



## Сравнительный анализ результатов определения несущей способности забивной висячей сваи

© П.С. Латышев, Т.Л. Дмитриева

Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия

**Резюме:** Цель работы – верификация методики определения несущей способности висячей сваи, которая является составной частью фундамента, возведенного на реальной площадке строительства, где были проведены инженерно-геологические изыскания. Исследованы результаты автоматизированных расчетов несущей способности сваи, выполненных в двух программных комплексах (ПК): а) программе «ЗАПРОС» (версия 21.1.9.7), входящей в состав программного комплекса SCAD Office; б) с использованием подсистемы «Статика», являющейся составной частью комплексной системы проектирования Ing+. Далее выполнен аналитический расчет по СП 24.13330.2012 «Свайные фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85», где несущая способность висячей забивной сваи определялась как сумма расчетных сопротивлений грунта основания под нижним концом сваи и грунта на ее боковой поверхности. Выполнен сравнительный анализ результатов определения несущей способности забивной висячей сваи. При сравнении данных, представленных в расчетах, было установлено, что значение, полученное в ПК «Статика», а именно модуле «Статика грунт – Железобетонная свая», ниже результата, полученного ручным аналитическим расчетом по СП (разброс составляет –2,19%). В то же время результат, выданный программой «ЗАПРОС», имеет погрешность относительно нормативного значения 13,55% в сторону завышения. Таким образом, проведенное исследование выявило несогласованность результатов, полученных с применением нормативных требований, и результатов автоматизированного расчета. Можно заключить, что использование программных комплексов не гарантирует полностью достоверный результат, не снимает ответственность с проектировщика и требует дополнительных верификационных проверок.

**Ключевые слова:** свайные фундаменты, несущая способность свай, забивная висячая свая, SCAD Office, Ing+.

**Для цитирования:** Латышев П.С., Дмитриева Т.Л. Сравнительный анализ результатов определения несущей способности забивной висячей сваи. *Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость*. 2021. Т. 11. № 1. С. 48–59. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-1-48-59>

## Comparative analysis of the determination of the load capacity of a driven hanging pile

Pavel S. Latyshev, Tatyana L. Dmitrieva

Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

**Abstract:** This article is aimed at verifying a methodology for defining the load capacity of a driven hanging pile, which is part of a foundation laid on a real construction site after conducting engineering and geological surveys. The results of an automated analysis of the pile load capacity implemented in 2 software complexes (SC) – a) "Zapros" software (version 21.1.9.7), which is a part of SCAD Office software and b) with a subsystem "Statika" – a part of the complex planning system Ing+ were compared. Further, we performed a calculation analysis according to the SP 24.13330.2012 "Pile Foundations. The updated Version of SNiP 2.02.03-85", where the load capacity of a driven hanging pile is calculated as a sum of the resistivity of the foundation ground under the low part of the pile and the ground on its side surface. A comparative analysis of the obtained results established that the value calculated in SC Statika, namely in module Statika ground –concrete piles, is lower than that obtained by manual analysis according to SP (the spread is 2.19%). At the same time, the result obtained with the Zapros software produces an error higher than the normative value by 13.55%. Thus, the study has shown inconsistency in the results obtained using normative requirements and automated analysis. It can be

concluded that the use of software complexes does not guarantee an entirely reliable result, thus not abrogating the responsibility of the planner and requiring additional verification.

**Keywords:** load-bearing capacity of the driven hanging pile, SCAD Office, Ing+.

**For citation:** Latyshev PS, Dmitrieva TL. Comparative analysis of the determination of the load capacity of a driven hanging pile. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate.* 2021;11(1):48–59. (In Russ.) <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-1-48-59>

## Введение

Одной из серьезных проблем, возникающих при проектировании зданий и сооружений, является проблема расхождения результатов автоматизированного расчета и расчета, выполненного по нормативной документации. В полной мере это касается расчета свайных фундаментов, которые находят широкое применение в современной строительной практике. Методика расчета несущей способности свай, используемых в различных инженерно-геологических условиях, подробно описывается в справочной, научной и нормативной отечественной литературе<sup>1</sup> [1–3]. Достаточно актуальной задачей является верификация результатов, полученных как по различным методикам расчета [4–6], так и при помощи программных комплексов. Зарубежные исследования в этой области также вызывают научный и практический интерес [7–13].

