

МРНТИ 67.11.29

Г.И. Исаков<sup>1</sup> – основной автор, | ©  
М.Н. Байтемиров<sup>2</sup>



<sup>1</sup>Магистр строительства, <sup>2</sup>Канд. техн. наук

ORCID

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0001-5749-4716>, <sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0003-0797-7407>



<sup>1</sup>Управление энергетики и ЖКХ акимата Жамбылской области,

<sup>2</sup>ЮКФ АО «КазНИИСА»



г. Тараз, Казахстан



<sup>1</sup>[isakov\\_galym@mail.ru](mailto:isakov_galym@mail.ru), <sup>2</sup>[m.bait@mail.ru](mailto:m.bait@mail.ru)

<https://doi.org/10.55956/JQZG7557>

## ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ СОПРОТИВЛЕНИЯ ГРУНТА ПОГРУЖЕНИЮ МОДЕЛИ СВАИ ПРИ ЗАБИВКЕ

**Аннотация.** Изложены результаты теоретического решения задачи по определению силы сопротивления грунта ударному погружению модели сваи при ударах падающим грузом. Задача решена на основе уравнения энергетического баланса процесса взаимодействия ударника, сваи и грунта при ударном контакте. При этом учтены следующие силовые факторы, а именно сила конструктивного трения ударника о направляющую, сила трения при внецентренном приложении ударной нагрузки на модель, сила сопротивления воздуха движению ударника и сила сопротивления грунт прониканию модели. Предложена формула, позволяющая определять силу динамического сопротивления модели сваи при ее забивке.

**Ключевые слова:** фундамент, свая, грунт, сопротивление грунта, ударник, направляющая стержень, энергия удара, погружение модели сваи, несущая способность модели сваи.



Исаков, Г.И. Об определении сопротивления грунта погружению модели сваи при забивке [Текст] / Г.И. Исаков, М.Н. Байтемиров // *Механика и технологии / Научный журнал*. – 2021. – №4(74). – С.58-65. <https://doi.org/10.55956/JQZG7557>

**Введение.** Для определения статической несущей способности моделей свай по результатам их забивки необходимо знать силу динамического сопротивления грунта внедрению модели сваи при ударе.

В настоящей работе представлено теоретическое решение задачи по определению силы сопротивления грунта погружению модели сваи при ударе падающим грузом (ударником).

**Условия и методы исследований.** В работе [1] представлено описание установки, разработанной для забивки моделей свай и принятой за основу в исследованиях.

Процесс погружения модели сваи при ударе ударника можно условно разделить на следующие два основных этапа (рис. 1):

- 1 этап – ударник движется по направляющему стержню от точки сброса 1 до торца модели (до точки 2);

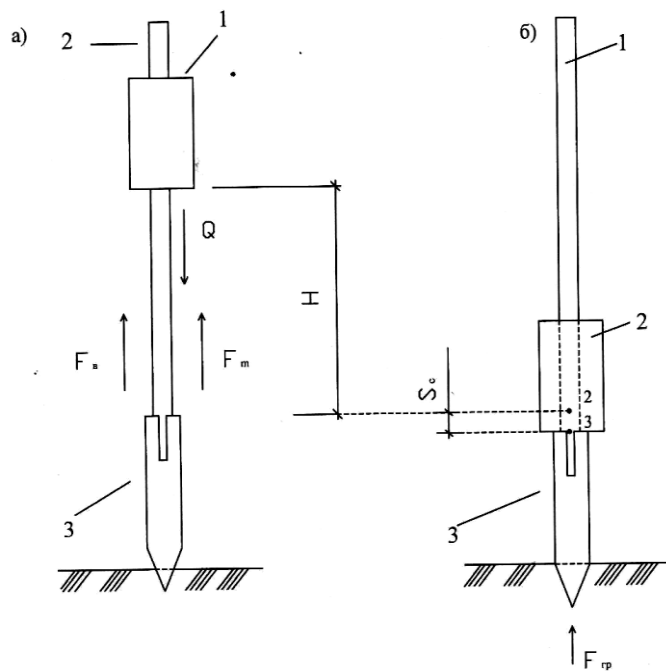
- 2 этап – ударник соприкасается с головной частью модели, происходит удар, затем модель и ударник движутся вместе (от точки 2 до точки 3).

