

Вестник Череповецкого государственного университета. 2025. № 5 (128). С. 7–15.  
Cherepovets State University Bulletin, 2025, no. 5 (128), pp. 7–15.

Научная статья  
УДК 62-112.8  
<https://doi.org/10.23859/1994-0637-2025-5-128-1>  
<https://elibrary.ru/iqblpz>

## Оптимизация вместимости и геометрических параметров грейферов для подводной добычи нерудных материалов

**Евгений Иванович Адамов**

Волжский государственный университет водного транспорта,  
Нижний Новгород, Россия  
[Studvgu.sp@gmail.com](mailto:Studvgu.sp@gmail.com); <https://orcid.org/0000-0002-4975-9056>

**Аннотация.** В статье рассматриваются особенности определения вместимости и геометрических размеров челюстей грейферов, используемых при подводной добыче нерудных строительных материалов. На основе анализа работы различных типов грейферов установлены отклонения от расчетных параметров и причины их возникновения. Предложена методика расчета вместимости с учетом физических свойств грузов и среды, а также сформулированы рекомендации по оптимизации геометрии челюстей для повышения эффективности зачерпывания.

**Ключевые слова:** грейфер, строительные материалы, геометрический размер

**Для цитирования:** Адамов Е. И. Оптимизация вместимости и геометрических параметров грейферов для подводной добычи нерудных материалов // Вестник Череповецкого государственного университета. 2025. № 5 (128). С. 7–15. <https://doi.org/10.23859/1994-0637-2025-5-128-1>; EDN: IQBLPZ

## Scientific substantiation of the capacity and geometric parameters of grabs for underwater mining of non-metallic materials

**Evgeniy I. Adamov**

Volga State University of Water Transport,  
Nizhny Novgorod, Russia  
[Studvgu.sp@gmail.com](mailto:Studvgu.sp@gmail.com); <https://orcid.org/0000-0002-4975-9056>

**Abstract.** The paper presents an engineering approach to determining the capacity and geometric parameters of clamshell buckets used in underwater excavation of construction aggregates. It discusses the influence of hydrodynamic effects and material properties on bucket performance. The author proposes a calculation method based on the shape of the jaws and cargo behavior during lifting. Comparative analysis with field tests confirms the validity of the suggested models for optimizing the design of new dredging buckets.

**Keywords:** grab, building materials, geometric size

---

© Адамов Е. И., 2025

**For citation:** Adamov E. I. Scientific substantiation of the capacity and geometric parameters of grabs for underwater mining of non-metallic materials. *Cherepovets State University Bulletin*, 2025, no. 5 (128), pp. 7–15. (In Russ.) <https://doi.org/10.23859/1994-0637-2025-5-128-1>; EDN: IQBLPZ

## Введение

Подводная добыча нерудных строительных материалов, таких как песок и песчано-гравийная смесь, представляет собой важное направление в обеспечении сырьем строительной отрасли. Наиболее распространенным техническим средством для проведения подводных работ являются канатные грейферы различного типа. Однако практика показывает, что фактическая вместимость данных приспособлений зачастую значительно отличается от проектной, что снижает эффективность использования подъемного оборудования и требует дополнительных энергетических и временных затрат.

Одной из ключевых причин этого несоответствия являются сложные физико-механические процессы, происходящие при зачерпывании сыпучих грузов под водой, включая влияние среды, фильтрацию, смыв и изменение формы груза. В этой связи возникает необходимость в более точном инженерном обосновании параметров грейферов, позволяющем повысить коэффициент использования грузоподъемности кранов и обеспечить стабильную производительность в условиях подводных работ.

Настоящая работа представляет собой разработку методики расчета вместимости грейфера и определение рациональных геометрических размеров его челюстей с учетом специфики подводного зачерпывания. Предложенные подходы основаны на анализе натурных данных и моделировании формы загружаемого материала, что позволяет сформулировать рекомендации для проектирования эффективных грейферов нового поколения.