### 1. Определение несущей способности свайной сваи согласно нормативному подходу

Для определения несущей способности свайной сваи была выбрана реальная площадка строительства. В 2019 году на данной площадке были проведены инженерно-геологические изыскания и составлен отчет. Из отчета была выбрана скважина С-11 (рис. 1). Была назначена следующая конструкция фундамента: низ бетонной подготовки ростверка принят на отметке +466.17, сопряжение сваи с ростверком жесткое, ростверк высотой 800 мм, бетонная подготовка

толщиной 80 мм. Для расчета принята 16-метровая свая размером 350 x 350 мм с отметкой острия +451.05. Отметка природного рельефа составляет 470.80 м, что на 4,63 м выше уровня срезки.

Согласно п. 7.2.2 СП 24.13330.2012 «Свайные фундаменты» для определения несущей способности забивной свайной сваи используется формула:

$$F_d = \gamma_c (\gamma_{R,R} R \cdot A + u \sum \gamma_{R,f} f_i h_i). \quad (1)$$

Для ее практического применения необходимы следующие исходные данные:  $l_L$  (показатель текучести для глинистых грунтов), вид песка средней плотности, а также толщина слоев<sup>2</sup> (рис. 1). Данные занесены в табл. 1.

В формулу (1) входят следующие параметры:

$\gamma_c$  – коэффициент условий работы сваи в грунте, принимаемый равным 1;

$R$  – расчетное сопротивление грунта под нижним концом сваи (кПа), принимаемое по таблице 7.2<sup>3</sup>;

$A$  – площадь опирания на грунт сваи, принимаемая по площади поперечного сечения сваи брутто (м<sup>2</sup>);

$u$  – наружный периметр поперечного сечения ствола сваи (м);

$f_i$  – расчетное сопротивление  $i$ -го слоя грунта основания на боковой поверхности сваи (кПа), принимаемое по таблице 7.3<sup>4</sup>, результат вычисления представлен в табл. 1, с учетом требования примечания 2 к таблице 7.3<sup>5</sup> (пласты грунтов следует рас-

<sup>1</sup> СП 24.13330.2012. Свайные фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85: введ. 20.05.2011; Кравченко В.С., Криксунов Э.З., Перельмутер М.А., Скорук Л.Н. ЗАПРОС. Расчет оснований и фундаментов. Руководство пользователя. Версия 1.1. SCAD Soft, 2006. 33 с.;

<sup>2</sup> Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения / под общей ред. В.А. Ильичева и Р.А. Мангушева. М.: Изд-во «АСВ», 2014. 728 с.;

Далматов Б.И. Механика грунтов, основания и фундаменты. Л.: Стройиздат, Ленингр. Отд-ние, 1988. 415 с.;

Берлимов М.В., Ягунов Б.А. Примеры расчета оснований и фундаментов: учеб. для техникумов. М.: Стройиздат, 1986. 173 с.;

Мангушев Р.А., Ершов А.В., Осокин А.И. Современные свайные технологии: учеб. пособие. 2-е изд., перераб. и доп. М.: АСВ, 2010. 240 с.

<sup>3</sup> ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация: введ. 01.01.2013.

<sup>4</sup> СП 24.13330.2012. Свайные фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85: введ. 20.05.2011.

<sup>5</sup> Там же.

членять на однородные слои толщиной не более 2 м);

$h_i$  – толщина  $i$ -го слоя грунта (мощность слоя), соприкасающегося с боковой поверхностью сваи, м (табл. 1);

$\gamma_{R,R}, \gamma_{R,f}$  – коэффициенты условий работы грунта соответственно под нижним концом и на боковой поверхности сваи, учитывающие влияние способа погружения сваи на расчетные сопротивления грунта и принимаемые по таблице 7.4<sup>6</sup> (1 и 1).

