

*И. В. Тищенко<sup>1</sup>*

## **Влияние предупредительной скорости на технологические возможности пневмомолота для погружения стержней в грунтовый массив**

<sup>1</sup>Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, г. Новосибирск,  
Российская Федерация  
e-mail: ighor.tishchienko.70@mail.ru

**Аннотация.** Повышение конкурентоспособности пневмоударной техники должно сопровождаться расширением спектра ее технологических возможностей. Решение поставленной задачи может быть осуществлено за счет оптимизации структуры ударной мощности применительно к ее использованию для погружения стержней в упругопластическую грунтовую среду. В статье рассмотрено влияние величины предупредительной скорости генератора на амплитуду формируемого силового импульса и, как следствие, скоростные показатели процесса. Дано описание модели импульсного механизма со ступенчато изменяемым значением скорости соударения подвижной массы. Приведены результаты экспериментального моделирования внедрения стержневого элемента в породный массив.

**Ключевые слова:** пневмомолот, предупредительная скорость, ударное воздействие, силовой импульс

*I. V. Tishchenko<sup>1</sup>*

## **The influence of pre-impact velocity on the technological capability of a pneumatic hammer for plunging rods into the ground**

<sup>1</sup>Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk,  
Russian Federation  
\*e-mail: ighor.tishchienko.70@mail.ru

**Abstract.** Increasing the competitive recovery of pneumatic impact technology requires expanding the range of its technological capabilities. The solution of the problem is carried out by optimizing the structure of the impact power of the pneumatic hammer used for plunging rods into the ground. The article considers the influence of the magnitude of the pre-impact velocity of the striker on the amplitude of the power pulse of the pneumatic hammer and the rate of rod loading into the ground. The design of the pneumatic hammer model with the possibility of regulating the striker pre-impact speed is considered. The results of an experimental study of the process of penetration of a rod into the ground are presented.

**Keywords:** pneumatic hammer, pre-impact velocity, impact, power pulse

### ***Введение***

Одной из сфер современного строительного производства является использование геотехнологий, основанных на динамическом воздействии рабочего инструмента на грунтовый массив [1]. При этом в качестве генератора импульсной нагрузки широкое распространение получили машины, преобразующие энергию сжатого воздуха в механическую работу [2 - 4]. С их помощью прокладывают

инженерные коммуникации бестраншейными методами, сооружают свайные поля, подпорные стенки, опоры линий электропередач, контуры заземления и другие объекты. При этом технологические возможности оборудования в большей степени зависят от величины энергетической компоненты ударной мощности и ее структуры, определяемой массой ударника и скоростью его соударения с наковальной [5, 6].

Цель работы: Оценить влияние составляющих величин энергетической компоненты ударной мощности на формируемую периодическую импульсную нагрузку и результирующую скорость внедрения стержня в грунтовый массив.