## Основная часть

На сегодняшний день при подводной добыче нерудных строительных материалов (песка, песчано-гравийной смеси) плавучими кранами используются канатные грейферы общего (двухчелюстные) и специального (трехчелюстные, клещевые) назначения. Масса грейфера принимается равной 0,43 грузоподъемности крана, а вместимость определяется объемами двух условных геометрических тел – нижнего, охватываемого днищем и стенками челюстей, и верхнего, представляющего равнобедренную призму с гранями, наклоненными под углом 30–35 градусов<sup>1</sup>. Значения угла наклона соответствуют в основном углам естественного откоса для большинства сыпучих грузов в открытом штабеле.

Однако зачерпывание груза под водой имеет существенное отличие от зачерпывания из открытого штабеля. В данном случае прежде всего следует отметить иные физико-механические свойства груза, зависящие от особенностей и характеристики месторождения (плотность, пористость, коэффициенты внутреннего трения матери-

<sup>1</sup> Ануриев В. И. Справочник конструктора-машиностроителя: в 3 т. Т. 1. Москва: Машиностроение, 2006. 928 с.

ала и внешнего, по челюсти грейфера, сопротивления удельного внедрения и сдвига и т. д.). Необходимо также учитывать и влияние среды (воды) на формирование верхней призмы («шапки») груза в грейфере: частичный или полный смыв «шапки» при подъеме и выходе из воды, вытекание свободной гравитационной воды из груза, усадка и окончательное образование формы «шапки». В результате выталкивающей силы собственный вес грейфера уменьшается на 13 %.

Проведенные исследования работы кранов грузоподъемностью 5, 15 и 16 т на зачерпывании нерудных строительных материалов на р. Волге и Каме показали, что фактическая вместимость грейферов на 20–30 % меньше паспортной (запроектированной), а коэффициент использования грузоподъемности кранов не превышает 70–80 %. При этом двухчелюстные грейферы пр. 2583А, 3319, 2587А не догружались в среднем на 25–32 %, груз имел форму «шапки» в виде размытой призмы с частично вогнутыми (вследствие фильтрации) образующими сторонами, с углами при нижнем основании 10 градусов для грейфера 2583А и 10–20 градусов для грейферов 3319, 2587А. Трехчелюстной грейфер пр. 1600А к крану грузоподъемностью 15 т, используемый на добыче песчано-гравийной смеси, был не догружен на 20–30 % и имел «шапку», близкую по форме к усеченному конусу с углом при нижнем основании 20 градусов. Собственная масса грейфера составляла 6400 кг (0,427 грузоподъемности крана Q), а средняя масса груза (песчано-гравийной смеси) в грейфере – 6200 кг.

Для увеличения зачерпывающей способности грейфера (массы груза) пр. 1600А его утяжеляли. Однако это не всегда было оправдано, особенно при зачерпывании разжиженных или более легких слоев песчано-гравийной смеси, так как верхняя часть груза каждый раз смывалась. По этой причине при существующих геометрических размерах челюстей данного грейфера увеличение его массы целесообразно только при работе в уплотненных слоях. Причем масса грейфера не должна превышать величины 0,55 и более от грузоподъемности крана во избежание его перегрузки.

Результаты проведенных исследований позволяют сделать заключение о необходимости обоснованного выбора ключевых параметров (массы, вместимости) и геометрических размеров челюстей вновь проектируемых грейферов для подводной добычи нерудных строительных материалов.

В данной работе обоснование вместимости и расчет геометрических размеров челюстей указанных грейферов предлагается проводить в следующем порядке.