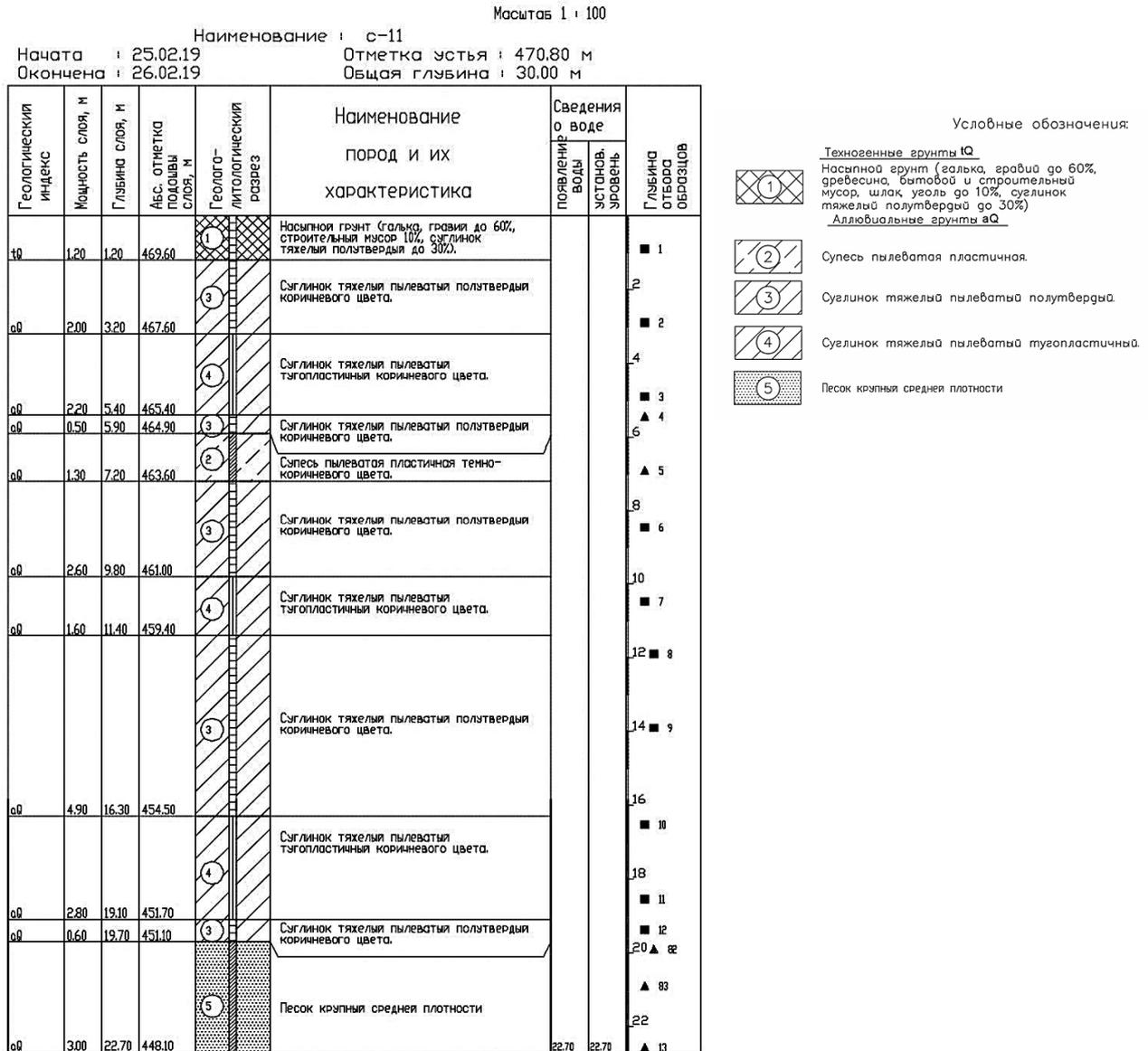


Рис. 1. Инженерно-геологическая колонка  
 Fig. 1. Geotechnical column

Найдем значения этих параметров для сваи прямоугольного сечения размером 350 x 350 мм:

$$u = 0,35 \cdot 4 = 1,4 \text{ м},$$

$$A = 0,35 \cdot 0,35 = 0,1225 \text{ м}^2.$$

Глубина погружения сваи в грунт с учетом сопряжения сваи с ростверком:

$$16 - 0,8 - 0,08 = 15,12 \text{ м}.$$

Так как отметка природного рельефа выше уровня срезки на 4,63 м, то, согласно СП 24.13330.2012 «Свайные фундаменты», глубину погружения нижнего конца сваи определяем от условной отметки, расположенной на 3 м выше уровня срезки:

$$3 + 15,12 = 18,12 \text{ м}.$$

<sup>5</sup> СП 24.13330.2012. Свайные фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85: введ. 20.05.2011

<sup>6</sup> Там же.

Расчетное сопротивление грунта под нижним концом найдем по таблице 7.2<sup>7</sup> че-

рез полученную глубину погружения путем интерполяции:  $R = 8387$  кПа.

Подставим эти значения в формулу (1):

$$F_d = \gamma_c (\gamma_{R,R} R \cdot A + u \sum \gamma_{R,f} f_i h_i) = 1 \cdot (1 \cdot 8387 \cdot 0,1225 + 1,4 \cdot 857,41) = 2227,78 \text{ кН}.$$

**Таблица 1.** Характеристики грунта, окружающего сваю  
**Table 1.** Characteristics of the soil surrounding the pile

| № | № инж.-геол.эл-та | Наименование пород и их характеристика                      | Мощность слоя ( $h_i$ ), м | Показатель текучести ( $I_L$ ) | Средняя глубина расположения слоя грунта, м                                    | Расчетное сопротивление на боковой поверхности сваи ( $f_i$ ), кПа |
|---|-------------------|---|----------------------------|--------------------------------|--|--|
| 1 | ИГЭ-4             | Суглинок тяжелый пылеватый тугопластичный коричневого цвета | 0,77                       | 0,34                           | $3 + 0,77 / 2 = 3,385$   | 32,0   |
| 2 | ИГЭ-3             | Суглинок тяжелый пылеватый полутвердый коричневого цвета    | 0,5                        | 0,02                           | $3,77 + 0,5 / 2 = 4,02$  | 53,06  |
| 3 | ИГЭ-2             | Супесь пылеватая пластичная темно-коричневого цвета         | 1,3                        | 0,17                           | $4,27 + 1,3 / 2 = 4,92$  | 55,76  |
| 4 | ИГЭ-3             | Суглинок тяжелый пылеватый полутвердый коричневого цвета    | 2,6                        | 0,02                           | $5,57 + 2 / 2 = 6,57$<br>$7,57 + 0,6 / 2 = 7,87$                               | 59,14<br>61,74   |
| 5 | ИГЭ-4             | Суглинок тяжелый пылеватый тугопластичный коричневого цвета | 1,6                        | 0,34                           | $8,17 + 1,6 / 2 = 8,97$  | 40,376   |
| 6 | ИГЭ-3             | Суглинок тяжелый пылеватый полутвердый коричневого цвета    | 4,9                        | 0,02                           | $9,77 + 2 / 2 = 10,77$<br>$11,77 + 2 / 2 = 12,77$<br>$13,77 + 0,9 / 2 = 14,22$ | 66,078<br>68,878<br>70,908   |
| 7 | ИГЭ-4             | Суглинок тяжелый пылеватый тугопластичный коричневого цвета | 2,8                        | 0,34                           | $14,67 + 2 / 2 = 15,67$<br>$16,67 + 0,8 / 2 = 17,07$                           | 46,3628<br>47,5388   |
| 8 | ИГЭ-3             | Суглинок тяжелый пылеватый полутвердый коричневого цвета    | 0,6                        | 0,02                           | $17,47 + 0,6 / 2 = 17,77$  | 75,878   |
| 9 | ИГЭ-5             | Песок крупный средней плотности                             | 3,0                        | –                              | $18,07 + 0,05 / 2 = 18,095$  | 76,333   |

