

И. Е. Иоанов¹✉

Преимущества использования пневмомолотов в технологии строительства горнодобывающих предприятий на Арктической территории Российской Федерации

¹Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, г. Новосибирск, Российская Федерация,
e-mail: ioanow@yandex.ru

Аннотация. В статье проведен анализ применения машин по погружению стержневых элементов в мерзлый грунт. Выделены преимущества использования пневмомолотов перед дизель-молотами и вибропогружателями. Сформулированы задачи по устранению недостатков пневмоударных машин с помощью проведения исследовательской работы, что позволит разработать высокоэффективную технику для строительства горнодобывающих предприятий в Арктике.

Ключевые слова: пневмомолот, труба, Арктика, строительство, сжатый воздух, дизель-молот, вибропогружатель

I. E. Ioanov¹✉

The advantages of using pneumatic hammers in mining construction technology in the Arctic region of the Russian Federation

¹Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia,
e-mail: ioanow@yandex.ru

Abstract. This paper analyzes the use of machines for driving rod elements into frozen ground. The advantages of using pneumatic hammers over diesel hammers and vibratory pile drivers are highlighted. The objectives are set for eliminating the shortcomings of pneumatic hammers through research, which will lead to the development of highly efficient equipment for the construction of mining facilities in the Arctic.

Keywords: pneumatic hammer, pipe, Arctic, construction, compressed air, diesel hammer, vibratory driver

Введение

Возведение горнодобывающих предприятий в Арктике сопряжено с проведением комплекса специальных строительных работ. За последние годы их объемы неуклонно увеличиваются, что обусловливается освоением Арктической зоны Российской Федерации. В перечень таких работ входит бестраншейная прокладка подземных каналов, укрепление откосов котлованов и насыпей, сооружение подпорных стенок и экранов, получение набивных свай под фундаменты зданий. Используется технология, основанная на погружении различных металлических профилей и конструкций в мерзлый грунт бурозабивным методом. Для его реализации используются дизель-молоты, вибропогружатели и пневмомолоты. Наиболее рациональным решением в условиях отрицательных

температур является использование пневмоударных машин, которые обладают преимуществами перед дизель-молотами и вибропогружателями.

Цель работы

Обоснование актуальности проведения исследований, направленных на разработку высокоэффективного пневмоударного устройства, применяемого для проведения работ по строительству горнодобывающих предприятий в Арктике.

Основная часть

Арктический регион характеризуется экстремально низкими температурами. В зимний период температура может опускаться до -3°C на юге приатлантического района и до -16°C в притихоокеанском. На северо-востоке Якутии зафиксированы температуры до -40°C . Относительная влажность воздуха составляет 80–90% [1].

Рельеф Арктики в основном представлен равнинами и низменностями, а также многочисленными островами и архипелагами, такими как острова Арктического института, острова Гейберга, Дунай, Медвежьи острова, Новая Земля, Новосибирские острова и Северная Земля. Горные массивы встречаются редко.

Почвы в Арктике маломощные, слабокислые и слабогумусированные. В южной части региона преобладают кислые тундровые и дерновые почвы.

Арктика богата полезными ископаемыми, включая нефть, природный газ и различные руды, такие как апатит, золото, алмазы, серебро, цирконий, титан, платина и редкоземельные металлы.

Разработка полезных ископаемых требует создания современных горнодобывающих предприятий и инфраструктуры. Строительство в Арктике имеет свои особенности [2-3]:

1. Суровый климат. Низкие температуры и промёрзшие грунты значительно усложняют и замедляют строительство и эксплуатацию зданий.

2. Вечная мерзлота. Вода в грунте чаще всего находится в твёрдом состоянии. Однако возможны кратковременные оттаивания, что негативно сказывается на надёжности конструкций.

3. Порывистые ветры и метели. Здания в Арктике строят по принципу замкнутого контура, а расстояние между домами стараются минимизировать.

4. Удалённость поставщиков строительных материалов. Многие объекты строятся на островах, что требует использования только водного транспорта для доставки материалов.

5. Высокая стоимость строительства. Удалённость районов и необходимость использования дорогостоящих материалов в суровых условиях увеличивают затраты.

6. Нехватка квалифицированного персонала. Климат Арктики негативно влияет на здоровье работников, поэтому перед отправкой на север сотрудники проходят углублённое медицинское обследование.