На 1 этапе ударник, двигаясь с точки 1 до точки 2, преодолевает:

- силу конструктивного трения  $F_m$ , которая возникает между поверхностью отверстия ударника и поверхностью направляющего стержня на участке длиной  $H$  (рис. 1);

- силу трения  $F_{m0}$ , которая возникает между поверхностью отверстия ударника и поверхностью направляющего стержня дополнительно к трению при внецентренном ударе на участке длиной  $H$  (рис. 2);

- силу сопротивления воздуха  $F_a$ , движению ударника на участке длиной  $H$ .



1 – ударник; 2 – направляющий стержень; 3 – модель сваи.

Рис. 1. Схема взаимодействия ударника со свайей при центральном ударе:  
а) положение ударника до удара; б) после удара

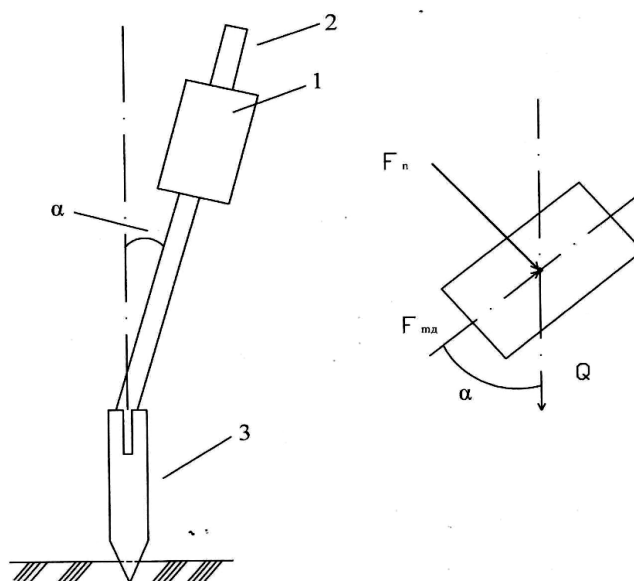
На 2 этапе ударник, перемещаясь вместе с моделью сваи (двигаясь от точки 2 до точки 3) преодолевает:

- силу конструктивного трения  $F_m$ , которая возникает между поверхностью отверстия ударника и поверхностью направляющего стержня в процессе погружения модели на глубину  $S_c$  (см. рис. 1);

- силу трения  $F_{m0}$ , которая возникает между поверхностью отверстия ударника и поверхностью направляющего стержня дополнительно к конструктивному трению при внецентренном ударе на участке длиной  $S_c$ ;

- силу сопротивления грунта  $F_{сп}$  внедрению модели сваи на глубину  $S_c$ .

Кроме того на 2 этапе ударник перемещает модель сваи на величину  $S_c$  и на всем пути движения ударника на модель сваи передается также вес направляющего стержня  $Q_{нс}$ .



1 – ударник; 2 – направляющий стержень; 3 – модель сваи.

Рис. 2. Схема взаимодействия ударника со свайей при внецентренном ударе

Таким образом, исходя из описанных особенностей этапов ударного взаимодействия ударника и модели сваи, потенциальная энергия ударника  $E_u$  при его перемещении от точки 1 до точки 3 затрачивается:

- на работу  $A_m$  по преодолению конструктивного трения  $F_m$ , которая возникает между поверхностью отверстия ударника и поверхностью направляющего стержня на участке длиной  $H$ ;

- на работу  $A_{mд}$  по преодолению силы трения  $F_{mд}$ , которая возникает между поверхностью отверстия ударника и поверхностью направляющего стержня дополнительно к конструктивному трению при внецентренном ударе на участке длиной  $H$ ;

- на работу  $A_g$  по преодолению силы сопротивления воздуха  $F_g$ , движению ударника на участке длиной  $H$ ;

- на работу  $A'_m$  по преодолению конструктивного трения  $F_m$ , которая возникает между поверхностью отверстия ударника и поверхностью направляющего стержня в процессе погружения модели сваи на глубину  $S_c$ ;

- на работу  $A'_{mд}$  по преодолению силы трения  $F_{mд}$ , которая возникает между поверхностью отверстия ударника и поверхностью направляющего стержня дополнительно к конструктивному трению при внецентренном ударе на участке длиной  $S_c$ ;

- на работу  $A_{gp}$  по преодолению силы сопротивления грунта  $F_{gp}$  внедрению модели сваи на глубину  $S_c$ ;

- на работу  $A_c$  по перемещению модели сваи на величину  $S_c$ .

