	6,5	Суглинок	
	942,0	6,0	300	111	1531	2,00		Глина	

Основные перспективные направления дальнейших исследований связаны с совершенствованием мартенситного привода по увеличению хода, с созданием эффективной системы охлаждения и устройства с непрерывным принципом проходки скважин и их внедрением в производство.

Заключение и общие выводы

В диссертационной работе дано решение актуальной научно-технической задачи создания экспериментального образца мартенситного привода с телескопическим расположением его секций.

Основные научные и практические результаты заключаются в следующем.

1. Разработана принципиально новая схема мартенситного привода в виде полисистемы силовых элементов, образующих телескопически связанные друг с другом секции.

2. Получена экспериментально и подтверждена аналитически зависимость генерируемого напряжения от деформации силового элемента при наличии усилия сопротивления. Установлено, что определяющее влияние на основные конструктивные и технические параметры привода оказывают следующие показатели, рациональные значения которых находятся в пределах: величина деформации при отсутствии усилия сопротивления 4 ... 7%; величины – генерируемого рабочего реактивного напряжения – 200 ... 360 МПа и напряжения растяжения силовых элементов, необходимого для их взведения – 15 ... 25% от величины генерируемого напряжения.

3. Установлено, что рациональные значения отношения величины хода при наличии усилия сопротивления к величине хода без него находятся в пределах – 0,47 ... 0,82.

4. Исследованиями рабочего цикла привода установлено, что около 80% величины хода возвращается в течении первой половины времени нагрева силовых элементов. Это позволит в перспективе использовать образовавшиеся резервы времени для сокращения продолжительности рабочего цикла за счет раннего включения в работу упорных приспособлений устройства для проходки скважин.

5. Разработана инженерная методика и номограмма для расчета основных конструктивных и технических параметров привода.

6. Мартенситный привод исследованного типа в сравнении с известными обладает следующими достоинствами и преимуществами: позволяет создавать большие усилия, бесшумен в работе, управляем на любой стадии рабочего процесса и может быть выполнен для рабо-

ты в автономном режиме.

7. На основе выполненных исследований создана экспериментальная модель привода с телескопическим расположением его секций, обеспечивающая синхронную работу полисистемы силовых элементов.

Принципиальная работоспособность привода подтверждена лабораторными и полевыми испытаниями путем прокола скважин в грунте.

Основными перспективными направлениями исследований можно считать совершенствование мартенситного привода по увеличению хода, создание эффективной системы охлаждения и устройства с непрерывным принципом проходки скважин и их внедрение в производство.

Основные положения диссертации опубликованы в

следующих работах:

1. Динамизация технических систем. – В сб.: "Методология и методы технического творчества". Тезисы докл. научно-практ. конф. (июнь-июль 1984 г.). Новосибирск. СО АН СССР. 1984., с. 70-72.

2. Функциональный анализ процессов синтеза и развития технических систем. – В сб.: "Функционально-стоимостный анализ в повышении эффективности производства". Тез. докл. симпози. (сентябрь 1985 г., Рига). ч. II., М., 1985, с. 134-138. (соавтор Саламатов Ю.П.).

3. Тенденция и перспектива развития устройств для проходки скважин методом прокола. – В сб.: "Автоматизация горных машин". Сб. научн. тр. Новосибирск. 1988 г., с. 59-65. (Соавтор Чайковский Э.Г.).

4. А.с. 1217021 (СССР). Устройство для проходки скважин в грунте "СКАЛЫТ". Не публикуется. (Соавтор Саламатов Ю.П.).

5. А.с. 1234532 (СССР). Устройство для образования скважин в грунте. – Оpubл. в Б.И., 1986, № 20. (Соавторы Саламатов Ю.П., Чайковский Э.Г., Саломатов В.П.).

6. А.с. 1236796 (СССР). Способ взведения сваи-оболочки. Не публикуется. (Соавтор Саламатов Ю.П.).

7. А.с. 1240836 (СССР). Устройство для образования скважин в грунте. Оpubл. в Б.И. 1986, № 24. (Соавторы Саламатов Ю.П., Чайковский Э.Г., Саломатов В.П.).

8. А.с. 1297530 (СССР). Устройство для проодки скважин в грунте. Не публикуется. (Соавторы Саламатов Ю.П., Чайковский Э.Г., Саломатов В.П.).

