

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЕТА СВАЕБОЙНЫХ ГИДРОМОЛОТОВ, РАБОТАЮЩИХ В КАЧЕСТВЕ СМЕННОГО РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ ЭКСКАВАТОРОВ

Галдин Н.С., Семенова И.А.

Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет «СибАДИ», Омск

Ключевые слова: гидромолот, экскаватор, грунт, эффективность, гидросистема, гидроцилиндр.

Аннотация. В статье приводятся общие сведения о сваебойных гидромолотах, работающих в качестве сменного рабочего оборудования экскаватора. Сваебойные гидромолоты применяются для динамической забивки свай в грунт. Современные забивные сваи представляют собой наиболее экономически эффективное решение при строительстве зданий и сооружений, благодаря своей несущей способности, многообразию форм и материалов. Кроме того, применение данного оборудования расширяет технологические возможности экскаваторов, сокращает затраты на проведение строительных работ, повышает их эффективность, надежность и экологичность. Процесс забивки свай представляет собой комплексное инженерное решение. Поэтому от правильности выбора основных параметров гидромолота будет зависеть качество проводимых работ. К решающим факторам относятся также грунтовые условия. Таким образом, предлагаемая технология забивки свай при помощи гидромолотов, а также методика расчета и проектирования данного оборудования позволяет решить задачу устройства свайных фундаментов предприятиями строительной отрасли.

DEVELOPMENT OF A CALCULATION METHOD FOR PILE-DRIVING HYDRAULIC HAMMERS OPERATING AS REPLACEMENT WORKING EQUIPMENT FOR EXCAVATORS

Galdin N.S., Semenova I.A.

Siberian State Automobile and Highway University "SibADI", Omsk

Keywords: hydraulic hammer, excavator, soil, efficiency, hydraulic system, hydraulic cylinder.

Abstract. This article provides general information about hydraulic pile driving hammers, which operate as an excavator's replacement tool. Hydraulic pile driving hammers are used for dynamically driving piles into the ground. Modern driven piles offer the most cost-effective solution for building and structure construction due to their load-bearing capacity and the variety of shapes and materials available. Furthermore, the use of this equipment expands the technological capabilities of excavators, reduces construction costs, and improves efficiency, reliability, and environmental friendliness. Pile driving is a complex engineering solution. Therefore, the quality of the work performed depends on the correct selection of the hydraulic hammer's key parameters. Soil conditions are also crucial factors. Therefore, the proposed technology for driving piles using hydraulic hammers, as well as the calculation and design methodology for this equipment, enables construction companies to solve the problem of installing pile foundations.

Введение

Известно, что сваебойные гидромолоты являются сменным строительным оборудованием активного действия, предназначенным для забивки свай различных типов (железобетонных, стальных), шпунта, а также других забивных элементов в грунт при возведении фундаментов зданий, сооружений, мостов и других объектов. Принцип работы сваебойного гидромолота основывается на том, что используется гидравлическая энергия для подъема и сброса ударной части (бойка).

Отличием сваебойных гидромолотов, работающих в качестве сменного рабочего оборудования гидравлического экскаватора от сваебойных установок является компактность, высокая производительность, точность проводимых работ, а также большая экологичность в сравнении с традиционными сваебойными установками. Даже применение малогабаритных сваебойных установок требует использования дополнительной техники и обслуживающего персонала.

Для проведения работ по забиванию свай с помощью сваебойного гидромолота на базе экскаватора не требуется дополнительного оборудования, следовательно уменьшаются затраты на производство строительных работ. При использовании данного оборудования снижаются сроки строительства и повышается экономическая эффективность.

Проведенные исследования [1-3] показали, что существует широкий ряд выпускаемых сваебойных гидромолотов, отличающихся энергией удара, частотой ударов, эффективной ударной мощностью. Тем не менее, существует необходимость в создании нового высокопроизводительного сменного рабочего оборудования, обеспечивающего эффективную и надежную работу при различных специфических условиях.

Созданные модели гидромолотов для забивки свай спроектированы без учета грунтовых условий и параметров базовой машины (экскаватора). На рисунке 1 изображен гидравлический экскаватор 3 размерной группы со сменным рабочим оборудованием в виде сваебойного гидромолота. Гидравлический молот подключается к гидросистеме экскаватора. Насос гидросистемы экскаватора подает рабочую жидкость во взводящую полость гидроударника, что заставляет поршень (с которым связан боек) подниматься вверх. После достижения определенной высоты, давление под поршнем сбрасывается, и боек под действием силы тяжести или дополнительного гидравлического давления с силой ударяет на наголовник сваи. Цикл повторяется, создавая серию ударов, которые постепенно погружают сваю в грунт [3-5].