Первоначально выбирается тип грейфера и форма днища в зависимости от особенностей месторождений и рода груза. Проведенные исследования установили, что оптимальная форма днищ челюстей на подводной добыче грузов – закругленная (в продольном направлении челюсти) для двухчелюстного грейфера и сферическая для клещевого и трехчелюстного. Такие формы по сравнению с плоскими формами днищ обеспечивают наибольшее заполнение и значительно снижают величину прироста грейфера в момент отрыва<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Адамов Е. И. Совершенствование методов определения и снижения потерь от пылеобразования при перегрузке сыпучих грузов грейферными кранами и перегружателями: дис. ...

Затем в первом приближении назначается масса грейфера ( $G$ ) из расчета

$$G = (0,43 \div 0,5) \cdot Q,$$

где  $(0,43 \div 0,5)$  – коэффициент, учитывающий род груза и его механические свойства.

Определяется номинальная масса груза в грейфере после выхода из воды ( $Q_o$ ):

$$Q_o = Q - G \quad (1)$$

$$\text{или } Q_o = V \cdot \gamma_{об} \cdot (1 - k_{см}) \cdot (1 - k_{ср}), \quad (2)$$

где  $V$  – вместимость грейфера,  $m^3$ ;  $\gamma_{об}$  – объемная масса груза после выхода грейфера из воды,  $t/m^3$ ; для песка и песчано-гравийной смеси –  $2,0 t/m^3$ , для гравия –  $1,8 \div 2,0 t/m^3$ ;  $k_{см}$  – коэффициент смыва, учитывающий скорость подъема и тип грейфера; при скорости подъема  $V_{п} = \frac{1M}{c}$  для двухчелюстного грейфера  $k_{см} = 0,2$  (песок, песчано-гравийная смесь), для трехчелюстного –  $k_{см} = 0,1 \div 0,15$  (песчано-гравийная смесь, песок), для клещевого –  $k_{см} = 0,16 \div 0,2$ ;  $k_{ср}$  – коэффициент фильтрации, зависящий от конструкции челюсти, степени ее перфорации и рода груза: в первом приближении  $k_{ср} = 0,05$  (песок),  $k_{ср} = 0,1 \div 0,12$  (гравий).

Используя формулы (1), (2), представим вместимость грейферов в следующем виде:

$$V = \frac{Q - G}{\gamma_{об} \cdot (1 - k_{см}) \cdot (1 - k_{ср})}. \quad (3)$$

Полученное значение  $V$  уточняется до ближайшего значения (из ряда предпочтительных чисел<sup>1</sup> с коэффициентом геометрической прогрессии 1,06).

Далее вместимость грейфера выражается через объемы двух тел груза – нижнего (донная часть)  $V_1$  и верхнего  $V_2$  (см. рис. 1, 2, 3):

$$V = V_1 + V_2. \quad (4)$$

канд. техн. наук. Нижний Новгород: Волжский государственный университет водного транспорта, 2010. 122 с.

<sup>1</sup> ГОСТ 8032–84. Предпочтительные числа и ряды предпочтительных чисел. Москва: Издательство стандартов, 1984. 8 с.

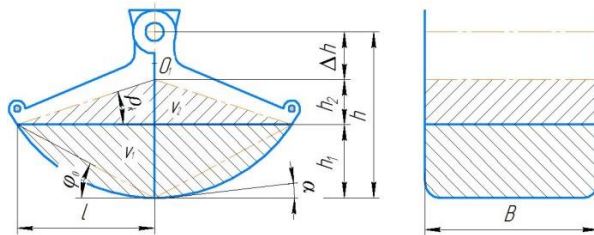


Рис. 1. Расчетная схема к определению вместимости и основных размеров челюсти двухчелюстного грейфера

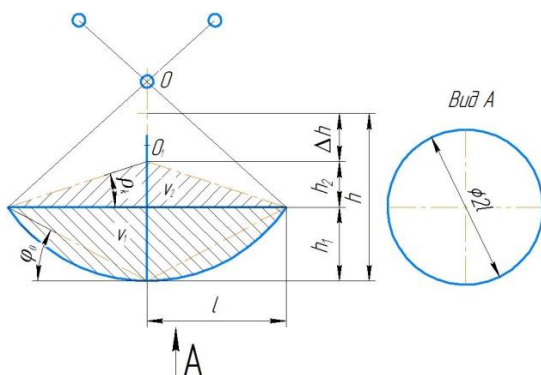


Рис. 2. Расчетная схема к определению вместимости и основных размеров челюсти клещевого грейфера со сферическим дном



Рис. 3. Расчетная схема к определению вместимости и основных размеров челюсти трехчелюстного грейфера

Затем определяются геометрические размеры челюстей.