## 2. Определение несущей способности висячей сваи с использованием ПК SCAD Office

Определим несущую способность забивной висячей сваи с использованием программы «ЗАПРОС» (версия 21.1.9.7), входящей в состав программного комплекса SCAD Office. Во вкладке «Общие данные» выбираем пункт «Забивные сваи всех видов». На вкладке «Конструкция» указываем

глубину погружения нижнего конца сваи  $H = 15,12$  м, глубину котлована  $h_k = 4,63$  м, высоту планировки 4,63 м, ставим галочку в поле «Планировка территории», точку возле «срезкой», сечение сваи составляет 350 мм x 350 мм (рис. 2). Вкладку «Грунты» заполняем в соответствии с инженерно-геологическими характеристиками грунта (рис. 3).

<sup>7</sup> СП 24.13330.2012. Свайные фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85: введ. 20.05.2011.

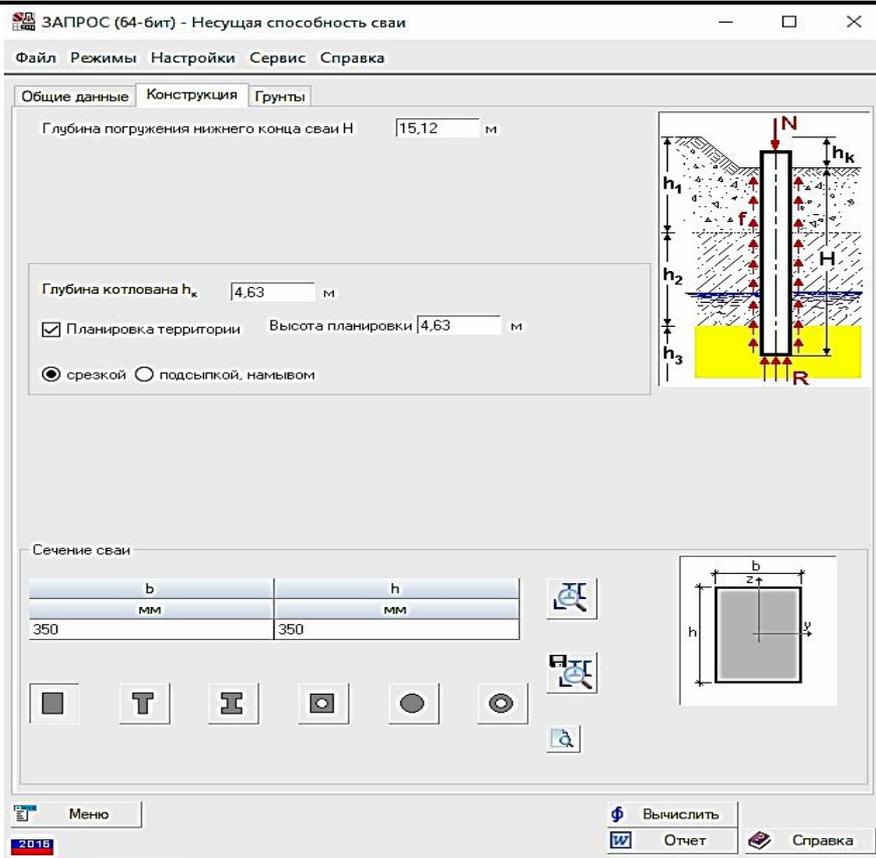


Рис. 2. Вкладка «Конструкция»  
Fig. 2. "Construction" tab

| Слой | Наименование | Толщина слоя | Тип грунта | Разновидность песка | Показатель текучести | Удельный вес | Угол внутреннего трения | Кэффициент условной работы грунта на боковой поверхности | Кэффициент пористости | Цвет |
|------|--------------|--------------|------------|---------------------|----------------------|--------------|-------------------------|--|-----------------------|------|
|      |              | м            |            |                     |                      |              |                         |  |                       |      |
| 1    | ИГЗ 4        | 0,77         | пылева     |                     | 0,34                 | 19,1         | 18                      | 1  |                       |      |
| 2    | ИГЗ 3        | 0,5          | пылева     |                     | 0,02                 | 19,2         | 23                      | 1  |                       |      |
| 3    | ИГЗ 2        | 1,3          | пылева     |                     | 0,17                 | 19,1         | 23                      | 1  |                       |      |
| 4    | ИГЗ 3        | 2,6          | пылева     |                     | 0,02                 | 19,2         | 23                      | 1  |                       |      |
| 5    | ИГЗ 4        | 1,6          | пылева     |                     | 0,34                 | 19,1         | 18                      | 1  |                       |      |
| 6    | ИГЗ 3        | 4,9          | пылева     |                     | 0,02                 | 19,2         | 23                      | 1  |                       |      |
| 7    | ИГЗ 4        | 2,8          | пылева     |                     | 0,34                 | 19,1         | 18                      | 1  |                       |      |
| 8    | ИГЗ 3        | 0,6          | пылева     |                     | 0,02                 | 19,2         | 23                      | 1  |                       |      |
| 9    | ИГЗ 5        | 3            | песчань    | крупный             |                      | 19,7         | 17                      | 1  | 0,58                  |      |

Рис. 3. Вкладка «Грунты»  
Fig. 3. "Soil" tab

После выполнения расчета было получено значение несущей способности сваи  $F_d = 2529,786$  кН (рис. 4), что на 13,56% выше определенного вручную по

СП 24.13330.2012 «Свайные фундаменты», а также представлен график зависимости несущей способности сваи от глубины погружения.