### Методика и оборудование

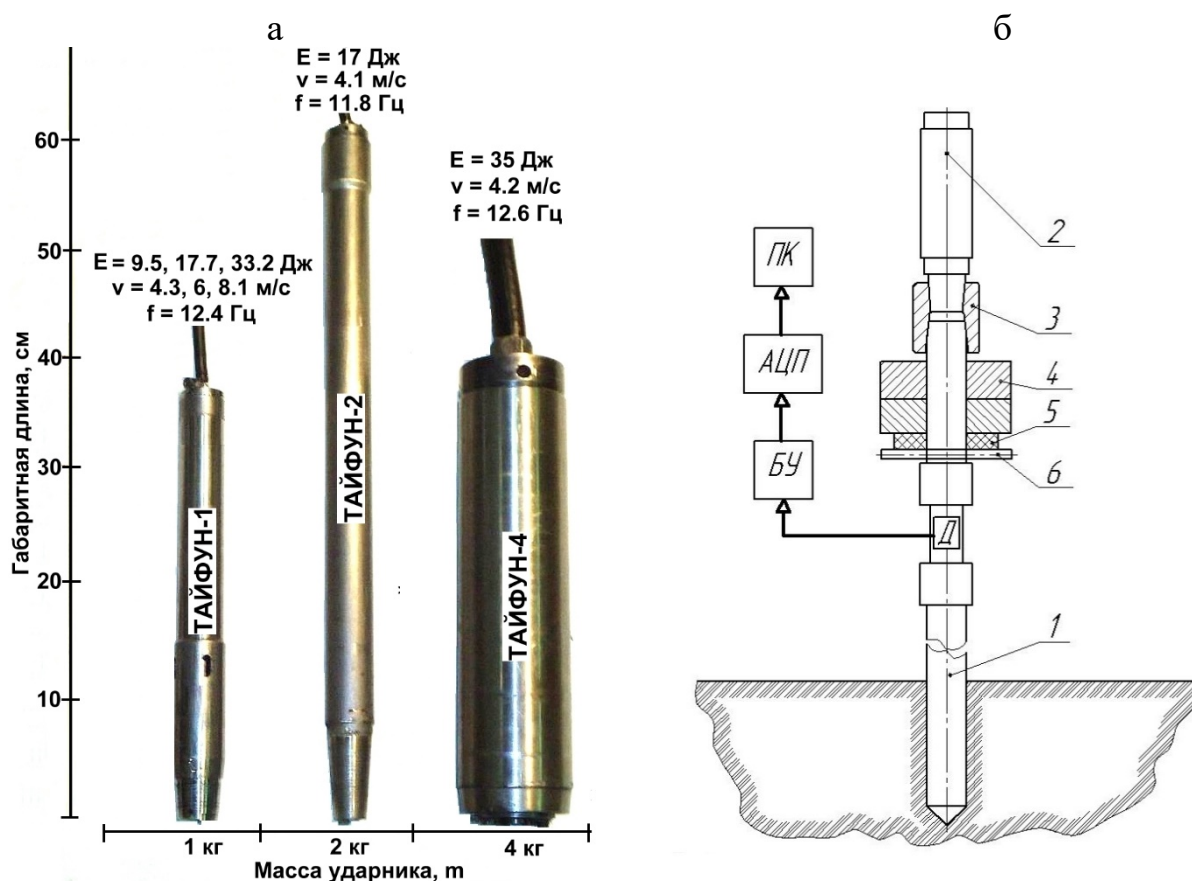


Рис 1. Модельный ряд генераторов (а) и схема эксперимента (б).

Эксперименты проводились в соответствии с методикой приближенного физического моделирования процесса. В качестве объекта исследований использовалась линейка пневмоударных устройств (рис. 1а), выполненных по единой схеме воздухораспределения с упругим клапаном механического замыкания в камере обратного хода ударника (схема пневмомолотов «Тайфун» [7]). Такой подбор источника импульсного воздействия позволял изменять энергию удара двумя способами:

- за счет ступенчатого повышения рабочего давления со стандартной величины  $p = 0,6$  МПа до  $p = 1,2$  МПа и  $p = 2,4$  МПа в модели с массой ударника 1 кг,

позволяющего кратно увеличивать предупредную скорость до значений  $v = 4,3$  м/с;  $v = 6$  м/с;  $v = 8,1$  м/с соответственно;

- посредством подбора машин с увеличенной массой бойка от исходного уровня  $m = 1$  кг до  $m = 2$  кг и  $m = 4$  кг.

Эксперименты проводились в вертикальном грунтовом канале. Состав грунта представлял собой супесь естественного залегания с влажностью 10 – 12%. Рабочим инструментом, воздействующим на забой, являлась труба 1 диаметром 33 мм с конусным наконечником на конце (рис. 1б). Противоположно ему устанавливался предварительно настроенный источник импульсной нагрузки 2 с помощью насадки 3. Статическое усилие задавалось пакетом гравитационных пригрузов 4, насаживаемых на трубу с помощью упругой прокладки 5 и шкворня 6.

Основным элементом измерительной цепи служил тензометрический датчик Д, выполненный в соответствии с рекомендациями [8, 9]. Задаваемый им электрический сигнал поступал на блок усилителей БУ и в дальнейшем воспроизводился в цифровой форме преобразователем АЦП. Запись и окончательная обработка данных осуществлялась переносным компьютером ПК с программным продуктом Power Graf Professional.

Процесс внедрения снимался на видеокамеру SONY HDR-SR10E для последующей покадровой обработки и анализа.

Для вычисления скорости прохождения трубной плетью контрольных отметок вся ее длина была поделена на равные промежутки длиной по 0,1 м.

### Результаты

На первом этапе моделировалась ситуация, когда рост энергии единичного удара осуществлялся за счет увеличения предупредной скорости ударника машины.