Для двухчелюстного грейфера с закругленной формой дна<sup>1</sup> (см. рис. 1) объем нижнего тела (части цилиндра) груза ( $m^3$ ) равен

<sup>1</sup> ГОСТ 24599–87. Грейферы канатные для навалочных грузов. Общие технические условия. Москва: Госстандарт, 1987. 12 с.

$$V_1 = \frac{B \cdot l^2}{4 \operatorname{tg} \varphi_0} \cdot (3 \operatorname{tg}^2 \varphi_0 - 1), \quad (5)$$

а объем верхнего тела (призмы) груза ( $\text{м}^3$ ) –

$$V_2 = B \cdot l^2 \cdot \operatorname{tg} \rho_k. \quad (6)$$

В формулах (5), (6)  $\varphi_0$  – угол трения материала по днищу челюстей грейфера (для мелкого песка  $\varphi_0 = 34 \div 36$ , для песчано-гравийной смеси  $\varphi_0 = 30 \div 32^\circ$ , для гравия  $\varphi_0 = 37 \div 39^\circ$ );  $\rho_k$  – угол естественного откоса груза в грейфере после зачерпывания (для песка  $\rho_k = 10 \div 20^\circ$ , для песчано-гравийной смеси  $\rho_k = 10 \div 25^\circ$ , для гравия  $\rho_k = 20 \div 30^\circ$ );  $l$  – длина челюсти, м;  $B$  – ширина днища челюсти (м);

$$B = \sqrt[3]{f \cdot V},$$

где  $f$  – коэффициент, характеризующий состояние материала<sup>1</sup>; для мелкого сыпучего сильно уплотненного материала  $f = 1,6$ .

В дальнейшем величина  $B$  будет уточняться с учетом удельного давления на режущей кромке при постановке грейфера на грунт<sup>2</sup>.

Подставив значения  $V_1$  и  $V_2$  в формулу (4), получим длину челюсти (м):

$$l = \sqrt{\frac{4V \operatorname{tg} \varphi_0}{B [\operatorname{tg} \varphi_0 (3 \operatorname{tg} \varphi_0 + 4 \operatorname{tg} \rho_k) - 1]}}.$$

Геометрические размеры  $h_1$ ,  $h_2$ ,  $r_{\text{д}}$ ,  $h$  (см. рис. 1) определяются из следующих соотношений:

$$\begin{aligned} h_1 &= l \operatorname{tg} \varphi_0, \\ h_2 &= l \operatorname{tg} \rho_k, \\ r_{\text{д}} &= \frac{l}{\sin 2\varphi_0}, \\ h &= h_1 + h_2 + \Delta h, \end{aligned}$$

<sup>1</sup> Техническое обслуживание и ремонт грузозахватных устройств-грейферов // Строй-Техника. 2020. URL: <https://stroy-technics.ru/article/tekhnicheskoe-obslyuzhivanie-i-remont-gruzozakhvatnykh-ustroystv-greiferov> (дата обращения: 10.04.2025).

<sup>2</sup> Анцев В. Ю. и др. Разработка алгоритма оптимизации параметров двухчелюстного канатного грейфера // Известия Тульского гуманитарного университета. Науки о Земле. 2021. № 2. С. 56–65.