Преимуществом предлагаемой технологии является возможность регулирования энергии удара в зависимости от типа сваи и грунтовых условий, что снижает риск разрушения сваи и оптимизирует процесс забивки. Также значительно снижается уровень шума, вибрации и выброса вредных веществ по сравнению с дизельными молотами.

Целью данной работы является разработка методики расчета сваебойных гидравлических молотов, работающих в качестве сменного рабочего оборудования экскаватора. Для достижения поставленной цели была поставлена задача определения основных параметров сваебойных гидромолотов в зависимости от параметров базовой машины, грунта и самой забивной сваи.



Рис. 1. Экскаватор со сменным рабочим оборудованием в виде сваебойного гидромолота

Материалы и методы исследований. Исследования сваебойных гидромолотов, устанавливаемых на экскаватор охватывает широкий спектр аспектов, от параметров гидросистемы экскаватора до грунтовых условий и типов и материала свай.

Анализ существующих патентов [6-9] позволил выявить некоторые инновационные решения в области создания ударных механизмов, применяемых для забивки свай гидравлическими молотами.

Результаты исследований, проводимых специализированными организациями, а также анализ научных публикаций по данной тематике позволили сделать вывод о целесообразности использования данного оборудования с учетом грунтов условий [10].

Результаты. Разрабатываемая методика расчета и проектирования сваебойных гидромолотов, работающих в качестве сменного рабочего оборудования экскаватора должна включать в себя: расчет гидроцилиндра поджатия, а также расчет конструктивных и энергетических параметров гидромолота в зависимости от параметров гидросистемы экскаватора, грунтовых условий, типа и материала забивной сваи.

На рисунке 2 изображен гидроцилиндр поджатия гидромолота. На рисунке 3 изображена структурная схема предлагаемого гидравлического сваебойного молота, основными компонентами которой являются корпус 2, механизм подъема и опускания бойка, боек 3, система управления 7, позволяющая регулировать энергию удара, частоту ударов, контролировать процесс забивки, пневмоаккумулятор 6, а также наголовник – наголовник 1, устанавливаемый на верхнюю часть сваи для равномерного распределения удара и защиты сваи от разрушения. При этом наголовник 1 является сменным рабочим инструментом и может быть заменен на инструмент для разрушения или уплотнения грунта.

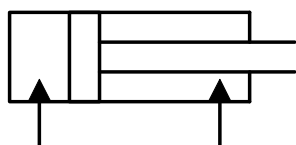


Рис. 2. Гидроцилиндр поджатия гидромолота

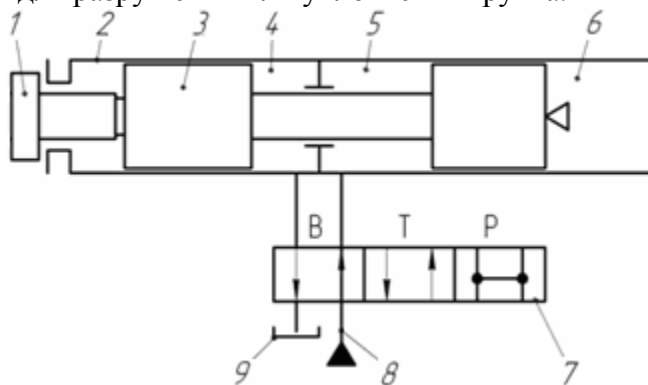


Рис. 3. Схема гидropневматического ударного устройства:
1 – наголовник; 2 – корпус; 3 – боек; 4 – камера низкого давления;
5 – камера высокого давления; 6 – пневмоаккумуляторная камера;
7 – орган управления рабочим циклом; 8 – напорная гидролиния;
9 – гидробак; В – взвод бойка; Т – торможение; Р – разгон (рабочий ход)

К параметрам гидросистемы экскаватора относятся давление, подача насоса, они влияют на скорость движения штока и усилие поджатия гидроцилиндра. К грунтовым условиям относятся тип грунта, категория и число ударов плотномера ДорНИИ [5]. К параметрам забивных свай относятся тип и материал сваи.

Теоретическое усилие, развиваемое гидроцилиндром (см. рис. 2) определяется по формуле:

$$F_1 = p_1 S_1 - p_2 S_2, \quad (1)$$

где F_1 – усилие на штоке, Н; p_1 – давление в поршневой полости, Па; S_1 – рабочая (эффективная) площадь поршневой полости, м^2 ; $S_1 = \pi D^2 / 4$; p_2 – давление в штоковой полости, Па; S_2 – рабочая (эффективная) площадь штоковой полости, м^2 , $S_2 = \pi (D^2 - d^2) / 4$.