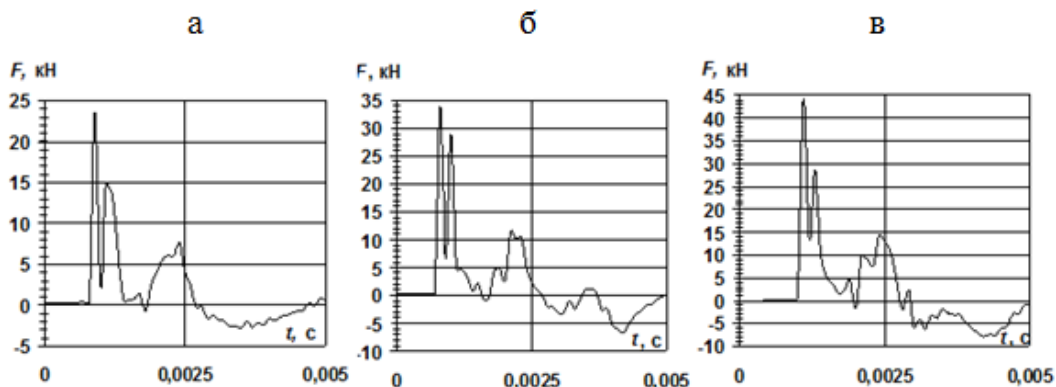


Рис. 2. Силовая нагрузка на трубе от ударов пневмомолота с массой ударной части  $m = 1$  кг и изменяемой предупредной скоростью:  $v = 4,3$  м/с (а);  $v = 6$  м/с (б);  $v = 8,1$  м/с (в)

При этом на рис. 2 приведены виды формируемых на трубе силовых импульсов. Как видно из графиков, рост скорости соударения приблизительно в 1,4

раза от исходного значения  $v = 4,3$  м/с,  $p = 0,6$  МПа (рис. 2а) до  $v = 6$  м/с,  $p = 1,2$  МПа (рис. 2б) и  $v = 8,1$  м/с,  $p = 2,4$  МПа (рис. 2в) сопровождается пропорциональным увеличением энергии от  $E = 9,5$  Дж,  $E = 17,7$  Дж и  $E = 33,2$  Дж, а также амплитудных значений периодической нагрузки с  $F_{\max} = 24$  кН до  $F_{\max} = 33$  кН и  $F_{\max} = 44$  кН соответственно. Такая картина свойственна и ударным системам, предназначенным для разрушения крепких скальных пород [10].

В следующей серии опытов задавались условия, когда при тех же внешних факторах наращивание энергетической составляющей ударной мощности происходит за счет ступенчатого прибавления массы бойка машины. Для этого на погружаемый элемент последовательно устанавливались генераторы с  $m = 2$  кг ( $E = 17$  Дж,  $v = 4,1$  м/с) и  $m = 4$  кг ( $E = 35$  Дж,  $v = 4,2$  м/с). В этом случае амплитудные значения генерируемых силовых импульсов не претерпевали существенных изменений и колебались в пределах:  $F = 24 - 27$  кН.

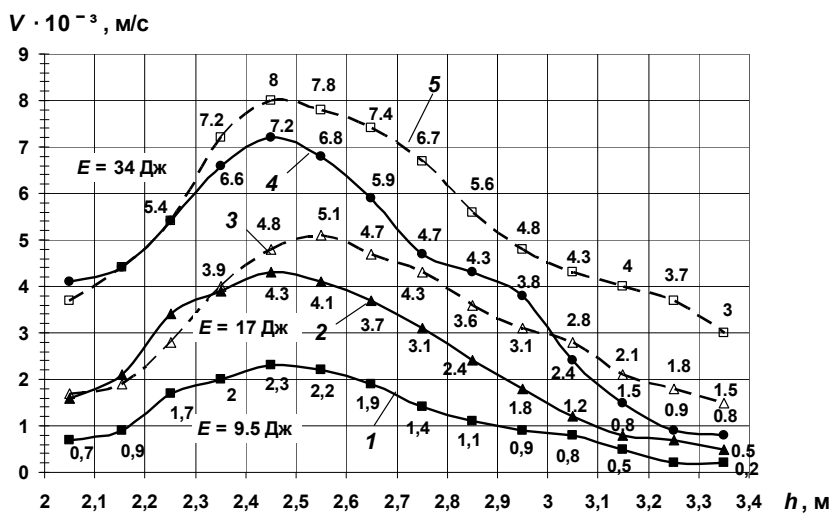


Рис. 3. Сравнительные графики изменения скорости погружения трубы при различных вариантах воздействия: 1 –  $m = 1$  кг,  $E = 9,5$  Дж,  $v = 4,3$  м/с; 2 –  $m = 2$  кг,  $E = 17$  Дж,  $v = 4,1$  м/с; 3 –  $m = 1$  кг,  $E = 17,7$  Дж,  $v = 6$  м/с; 4 –  $m = 4$  кг,  $E = 35$  Дж,  $v = 4,2$  м/с; 5 –  $m = 1$  кг,  $E = 33,2$  Дж,  $v = 8,1$  м/с.