Учитывая, что при забивке модель сваи задавливается весом направляющего стержня, кроме энергии ударника  $E_u$  на модель сваи

передается дополнительная энергия  $E_{ou}$ , которая формируется за счет вовлечения в процесс удара веса направляющего стержня  $Q_{nc}$ .

**Результаты исследований и их обсуждение.** С учетом представленных доводов можно записать следующее уравнение энергетического баланса для удара ударника по модели сваи в следующем виде:

$$E_u + E_{uo} = A_m + A_{mo} + A_e + A'_m + A'_{mo} + A_{zp} + A_c. \quad (1)$$

Потенциальная энергия ударника в соответствии с известными физическими положениями определяется по формуле [2]:

$$E_u = QH, \quad (2)$$

где:  $Q$  – вес ударника, кН;  $H$  – высота сбрасывания ударника, м.

Дополнительная энергия  $E_{ou}$ , которая формируется за счет вовлечения в процесс удара веса направляющего стержня  $Q_{nc}$ , устанавливается по формуле:

$$E_{ou} = Q_{nc} S_c. \quad (3)$$

Работа  $A_m$  по преодолению конструктивного трения  $F_m$ , которая возникает между поверхностью отверстия ударника и поверхностью направляющего стержня на участке длиной  $H$  определяется по формуле:

$$A_m = F_m H = k_m QH, \quad (4)$$

где  $k_m$  – коэффициент, определяющий долю конструктивного трения  $F_m$  от веса ударника  $Q$  при скольжении ударника по направляющему стержню.

Значение коэффициента  $k_m$  применительно к установке по вытрамбовыванию котлована представлено в работе [3]. Учитывая, что условия трения ударника близки к условиям трения каретки с опорными пластинами, принятыми в работе [3], в формуле (2) значение коэффициента  $k_m$  можно принимать равным 0,07.

Работа  $A_{mo}$  по преодолению силы трения  $F_{mo}$ , которая возникает дополнительно к конструктивному трению при внецентренном ударе на участке длиной  $H$ , устанавливается по формуле (5) (см. рис. 2):

$$A_{mo} = F_{mo} H; \quad (5)$$

$$F_{mo} = \mu_c F_n = \mu_c Q \cos(90 - \alpha) = \mu_c Q \sin \alpha, \quad (6)$$

где:  $\mu_c$  – коэффициент трения скольжения;  $\alpha$  – угол наклона направляющего стержня от вертикали в градусах;  $Q$  – вес ударника, кН.

Значение коэффициента  $\mu_c$  применительно к установке по вытрамбовыванию котлована представлено в работе [3]. Учитывая, что

условия трения ударника близки к условиям трения каретки с опорными пластинами, принятыми в работе [3], в формуле (6) значение коэффициента  $\mu_c$  можно принимать равным 0,09.

Формула (6) записана в соответствии с законом Кулона [4]. Окончательно формула (5) с учетом формулы (6) может быть представлена в виде:

$$A_{mo} = \mu_c H Q \sin \alpha . \quad (7)$$

Работа  $A_g$  по преодолению силы сопротивления воздуха  $F_g$ , движению ударника на участке длиной  $H$  может быть определена по формуле:

$$A_g = F_g H . \quad (8)$$

В формуле (8) сила сопротивления воздуха при малых скоростях движения ударника может устанавливаться по формуле [2]:

$$F_a = k_g v_y , \quad (9)$$

где:  $k_g$  – коэффициент, учитывающий влияние вязкости воздуха, кН · с/м;  $v_y$  – средняя скорость движения ударника при преодолении расстояния  $H$ , м/с.

Значение коэффициента  $k_g$  применительно к установке по вытрамбовыванию котлована представлено в работе [3]. Учитывая, что условия падения ударника близки к условиям движения каретки с опорными пластинами, указанными в работе [3], в формуле (9) значение коэффициента  $k_g$  можно принимать равным 0,003 кН · с/м.

Среднюю скорость движения ударника в формуле (9) можно определять по формуле:

$$v_y = v / 2 = 0,5 \sqrt{2gH} = \sqrt{0,5gH} , \quad (10)$$

где  $v$  – скорость свободного падения ударника в конце его первого этапа движения при ударе по модели сваи, м/с.

Формула (8) с учетом формул (9) и (10) окончательно может быть представлена в виде:

$$A_g = H k_g \sqrt{0,5gH} = k_g \sqrt{0,5gH^3} . \quad (11)$$

Работа  $A'_m$  по преодолению конструктивного трения  $F_m$ , которая возникает между поверхностью отверстия ударника и поверхностью направляющего стержня при погружении модели сваи на глубину  $S_c$  определяется по формуле:

$$A'_m = F_m S_c = k Q S_c , \quad (12)$$

где  $S_c$  – глубина погружения модели сваи в грунт при ударе, м.