К основным параметрам сваебойных гидромолотов (см. рис. 3) относятся [3-5]: энергия единичного удара T ; масса подвижных частей (бойка) m ; частота ударов n ; эффективная (ударная) мощность $N_{y\partial}$; коэффициент полезного действия (КПД) η ; масса гидроударника M .

Эффективная (ударная) мощность гидромолотов определяется из выражения

$$N_{y\partial} = T \cdot \frac{n}{60} \quad (\text{здесь } n - \text{количество ударов в минуту}).$$

Энергия единичного удара определяется выражением:

$$T = \frac{m \cdot V_1^2}{2}, \quad (2)$$

где m – масса подвижных частей; V_1 – скорость подвижных частей в момент удара.

Анализ статистических данных по гидромолотам позволил выявить тесную связь и получить уравнения регрессии между массой гидромолота и энергией единичного удара гидромолота T :

$$M(T) = a_0 + a_1 T + a_2 T^2, \quad (3)$$

где a_0, a_1, a_2 – коэффициенты, $a_0 = 3,20$; $a_1 = 0,5704$; $a_2 = -0,000035$; T – энергия единичного удара, Дж, $T \in (200, 6000)$.

Энергию зарядки аккумулятора можно определить по формуле:

$$W_a = T / \eta_{раз}, \quad (4)$$

где $\eta_{раз}$ – КПД разгона гидроударного устройства, учитывающий потери энергии на перетекание жидкости и механическое трение при разгоне бойка, значение $\eta_{раз}$ можно принимать 0,6...0,8.

По результатам исследования были выявлены зависимости параметров ударной части сваебойного гидромолота от свойств грунта. На рисунке 4 изображен график зависимости погонной энергии удара гидромолота от массы подвижных частей.

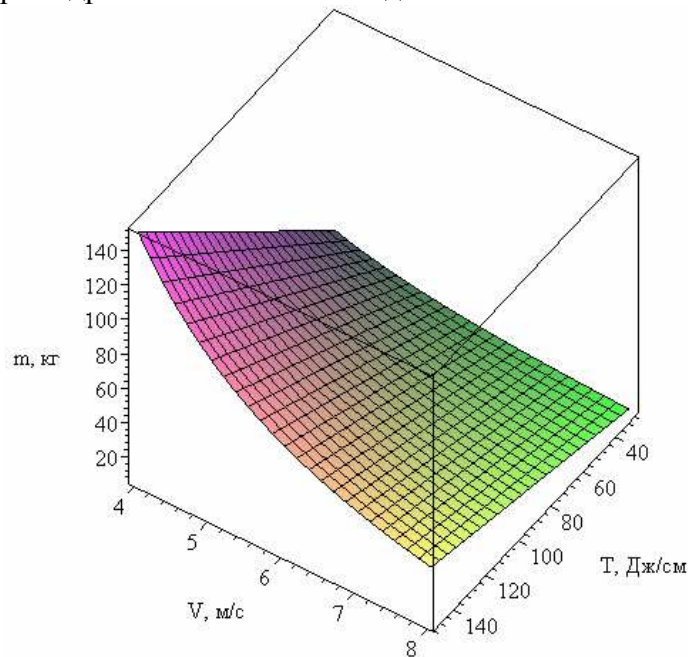


Рис. 4. График зависимости погонной энергии удара от массы подвижных частей

Вывод. Применение сваебойных гидромолотов в качестве сменного рабочего оборудования для экскаватора позволяет расширить технологические возможности базовой машины и повысить эффективность проводимых работ, благодаря уменьшению движущихся частей, подверженных износу, применению с различными типами свай (различные сменные наголовники) и с различными типами грунтов. Изменение энергии удара в широком диапазоне позволяет регулировать силу удара по забивной свае. Данные гидромолоты развивают высокую энергию удара, что позволяет забивать тяжелые и длинные сваи без их разрушения.

Заключение

В данной работе, разработанная методика расчета и основанная на ней методика проектирования сваебойных гидромолотов на базе экскаватора, позволяют получить всестороннее представление о данном типе оборудования, выявить сильные и слабые стороны, разработать рекомендации по его эффективному использованию и дальнейшему совершенствованию.