Наличие временных значений прохождения отметкой контрольных интервалов, вычисленных по итогу обработки покадровой съемки процесса перемещения трубной плети, позволили получить скоростные характеристики движения элемента в грунтовой массе на глубине от 2 м до 3,4 м (рис. 3).

Данные графиков указывают на тот факт, что при одних и тех же свойствах грунта, и близких значениях энергетической и частотной компоненты ударной мощности, больший эффект демонстрируют устройства с более весомой скоростью соударения ударника с рабочим инструментом. Так установка на трубу пневмомолотов с  $m = 2$  кг,  $v = 4,1$  м/с и  $m = 1$  кг,  $v = 6$  м/с с одинаковой энергией удара  $E = 17$  Дж (кривые 2 и 3) дает приращение интенсивности процесса перемещения в 1,2 – 3 раза. У более мощных образцов замена модели с  $m = 4$  кг,  $v$

= 4,2 м/с на  $m = 1$  кг,  $v = 8,1$  м/с и энергией  $E = 34$  Дж (кривые 4, 5) сопровождается ростом скорости в 1,3 – 4 раза.

Полученные результаты коррелируются с приведенными ранее данными по изменению импульсной нагрузки на трубе (рис. 2). Так большая по амплитуде ударная волна позволяет достичь роста значений силового нагружения наконечника трубы, непосредственно взаимодействующего с забоем. Это позволяет улучшить условия его разрушения с последующей сдвижкой слоев грунта в зоне контакта и продвижением трубчатого элемента в породном массиве.

### **Выводы**

1. На базе клапанной схемы воздухораспределения с механическим замыканием упругого кольцевого элемента разработана опытная модель генератора импульсной нагрузки с массой бойка 1 кг и тремя вариантами настройки энергетической компоненты ударной мощности:  $p = 0,6$  МПа,  $E = 9,5$  Дж,  $v = 4,3$  м/с;  $p = 1,2$  МПа,  $E = 17,7$  Дж,  $v = 6$  м/с;  $p = 2,4$  МПа,  $E = 33,2$  Дж,  $v = 8,1$  м/с.

2. В диапазоне:  $E = 9,5 - 34$  Дж, скорость проходки скважины прямо пропорциональна энергетической составляющей ударного импульса.

3. Сравнение моделей с одинаковой энергией удара, но разными значениями предупредительной скорости и массы бойка показывает, что наиболее перспективным с точки зрения эффективности процесса является наращивание предупредительной скорости до уровня  $v = 8,1$  м/с.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Нестле Х. Справочник строителя: Строительная техника, конструкции и технологии / Нестле Х. – М.: Техносфера, 2007. – 378 с.
2. Костылев А. Д. Пневмопробойники в строительном производстве / А. Д. Костылев, В. А. Григоращенко, В. А. Козлов, В. П. Гилета, Ю. Б. Рейфисов. – Новосибирск: Наука, 1987. – 142 с.
3. Кершенбаум Н. Я. Прокладка горизонтальных и вертикальных скважин ударным способом / Н. Я. Кершенбаум, В. И. Минаев. – М.: Недра, 1984. – 245 с.
4. Кюн Г. Закрытая прокладка непроходных трубопроводов / Г. Кюн, Л. Шойбле, Х. Шлик. – М.: Стройиздат, 1993. – 168 с.
5. Тищенко И. В. Влияние энергетических параметров генераторов ударных импульсов на амплитуду и скорость внедрения трубы в грунт / И. В. Тищенко, В. В. Червов // ФТПРПИ. – 2014 - № 3. С. 75 – 86.
6. Алимов О. Д. Удар. Распространение волн деформаций в ударных системах / О. Д. Алимов, В. К. Манжосов, В. Э. Еремьянц. – М.: Наука, 1985. – 358 с.
7. Червов В. В. Энергия удара пневмомолота с упругим клапаном в камере обратного хода / В. В. Червов // ФТПРПИ. – 2004. - №1 – С. 23 – 34.
8. Макаров Р. А. Тензометрия в машиностроении / Р. А. Макаров, А. Б. Ренский, Г. Х. Боркунский. – М.: Машиностроение, 1975. – 288 с.
9. Нуберт Г. П. Измерительные преобразователи неэлектрических величин / Г. П. Нуберт. – Л.: Энергия, 1978. – 360 с.
10. Подэрин Р. Ю. Горные машины и комплексы для открытых работ / Р. Ю. Подэрин. – М.: Недра, 2001. – 422с.

© И. В. Тищенко, 2023