Работа  $A'_{md}$  по преодолению силы трения  $F_{md}$ , которая возникает дополнительно к конструктивному трению при внецентренном ударе, устанавливается по формуле:

$$A'_{md} = F_{md} S_c. \quad (13)$$

Учитывая выражение (6) формула (13) окончательно может быть записана в виде:

$$A'_{md} = \mu_c S_c Q \sin \alpha. \quad (14)$$

Работа  $A_{zp}$  по преодолению силы сопротивления грунта  $F_{zp}$  внедрению модели сваи при ударе определяется по формуле:

$$A_{zp} = k_p F_{zp} S_c, \quad (15)$$

где  $k_p$  – коэффициент, определяющий долю работы  $A_{zp}$  от идеализированной работы, равной произведению  $F_{zp} S_c$ .

Значения коэффициента  $k_p$  применительно к условиям забивки свай представлены в работе [4] и теоретически изменяются от 0,5 до 1,0. Значения коэффициента  $k_p$  следует назначать по данным работы [4].

Работа  $A_c$  по внедрению модели сваи на глубину  $S_c$  устанавливается по формуле:

$$A_c = q_c S_c, \quad (16)$$

где  $q_c$  – вес модели сваи, кН.

Учитывая формулы (2)-(16) уравнение (1) можно представить в виде:

$$\begin{aligned} QH &= k_m QH + \mu_c H Q \sin \alpha + k_\theta \sqrt{0,5gH^3} + k_m Q S_c + \mu_c S_c Q \sin \alpha + k_p F_{zp} S_c + \\ &+ q_c S_c - Q_{nc} S_c = QH(k_m + \mu_c \sin \alpha) + Q S_c (k_m + \mu_c \sin \alpha) + k_\theta \sqrt{0,5gH^3} + \\ &+ k_p F_{zp} S_c + q_c S_c - Q_{nc} S_c = [Q(k_m + \mu_c \sin \alpha) \times (H + S_c)] + \\ &+ k_\theta \sqrt{0,5gH^3} + k_p F_{zp} S_c + S_c q_c - Q_{nc} S_c. \end{aligned} \quad (17)$$

Решая данное уравнение можно получить следующую формулу по определению силы сопротивления грунта  $F_{zp}$  внедрению модели сваи при ударе:

$$F_{zp} = (1/k_p S_c) \times \{QH - [Q(k_m + \mu_c \sin \alpha) \times (H + S_c)] - k_\theta \sqrt{0,5gH^3} -$$

$$- q_c S_c + Q_{nc} S_c \}. \quad (18)$$

**Заключение.** Формула (18) позволяет рассчитывать силу динамического сопротивления грунта  $F_{cp}$  внедрению модели сваи при ударе ударником, сбрасываемым по направляющему стержню. При этом подъем, и сброс ударника реализуются за счет трения скольжения поверхностей ударника и направляющего стержня.

#### Список литературы

1. Исаков, Г.И. О методике экспериментальных исследований с применением моделей забивных свай разных форм и размеров [Текст] / Г.И. Исаков // Наука и современность – 2012: материалы респуб. науч.-практ. конф. магистрантов, докторантов и молодых преподавателей. – Тараз, 2011. – Т. 2. – С. 125-129.
2. Джанколи, Д. Физика [Текст] / Д. Джанколи. – М.: Мир, 1989. – 656 с.
3. Бекбасаров, И.И. Определение сил сопротивления движению трамбовки при вытрамбовывании котлованов под фундаменты [Текст] / И.И. Бекбасаров // Основания и фундаменты в геологических условиях Урала: сб. науч. тр. Пермского ГТУ. – Пермь, 2002. – С. 35-41.
4. Бекбасаров, И.И. О нетрадиционном подходе к определению сопротивления грунта погружению сваи при ударе молота [Текст] / И.И. Бекбасаров, Г.И. Исаков // Вестн. Жезказганского университета им. О.А. Байконурова. – Жезказган: Изд-во ЖУ им. О.А. Байконурова, 2009. – №1. – С. 49-54.

Материал поступил в редакцию 24.12.21.