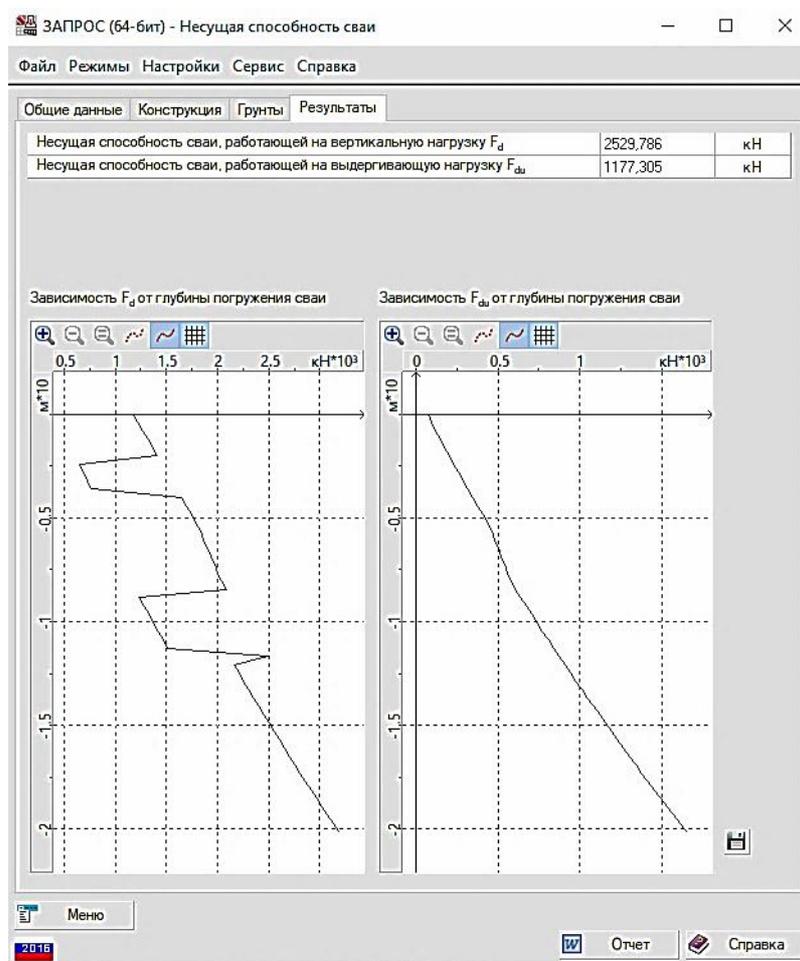


Рис. 4. Результат расчета программы «ЗАПРОС»  
 Fig. 4. The result of calculating the program «REQUEST»

### 3. Определение несущей способности висячей сваи с использованием ПК *Ing+*

Определим несущую способность забивной висячей сваи с использованием подсистемы «Статика» комплексной системы проектирования *Ing+*. Для запуска модуля необходимо запустить *Projekt Manager 2017* и, выбрав в подсистеме «Статика» вкладку «Основания и фундаменты», щелкнуть по иконке «Свайные фундаменты» и в раскрывающемся списке выбрать «Т510.ru – Подбор сваи».

Далее заполняются вкладки. Во вкладке «СНиП» выбираем «Вид расчета – Проверка: несущей способности сваи». Во вкладке «Свая» указываем характеристики сваи (тип, вид, вид сечения, ширина сечения, длина сваи, сопряжение сваи с ростверком, способ погружения и глубину заложения ростверка от поверхности рельефа (4,63 м)). Во вкладке «Грунт» вводятся характеристики слоев грунта. Интересной особенностью подсистемы является присвоение наименования грунта в соответствии с ГОСТ в автоматиче-

ском режиме по занесенным физико-механическим характеристикам грунта.

Для выполнения расчета необходимо задать: геометрические размеры сваи и материал, армирование, характеристики грунта, а также нагрузку на сваю.

По окончании расчета формируется отчет (рис. 5–7).

Полученное в отчете значение сопротивления грунта под концом сваи  $R = 8,39$  МПа равно полученному ручным способом  $R = 8,387$  МПа.

Несущая способность под нижним концом сваи  $F_{dn} = 1027$  кН, что соответствует значению  $F_{dn} = 1 \cdot (1 \cdot 8387 \cdot 0,1225) = 1027,408$  кН, которое определено вручную.