где  $h_1$  – высота нижнего тела груза, м;  $h_2$  – высота верхнего тела груза, м;  $r_d$  – радиус закругления днища челюсти, м;  $\Delta h$  – величина, учитывающая размещение коробки нижней траверсы, м;  $\Delta h = 0,2 \div 0,5$  м.

Для клещевого грейфера со сферическим днищем сначала из равенства вместимости грейфера и объемов  $V_1$  и  $V_2$  определяется радиус челюсти  $l$  (см. рис. 2).

$V_1$  – объем шарового сегмента ( $\text{м}^3$ );

$$V_1 = \frac{1}{6} \pi l^3 \operatorname{tg} \varphi_0 (3 + \operatorname{tg}^2 \varphi_0);$$

$V_2$  – объем конуса («шапки») ( $\text{м}^3$ ):

$$V_2 = \frac{1}{3} \pi l^3 \operatorname{tg} \rho_k.$$

Подставляя значения  $V_1$  и  $V_2$  в формулу (4), можно найти  $l$

$$l = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot V}{\pi [\operatorname{tg} \varphi_0 (3 + \operatorname{tg}^2 \varphi_0) + 2 \operatorname{tg} \rho_k]}}.$$

Затем аналогично расчету двухчелюстного грейфера определяются геометрические параметры челюсти  $h_1$ ,  $h_2$ ,  $r_d$ ,  $h$ , приведенные на рис. 2. Здесь  $r_d$  – радиус сферы днища, м;  $h$  – расстояние по высоте от нижней точки челюсти до главного шарнира, м;  $\Delta h$  – расстояние от вершины груза в грейфере до главного шарнира челюстей;  $\Delta h = 0,3 \div 0,5$  м.

Для трехчелюстного грейфера со сферическим днищем из равенства вместимости грейфера и объемов двух сегментов  $V_1$  и  $V_2$  находится радиус  $l$  (см. рис. 3):

$$V_1 = \frac{1}{6} \pi l^3 \operatorname{tg} \varphi_0 (3 + \operatorname{tg}^2 \varphi_0);$$

$$V_2 = \frac{1}{6} \pi l^3 \operatorname{tg} \rho_k (3 + \operatorname{tg}^2 \rho_k);$$

$$l = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot V}{\pi [\operatorname{tg} \varphi_0 (3 + \operatorname{tg}^2 \varphi_0) + \operatorname{tg} \rho_k (3 + \operatorname{tg}^2 \rho_k)]}}.$$

Геометрические размеры  $h_1$ ,  $h_2$ ,  $r_d$ ,  $h$ , представленные на рис. 3, определяются аналогично предыдущим расчетам. Однако радиус  $r_{ш}$  «шапки» груза в грейфере устанавливается из расчета угла естественного откоса материала после зачерпывания по формуле

$$r_{ш} = \frac{l}{\sin 2\rho_k}.$$

Для проверки предложенного алгоритма определения вместимости грейферов на базе геометрических размеров существующих грейферов пр. 2587А и 1600А выполнен расчет и сделано сравнение с фактической вместимостью, полученной в результате проведенных натурных испытаний.

### Выводы

Установлено, что фактическая вместимость грейферов при подводной добыче нерудных строительных материалов может быть на 20–30 % ниже проектной вследствие воздействия водной среды, фильтрации и смыва верхней части груза при подъеме.

Установлено, что геометрические параметры челюстей грейфера, в частности, форма днища существенно влияют на полноту загрузки. Оптимальными признаны закругленная форма днища для двухчелюстных грейферов и сферическая – для клещевых и трехчелюстных.

Разработана методика расчета вместимости грейфера учитывающая тип груза, коэффициенты смыва, а также форму и объем верхней и нижней частей груза.

Предложенные расчетные зависимости и алгоритм определения геометрических размеров челюстей грейфера позволяют обосновать их параметры на стадии проектирования и повысить эффективность подводной добычи.

Сравнение расчетных данных с результатами натурных испытаний подтвердило достоверность предложенной методики: в отношении грейфера пр. 2587А выявлено, что расхождение с фактической вместимостью составило 12 %, а грейфера пр. 1600А – 1 %.