Важным этапом в технологии строительства горнодобывающих предприятий является погружение свай под фундамент здания. Работы следует производить в следующей последовательности (рисунок 1) [4, 5]:

1. Перед погружением бурозабивных свай из скважин следует тщательно извлекать попавшие в них воду, грязь, лёд и снег. Глубина лидерных скважин определяется проектом исходя из условия, что концы свай должны заглубляться не менее чем на 1 м ниже забоя скважины [4, 5].

2. Следует контролировать диаметр скважины, обеспечивая его размер не более размера меньшей стороны поперечного сечения сваи. Стенки скважины должны быть ровными. Отклонение от вертикали стенок скважины должно обеспечивать возможность забивки свай с предельным отклонением от вертикали, не превышающим 2% их длины [4, 5].

3. В качестве способа подготовки скважин для бурозабивных свай следует использовать вращательное или лидерное бурение. Бурозабивные сваи могут погружаться с предварительным оттаиванием грунта у стенок скважины с помощью обогрева паровым вибролидером [4, 5].

4. Для забивки свай в подготовленные лидерные скважины применяются сваебойные машины ударного и виброударного действия, в том числе вибропогружатели с ударной приставкой [4, 5].

Забивку свай необходимо начинать при небольшом подъеме молота, с тем чтобы легкими ударами закрепить сваю в грунте и придать ей правильное направление. Дальнейшую забивку до проектной отметки следует проводить при постоянной высоте подъема молота [4, 5].

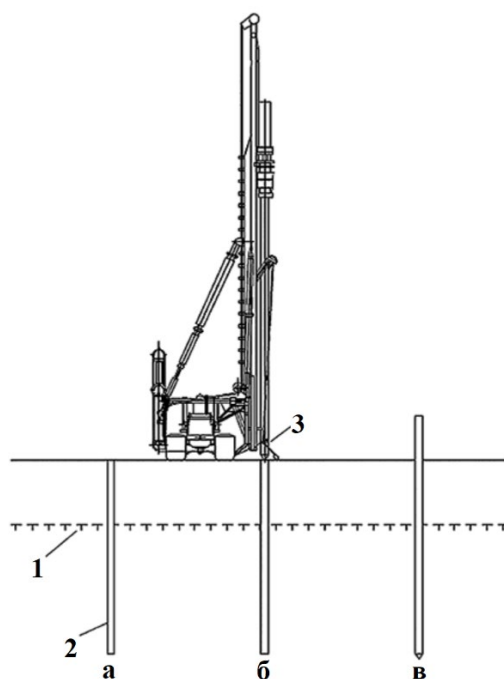


Рис. 1. Технологическая схема устройства бурозабивной сваи [4, 5]:

- а - бурение скважины диаметром, меньшим или равным диаметру сваи;
б - погружение сваи сваебойной установкой; в - готовая бурозабивная свая;
1 - граница слоя сезонного оттаивания; 2 - пробуренная (лидерная) скважина; 3 - свая

Для осуществления операций по погружению в грунт стержневых элементов чаще всего используются дизель-молоты и вибропогружатели [4, 5].

Дизель-молоты предназначены для вертикального и наклонного забивания свай в грунт.

Широкое распространение дизель-молотов объясняется их высокой эффективностью и автономностью, сравнительно высоким коэффициентом полезного действия, низкой стоимостью топлива, простотой обслуживания [6, 7].

На строительных площадках применяют штанговые и трубчатые дизель-молоты (рисунок 2). Ударной частью штанговых дизель-молотов является подвижный цилиндр, открытый снизу и перемещающийся в направляющих штангах [6, 7].

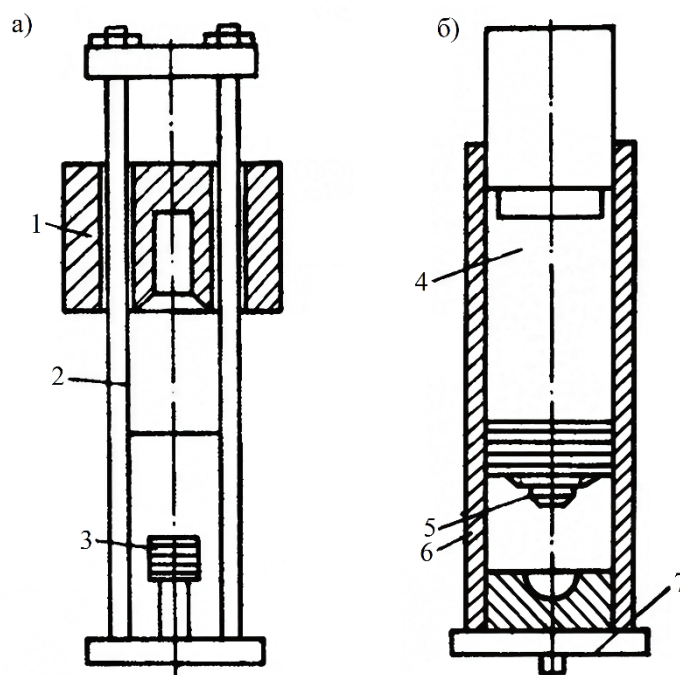


Рис. 2. Схемы устройства дизель-молотов [6, 7]:

- а - штангового; б - трубчатого; 1 - подвижный цилиндр; 2 - направляющие штанги;
3 - поршень; 4 - подвижный поршень; 5 - головка; 6 - неподвижный цилиндр;
7 - опорная часть

При падении цилиндра на неподвижный поршень в камере сгорания воспламеняется смесь воздуха и топлива. Образовавшиеся в результате сгорания смеси газы подбрасывают цилиндр вверх, после чего происходит новый удар и цикл повторяется [6, 7].

В трубчатых дизель-молотах неподвижный цилиндр, имеющий пята, является направляющей всей конструкции. Ударной частью является подвижный поршень с головкой. Воспламенение смеси происходит при ударе головки поршня по поверхности сферической впадины цилиндра [6, 7].

Главное преимущество дизель-молота трубчатого типа над штанговым заключается в том, что при одинаковой массе ударной части они обладают значительно большей (в 2...3 раза) энергией удара [6, 7].

Общими недостатками дизель-молотов являются: невозможность забивания стержневых элементов в горизонтальном направлении; трудность запуска при работе на слабых грунтах и в условиях низких температур; обязательное применение копровой установки [6, 7].

Погружение свай вибрированием осуществляют с использованием вибрационных механизмов, оказывающих на сваю динамические воздействия, которые позволяют преодолеть сопротивление трения на боковых поверхностях сваи, лобовое сопротивление грунта, возникающее под острием сваи, и погрузить сваю на проектную глубину (рисунок 3) [8].

На скорость погружения и амплитуду колебаний влияют масса вибрирующих частей сваи и вибратора, его эксцентриситет, плотность грунта, участвующего в колебаниях, частота колебаний вибропогружателя [8].

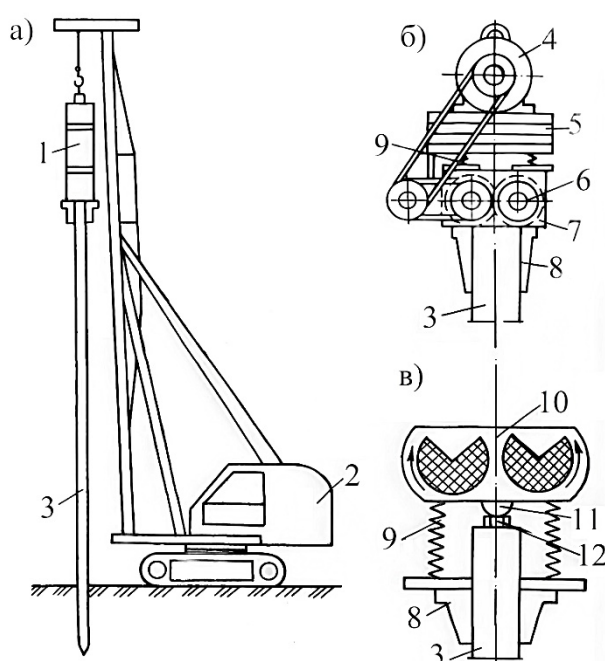


Рис. 3. Вибропогружение свай [8]: а - сваепогружающая установка; б - вибропогружатель с подрессоренной пригрузкой; в - вибромолот; 1 - вибропогружатель; 2 - экскаватор; 3 - свая; 4 - электродвигатель; 5 - пригрузочные плиты; 6 - вибратор; 7 - дебалансы; 8 - наголовник; 9 - пружины; 10 - ударная часть с электродвигателем; 11 - боек; 12 – наковальня

Вибропогружатели с частотой менее 10 Гц называют низкочастотными, с частотой более 16,6 Гц высокочастотными [8].

Низкочастотные вибропогружатели используют для погружения в однородные слабые грунты массивных железобетонных оболочек и свай длиной до 12 м. Они характеризуются значительной амплитудой колебаний, сравнительно большими статическими моментами дебалансов, вынуждающей силой и общей массой, малой частотой колебаний [8].