Список литературы

1. Ступаченко Е.В., Пономаренко Ю.Е. Современные конструкции гидромолотов для сваебойных работ // Ориентированные фундаментальные и прикладные исследования – основа модернизации и инновационного развития архитектурно-строительного и дорожно-транспортного комплексов России: материалы Всероссийской научно-технической конференции (с международным участием). – Омск: Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ), 2011. – Т. 2. – С. 451-456.
2. Таурбаев А.Е., Кызыров К.Б., Митусов А.А. Гидравлические ударные механизмы // Труды университета. – 2025. – №2(99). – С. 48-54. – doi.org/10.52209/1609-1825_2025_2_48.
3. Галдин Н.С., Семенова И.А., Корытов М.С., Кашапова И.Е. Математическое моделирование рабочих органов транспортно-технологических машин. – Омск: СибАДИ, 2025. – 101 с.
4. Галдин Н.С., Семенова И.А., Галдин В.Н. Разработка и исследование математических моделей гидравлических рабочих органов экскаваторов. – Омск: СибАДИ, 2025. – 170 с.
5. Галдин Н.С., Семенова И.А., Корытов М.С. Рабочее оборудование активного действия для транспортно-технологических машин. – Омск: СибАДИ, 2024. – 91 с.
6. Патент №163878 РФ. Сваебойный гидромолот / А.Г. Богаченков, Ю.В. Салин, И.Л. Карпенко. – Заявка №2015146977 от 02.11.2015; опубл. 10.08.2016, Бюл. №4.
7. Патент №215131 РФ. Установка малогабаритная самоходная сваебойная / С.В. Кучеренко, В.И. Гуцул. – Заявка №2022127513 от 24.10.2022; опубл. 30.11.2022, Бюл. №34.
8. Патент №201332 РФ. Сваебойка / А.А. Щербина. – Заявка №2020125501 от 23.07.2020; опубл. 09.12.2020, Бюл. №34.
9. Патент №212637 РФ. Сваебойный гусеничный копер / И.С. Калинин, С.А. Лагунов, А.Н. Шалин. – Заявка №2021135543 от 03.12.2021; опубл. 01.08.2022, Бюл. №22.
10. Гуськов М.П., Боронтова М.А., Храпова Т.Е. Состояние и перспектива применения фундаментов из набивных свай // Экономика строительства. – 2024. – №12. – С. 453-455.

References

1. Stupachenko E.V., Ponomarenko Yu.E. Modern designs of hydraulic hammers for piling operations // Focused fundamental and applied research – the basis for modernization and innovative development of the architectural, construction and road transport complexes of Russia: Proceedings of the All-Russian scientific and technical conference (with international participation). – Omsk: Siberian State Automobile and Highway Academy (SibADI), 2011. – Vol. 2. – P. 451-456.
2. Taurbaev A.E., Kyzzyrov K.B., Mitusov A.A. Hydraulic impact mechanisms // Proceedings of the University. 2025, no. 2(99), pp. 48-54. doi.org/10.52209/1609-1825_2025_2_48.
3. Galdin N.S., Semenova I.A., Korytov M.S., Kashapova I.E. Mathematical modeling of working bodies of transport and technological machines. – Omsk: SibADI, 2025. – 101 p.
4. Galdin N.S., Semenova I.A., Galdin V.N. Development and study of mathematical models of hydraulic working bodies of excavators. – Omsk: SibADI, 2025. – 170 p.
5. Galdin N.S., Semenova I.A., Korytov M.S. Active working equipment for transport and technological machines. – Omsk: SibADI, 2024. – 91 p.
6. Patent No. 163878 RU. Pile-driving hydraulic hammer / A.G. Bogachenkov, Yu.V. Salin, I.L. Karpenko. – Appl. No. 2015146977 from 02.11.2015; publ. 10.08.2016, Bul. No. 4.
7. Patent No. 215131 RU. Small-sized self-propelled pile-driving unit / S.V. Kucherenko, V.I. Gutsul. – Appl. No. 2022127513 from 24.10.2022; publ. 30.11.2022, Bul. No. 34.
8. Patent No. 201332 RU. Pile driver / A.A. Shcherbina. – Appl. No. 2020125501 from 23.07.2020; publ. 09.12.2020, Bul. No. 34.
9. Patent No. 212637 RU. Tracked Pile Driving Machine / I.S. Kalinin, S.A. Lagunov, A.N. Shalin. – Appl. No. 2021135543 from 03.12.2021; publ. 01.08.2022, Bul. No. 22.
10. Guskov M.P., Borontova M.A., Khrapova T.E. Status and Prospects of Using Cast-in-Pile Foundations // Construction Economics. 2024, no. 12, pp. 453-455.

Сведения об авторах:

Галдин Николай Семенович – доктор технических наук, профессор кафедры «Строительная подъемно-транспортная и нефтегазовая техника»
Семенова Ирина Анатольевна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительная подъемно-транспортная и нефтегазовая техника»
semenova_ia@mail.ru

Information about authors:

Galdin Nikolay Semenovich – doctor of technical sciences, professor of the Department of construction lifting and transport and oil and gas equipment
Semenova Irina Anatolyevna – candidate of technical sciences, associate professor of the Department of construction lifting and transport and oil and gas equipment

Получена 11.11.2025