Следовательно, с целью повышения зачерпывающей способности вновь проектируемых грейферов необходимо увеличить геометрические размеры (емкость) донной части челюстей, учитывая при этом физико-механические свойства грузов под водой, конструкцию челюстей и процессы, происходящие при зачерпывании и подъеме.

### Список литературы / References

Адамов Е. И. *Совершенствование методов определения и снижения потерь от пылеобразования при перегрузке сыпучих грузов грейферными кранами и перегрузателями: дис. ... канд. техн. наук.* Нижний Новгород: Волжский государственный университет водного транспорта, 2010. 122 с.

Adamov E. I. *Improving the methods for determining and reducing losses from dust formation during handling of bulk cargo with grab cranes and loaders: Cand. Thesis in Technical Sciences.* Nizhny Novgorod: Volzhskii gosudarstvennyi universitet vodnogo transporta, 2010. 122 p. (In Russ.)

Анурьев В. И. *Справочник конструктора-машиностроителя: в 3 т.* Т. 1. Москва: Машиностроение, 2006. 928 с.

Anur'ev V. I. *Handbook of machine designer, in 3 vols., vol. 1.* Moscow: Mashinostroenie, 2006. 928 p. (In Russ.)

Анцев В. Ю. и др. Разработка алгоритма оптимизации параметров двухчелюстного канатного грейфера. *Известия Тульского гуманитарного университета. Науки о Земле*, 2021, № 2, с. 56–65.

Antsev V. Iu. et al. Development of an algorithm for optimizing the parameters of a two-jaw rope grab. *Proceedings of Tula State University. Sciences of Earth*, 2021, no. 2, pp. 56–65. (In Russ.)

ГОСТ 24599–87. *Грейферы канатные для навалочных грузов. Общие технические условия.* Москва: Госстандарт, 1987. 12 с.

GOST 24599–87. *Rope grabs for bulk cargo. General specifications.* Moscow: Gosstandart, 1987. 12 p. (In Russ.)

ГОСТ 8032–84. *Предпочтительные числа и ряды предпочтительных чисел.* Москва: Издательство стандартов, 1984. 8 с.

GOST 8032–84. *Preferred numbers and series of preferred numbers.* Moscow: Izdatel'stvo standartov, 1984. 8 p. (In Russ.)

Техническое обслуживание и ремонт грузозахватных устройств-грейферов. *Строй-Техника*, 2020. URL: <https://stroy-technics.ru/article/tekhnicheskoe-obsluzhivanie-i-remont-gruzozakhvatnykh-ustroystv-greiferov> (дата обращения: 10.04.2025).

Maintenance and repair of grabbing devices. *Stroy-Tekhnika*, 2020. URL: <https://stroy-technics.ru/article/tekhnicheskoe-obsluzhivanie-i-remont-gruzozakhvatnykh-ustroystv-greiferov> (accessed: 25.12.2023). (In Russ.)

### Сведения об авторах

**Евгений Иванович Адамов** – кандидат технических наук, доцент; <https://orcid.org/0000-0002-4975-9056>, [Studvgu.sp@gmail.com](mailto:Studvgu.sp@gmail.com), Волжский государственный университет водного транспорта (д.5, ул. Нестерова, 603950 г. Нижний Новгород, Россия); **Evgeniy I. Adamov** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; <https://orcid.org/0000-0002-4975-9056>, [studvgu.sp@gmail.com](mailto:studvgu.sp@gmail.com), Volga State University of Water Transport (5, Nesterov ul., 603950 Nizhny Novgorod, Russia).

Статья поступила в редакцию 16.05.2025; одобрена после рецензирования 17.09.2025; принята к публикации 01.10.2025.

The article was submitted 16.05.2025; Approved after reviewing 17.09.2025; Accepted for publication 01.10.2025.