9. А.с. 1314745 (СССР). Устройство для образования скважин в грунте. Не публикуется. (Соавторы Иванов Г.И., Волосняный В.И., Саламатов Ю.П., Саломатов В.П.).

10. А.с. 1318651 (СССР). Упорный узел устройства для образования скважин в грунте. Не публикуется. (Соавторы Саламатов Ю.П., Саломатов В.П., Чайковский Э.Г.).

11. А.с. 1324359 (СССР). Устройство для проходки скважин в грунте. Не публикуется. (Соавторы Саломатов В.П., Потылицин М.Ю., Саламатов Ю.П.).

12. А.с. 224597 (СССР). Не публикуется. (Соавторы Саламатов Ю.П., Царегородцев М.Е., Саломатов В.П.).

13. А.с. 252416 (СССР). Не публикуется. (Соавторы Саломатов В.П., Царегородцев М.Е., Саламатов Ю.П.).

14. А.с. 1332954 (СССР). Мартенситный привод. Не публикуется. (Соавторы Лихачев В.А., Мозгунов В.Ф., Потылицин М.Ю., Саламатов В.П., Саламатов Ю.П.).

15. А.с. 1333769 (СССР). Устройство ударного действия. Оpubл. в Б.И., 1987, № 32 (Соавторы Чайковский Э.Г., Саламатов Ю.П., Саламатов В.П.).

16. А.с. 1340260 (СССР). Устройство для проходки скважин в грунте. Не публикуется. (Соавторы Саламатов Ю.П., Саломатов В.П., Иванов Г.И., Волосяный В.И.).

17. А.с. 261892 (СССР). Не публикуется. (Соавторы Саломатов В.П., Саламатов Ю.П., Царегородцев М.Е.).

18. А.с. 1376646 (СССР). Устройство для образования скважин в грунте. Не публикуется. (Соавторы Саламатов Ю.П., Афанасьев В.Е.).

19. А.с. 1371068 (СССР). Упорное устройство. Не публикуется. (Соавторы Саламатов Ю.П., Афанасьев В.Е., Чайковский Э.Г.).

20. А.с. 1369412 (СССР). Тепловой двигатель. Не публикуется. (Соавтор Кондраков К.М.).

21. А.с. 1400171 (СССР). Устройство для образования скважин в грунте. Не публикуется. (Соавторы Иванов Г.И., Волосяный В.И., Саламатов Ю.П., Лихачев В.А., Мозгунов В.Ф.).

22. 3-ка № 4159672/22-03, решение о выдаче а.с. от 27.05.87г. Устройство для образования скважин в грунте. (Соавторы Саломатов В.П., Хачин В.Н., Саламатов Ю.П., Чайковский Э.Г.).

23. 3-ка № 4159429/22-03, решение о выдаче а.с. от 12.06.87г. Устройство для проходки скважин в грунте. (Соавторы Михайлусев А.В., Попович С.Н., Хачин В.Н.).

24. А.с. 1420125 (СССР). Оpubл. в Б.И. № 32, 1988 г. Стенд для испытания и исследования устройств с силовым мартенситным приводом для проходки скважин в грунте. (Соавторы Афанасьев В.Е., Саламатов Ю.П., Чайковский Э.Г.).

25. 3-ка № 4245079/22-03, решение о выдаче а.с. от 26.11.87г. Устройство для проходки скважин в грунте. (Соавторы Афанасьев В.Е., Чайковский Э.Г., Хачин В.Н.).

26. 3-ка № 4269517/22-03, решение о выдаче а.с. от 28.12.87г. Устройство для проходки скважин в грунте. (Соавторы Саломатов В.П., Хачин В.Н., Саламатов Ю.П., Чайковский Э.Г.).

27. 3-ка № 4299693/23-03, решение о выдаче а.с. от 25.05.88г. Устройство для образования скважин. (Соавторы Попович С.Н., Чайковский Э.Г., Хачин В.Н.).

28. 3-ка № 4300449/23-03, решение о выдаче а.с. от 05.09.88г. Упорный модуль. (Соавторы Афанасьев В.Е., Чайковский Э.Г., Хачин В.Н.).

29. 3-ка № 4327216/23-03, решение о выдаче а.с. от 03.09.88г. Упорный модуль МПР-Р. (Соавторы Афанасьев В.Е., Чайковский Э.Г., Хачин В.Н.).