**Г.И. Исаков<sup>1</sup>, М.Н. Байтемиров<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Жамбыл облысы әкімдігінің энергетика және ТҮКШ басқармасы,  
Тараз қ., Қазақстан

<sup>2</sup>«ҚазСҚҒЗИ» АҚ ОҚФ, Тараз қ., Қазақстан

#### ҚАҒУ КЕЗІНДЕ ҚАДА МОДЕЛІНІҢ ЕНУІНЕ ӘСЕР ЕТЕТІН ТОПЫРАҚ КЕДЕРГІСІН АНЫҚТАУ ТУРАЛЫ

**Аңдатпа.** Қада моделін құлату жүктемесі арқылы қағу кезінде оның батырылуына топырақ кедергісін анықтау мәселесінің теориялық шешімдерінің нәтижелері баяндалған. Бұл мәселе қағу барысында қаққыштың, қаданың және топырақтың өзара әрекеттесу үрдісінің энергетикалық теңдігінің негізінде шешілген. Бұл ретте келесі күш факторлары ескерілген, атап айтқанда бағыттағышқа соққыштың құрылымдық үйкеліс күші, модельге соққы жүктемесінің ортадан тыс әсері кезіндегі үйкеліс күші, қаққыштың қозғалысына ауаның кедергісі және модельдің енуіне топырақтың кедергісі. Қағу кезінде қада моделінің динамикалық қарсыласу күшін анықтауға мүмкіндік беретін формула ұсынылған.

**Тірек сөздер:** іргетас, қада, топырақ, топырақ кедергісі, қаққыш, бағыттаушы баған, қағу энергиясы, қада моделін қағу, қада моделінің жүк көтеру қабілеті.

**G.I. Isakov<sup>1</sup>, M.N. Baytemirov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Department of Energy and Housing and Communal Services  
of the Akimat of Zhambyl Region, Taraz, Kazakhstan

<sup>2</sup>South Kazakhstan branch of the JSC

"Kazaz Research Institute of Construction and Architecture", Taraz, Kazakhstan

**ON DETERMINING SOIL RESISTANCE IMMERSION OF MODEL PILES WHEN DRIVING**

**Abstract.** The results of the theoretical solution of the problem of determining the resistance of the soil to the impact immersion of the pile model under impacts by the falling load are presented. The problem is solved on the basis of the energy balance equation for the process of interaction of the striker, pile and soil with impact contact. In this case, the following force factors were taken into account, namely, the force of the structural friction of the striker against the guide, the friction force with an eccentric application of the shock load on the model, the force of air resistance to the movement of the striker, and the force of soil resistance to the penetration of the model. A formula has been proposed that allows one to determine the force of dynamic resistance of the pile model when driving it.

**Keywords:** foundation, pile, soil, soil resistance, striker, guide rod, impact energy, immersion of the pile model, bearing capacity of the pile model.

**References**

1. Isakov G.I. O metodike jeksperimental'nyh issledovanij s primeneniem modelej zabivnyh svaj raznyh form i razmerov [About the method of experimental research with the use of models of driven piles of different shapes and sizes] // Nauka i sovremennost' – 2012: materialy respub. nauch.-prakt. konf. magistrantov, doktorantov i molodyh prepodavatelej [Science and Modernity - 2012: materials of the repub. scientific-practical conf. undergraduates, doctoral students and young teachers]. - Taraz, 2011. - V. 2. - P. 125-129. [in Russian].
2. Giancoli D. Fizika [Physics]. - Moscow: Mir, 1989. - 656 p. [in Russian].
3. Bekbasarov I.I. Opredelenie sil soprotivlenija dvizheniju trambovki pri vytrambovyvanii kotlovanov pod fundamentej [Determination of the forces of resistance to the movement of the rammer when ramming the foundation pits under the foundations] // Osnovaniya i fundamentej v geologicheskikh usloviyah Urala: sb. nauch. tr. Permskogo GTU [Foundations and foundations in the geological conditions of the Urals: collection of articles. scientific. tr. Perm GTU]. - Perm, 2002. - P. 35-41. [in Russian].
4. Bekbasarov I.I., Isakov G.I. O netradicijnom podhode k opredeleniju soprotivlenija grunta pogruzeniju svai pri udare molota [On an unconventional approach to determining the resistance of the soil to the immersion of a pile upon a hammer blow] // Vestn. Zhezkazganskogo universiteta im. O.A. Bajkonurova [Bull. Zhezkazgan University named after O.A. Baikonurov]. - Zhezkazgan: Publishing house of ZhU im. O.A. Baikonurov, 2009. - No. 1. - P. 49-54. [in Russian].