Высокочастотные вибропогружатели применяют для погружения в малосвязные грунты элементов с малым лобовым сопротивлением: шпунта, труб и профильного металла длиной до 20 м. По сравнению с низкочастотными высокочастотные вибропогружатели имеют значительно меньший статический момент дебалансов (не более 60 кН·см) и соответственно меньшую (до 10-14 мм) амплитуду колебаний [8].

Вибропогружатели обладают следующими преимуществами [8]: высокая производительность по сравнению с дизель-молотами; удобство управления; отсутствие разрушения погружаемых элементов.

Основными недостатками машин являются [8]: непригодность для погружения свай (шпунта) в связные маловлажные грунты; короткий срок службы электродвигателей; низкая производительность машин при работе в условиях отрицательных температур из-за высокого сопротивления мерзлого грунта погружению элементов.

Для строительства горнодобывающих предприятий в Арктике наиболее рационально использовать пневмоударные механизмы, которые обладают рядом преимуществ перед дизель-молотами и вибропогружателями: простота конструкции, высокая надежность, не требуется высокая квалификация рабочего, использование сжатого воздуха в качестве энергоносителя, возможность работы в труднодоступных местах (не требуется применение копровой установки).

Применяются пневмомолоты с рабочим циклом расширения сжатого воздуха перед выхлопом (СО-134, СО-166, М-200, М-400) и пневмомолоты без расширения сжатого воздуха в камере обратного хода (Тайфун-70, Тайфун-130, Тайфун-190, Тайфун-320, Тайфун-500, Тайфун-740, Тайфун-1000). Недостатком первых машин является работа за счёт расширения сжатого воздуха внутри камеры холостого хода, в результате которого температура понижается, что может способствовать обледенению машины. Минимальные зазоры ударника в корпусе при попадании льда способствуют заклиниванию и остановке машины. В условиях отрицательных температур предпочтительно использовать машины семейства «Тайфун», т.к. надёжную работу в зимних условиях обеспечивают большие зазоры и отсутствие расширения воздуха внутри камеры холостого хода, что возможно за счёт наличия упругого воздухораспределительного клапана.

«Тайфуны» работают следующим образом (рисунок 4). Сжатый воздух из воздухоподводящей магистрали под давлением p_0 через патрубок поступает в камеру прямого хода 1 ударника. Посредством дроссельного канала 5 она соединяется с камерой обратного хода 2. Поскольку диаметр D_2 , а, следовательно, и определяемая им площадь поперечного сечения передней полости больше, чем аналогичные параметры задней с диаметром D_1 , то ударник начинает двигаться назад. Кольцевой клапан 3 своей наружной поверхностью скользит по внутреннему профилю наковальни, создавая герметичную полость. По достижению им выхлопных пазов 4, происходит резкий сброс давления и сжатие упругого элемента. Это сопровождается появлением кольцевого зазора, через который сжатый воздух из передней полости через продольные пазы в ударнике выходит в атмосферу. Под действием движущей силы со стороны камеры прямого хода он

начинает двигаться вперед и, разгоняясь, наносит удар по наковальне. Далее рабочий цикл повторяется [9,10].

Наличие калибровочного отверстия с диаметром d , задает время наполнения камеры обратного хода ударника, что в свою очередь позволяет изменять период его обратного хода, а, следовательно, и регулировать частоту ударов [9, 10].

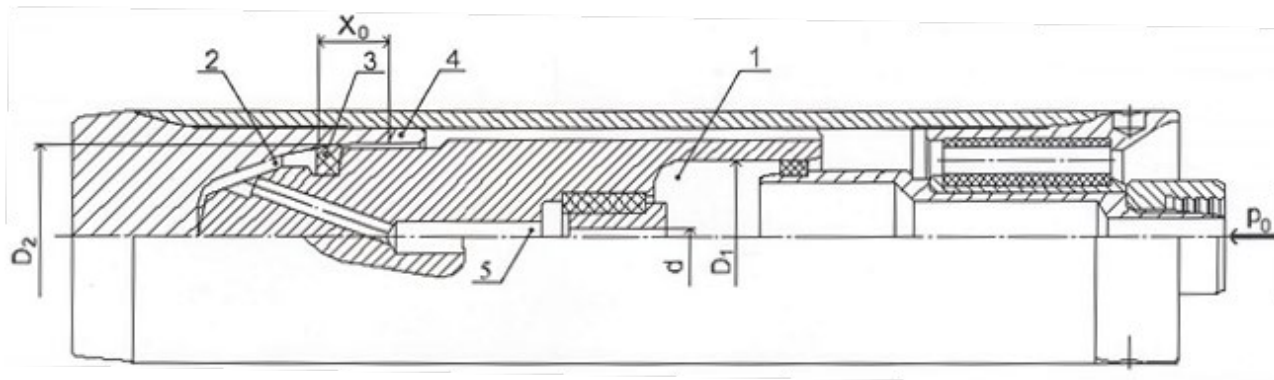


Рис. 4. Схема устройства пневмомолотов «Тайфун» [9, 10]:

1 – камера прямого хода; 2 – камера обратного хода; 3 – скользящий упругий клапан; 4 – выхлопные пазы; 5 – дроссельный канал; D_1 – диаметр камеры прямого хода; D_2 – диаметр камеры обратного хода; d – калибровочное отверстие в жиклере; p_0 – давление сжатого воздуха; X_0 – прямой ход ударника

Недостатки пневмомолотов «Тайфун»: неадаптированная конструкция воздухораспределительной системы для работы в условиях Арктики; необходимость «прогрева» упругого кольцевого клапана, материал которого при отрицательных температурах имеет повышенную жесткость.

Для устранения недостатков обозначены задачи, способствующие созданию новых пневмоударных механизмов: разработка методических рекомендаций для расчёта конструкции воздухораспределительной системы пневмоударного устройства, адаптированной к условиям отрицательной температуры; установление влияния фактического температурного баланса энергоносителя в системе воздухораспределения пневмоударного устройства на жесткость упругого кольцевого клапана.

Вывод

Важным этапом в технологии строительства горнодобывающих предприятий в Арктической зоне России является погружение стержневых элементов в грунт бурозабивным методом. Для его реализации наиболее рационально использовать пневмоударные машины, которые обладают преимуществами перед дизель-молотами и вибропогружателями. Поэтому исследования, направленные на обоснование параметров и разработку пневмоударного устройства, работающего без расширения сжатого воздуха внутри камеры холостого хода, являются одним из возможных путей получения высокоэффективной техники не только

для строительства горнодобывающих предприятий, но и для разрушения горных пород и уплотнения грунта в условиях Арктики.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Арктика. Большая Российская энциклопедия. Код доступа: <https://bigenc.ru/c/arktika-d5074d>
2. Строительный эксперт. Портал для специалистов архитектурно-строительной отрасли. Строительство в высоких широтах. Принципы, возможности и перспективы. Код доступа: <https://ardexpert.ru/article/5072>
3. Информационный портал «Всё о саморегулировании». НОСТРОЙ о строительстве в Арктике: проблемы и способы их решения. Код доступа: <https://www.all-sro.ru/news/nostroy-o-stroitelstve-v-arktike-problemy-i-sposoby-ikh-resheniya/>
4. Брушков А. В., Алексеев А. Г., Дроздов Д. С., Дубровин В. А., Железняк М. Н., Осокин А. Б., Садуртдинов М. Р., Сергеев Д. О., Бадина С. В., Великин С. А., Жданев О. В., Кузнецов М. Е., Малкова Г. В., Остарков Н. А., Федоров Р. Ю., Фролов К. Н. Мониторинг вечной мерзлоты. [Текст]. – М.: Изд-во Академический проект, 2024.
5. СП 496.1325800.2020. Основания и фундаменты зданий и сооружений на многолетнемерзлых грунтах. Свод правил. [Текст]. – М.: Изд-во Минстроя России, 2020.
6. Б. Г. Лызо, Ю. В. Дмитриевич. Новые конструкции сваебойных молотов. [Текст]. – М.: Изд-во ВНИИСтройдормаш, 1969.
7. Б. Г. Лызо. Свайные дизель-молоты. [Текст]. – М.: Изд-во ВНИИСтройдормаш, 1967.
8. Б. Ф. Белецкий, И. Г. Булгакова. Строительные машины и оборудование. Справочное пособие для инженерно-технических работников строительных организаций, студентов строительных вузов, факультетов и техникумов, производителей-механизаторов. [Текст]. – Ростов н/Д.: Изд-во Феникс, 2005.
9. Червов В.В. Интерэкспо Гео-Сибирь [Текст] /Расширение области применения пневмомолотов с переменной структурой ударной мощности // Новосибирск: Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 2019. – 9 с.
10. Червов А.В. Интерэкспо Гео-Сибирь [Текст] / Расчёт динамических параметров камеры обратного хода пневмомолота с механическим замыканием упругого клапана // Новосибирск: Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 2019. – 5 с.

© И. Е. Иоанов, 2026