Значение несущей способности по боковой поверхности получено  $F_{df} = 1151$  кН, что меньше на 4,11% ее величины, полученной ручным способом:

$$F_{df} = 1,4 \cdot 857,41 = 1200,374 \text{ кН.}$$

Значение  $F_d = 2179$  кН на 2,19% меньше результатов расчета по формуле (1), где  $F_d = 2227,78$  кН.

|      |                     |                                      |   |         |
|------|---------------------|--------------------------------------|---|---------|
| Свая | Вид сваи            | висячая забивная железобетонная свая |   |         |
|      | Ширина сечения сваи | d                                    | = | 35 см   |
|      | Длина сваи          | l                                    | = | 15.12 м |



Свая погружается молотом

Принимается жесткое сопряжение сваи с ростверком

|  |       |   |      |   |
|--|-------|---|------|---|
| Глубина заложения ростверка от поверхности рельефа | $d_n$ | = | 4.63 | м |
| от уровня планировки                               | $d_0$ | = | 0.00 | м |

**Грунт**

| Слой | Название слоя | h [м] | Вид грунта                      |
|------|---------------|-------|---------------------------------|
| 1    | ИГЭ-4         | 0.77  | Суглинок тугопластичный         |
| 2    | ИГЭ-3         | 0.50  | Суглинок полутвердый            |
| 3    | ИГЭ-2         | 1.30  | Супесь пластичная               |
| 4    | ИГЭ-3         | 2.60  | Суглинок полутвердый            |
| 5    | ИГЭ-4         | 1.60  | Суглинок тугопластичный         |
| 6    | ИГЭ-3         | 4.90  | Суглинок полутвердый            |
| 7    | ИГЭ-4         | 2.80  | Суглинок тугопластичный         |
| 8    | ИГЭ-3         | 0.60  | Суглинок полутвердый            |
| 9    | ИГЭ-5         | 3.00  | Песок крупный средней плотности |

|  |               |   |      |                   |
|--|---------------|---|------|-------------------|
| Удельный вес грунта выше уровня подошвы ростверка нормативное значение | $\gamma_{0n}$ | = | 19.1 | кН/м <sup>3</sup> |
| расчетное значение   | $\gamma_0$    | = | 21.0 | кН/м <sup>3</sup> |

**Удельный вес грунта**

| Слой | W [%] | e [-] | S <sub>r</sub> [-] | $\gamma_s$ [кН/м <sup>3</sup> ] | $\gamma$ [кН/м <sup>3</sup> ] |
|------|-------|-------|--------------------|---------------------------------|-------------------------------|
| 1    | 22.7  | 0.71  | 0.85               | 26.6                            | 19.1                          |
| 2    | 17.5  | 0.63  | 0.74               | 26.6                            | 19.2                          |
| 3    | 17.9  | 0.64  | 0.75               | 26.5                            | 19.1                          |
| 4    | 17.5  | 0.63  | 0.74               | 26.6                            | 19.2                          |
| 5    | 22.7  | 0.71  | 0.85               | 26.6                            | 19.1                          |
| 6    | 17.5  | 0.63  | 0.74               | 26.6                            | 19.2                          |
| 7    | 22.7  | 0.71  | 0.85               | 26.6                            | 19.1                          |
| 8    | 17.5  | 0.63  | 0.74               | 26.6                            | 19.2                          |
| 9    | 19.3  | 0.60  | 0.85               | 26.5                            | 19.7                          |

**Консистенция глинистого грунта**

| Слой | W <sub>p</sub> [%] | W <sub>L</sub> [%] | I <sub>p</sub> [%] | I <sub>L</sub> [-] |
|------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 1    | 18.3               | 31.3               | 13.0               | 0.34               |
| 2    | 17.2               | 30.2               | 13.0               | 0.02               |
| 3    | 17.2               | 21.2               | 4.0                | 0.17               |
| 4    | 17.2               | 30.2               | 13.0               | 0.02               |
| 5    | 18.3               | 31.3               | 13.0               | 0.34               |
| 6    | 17.2               | 30.2               | 13.0               | 0.02               |
| 7    | 18.3               | 31.3               | 13.0               | 0.34               |
| ^    | ^ ^                | ^ ^                | ^ ^                | ^ ^                |

Рис. 5. Фрагмент отчета ПК «Статика», модуль «Статика грунт – Железобетонная свая (510)».

Часть 1 (начало)

Fig. 5. Fragment of the report of the PC "Static", namely the module "Ground statics – Reinforced concrete pile (510)". Part 1 (beginning)

| Кoeff. надежности | Слой | $\gamma_{\text{г}}(\sigma)$ | $\gamma_{\text{г}}(\varphi)$ | $\gamma_{\text{г}}(\gamma)$ |
|-------------------|------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|
|                   | 1    | 1.50                        | 1.15                         | 1.10                        |
|                   | 2    | 1.50                        | 1.15                         | 1.10                        |
|                   | 3    | 1.50                        | 1.15                         | 1.10                        |
|                   | 4    | 1.50                        | 1.15                         | 1.10                        |
|                   | 5    | 1.50                        | 1.15                         | 1.10                        |
|                   | 6    | 1.50                        | 1.15                         | 1.10                        |
|                   | 7    | 1.50                        | 1.15                         | 1.10                        |
|                   | 8    | 1.50                        | 1.15                         | 1.10                        |
|                   | 9    | 1.50                        | 1.10                         | 1.10                        |

Характеристики грунта

| Слой | $\sigma_{\text{г}}$<br>[кПа] | $\varphi_{\text{г}}$<br>[град] | $\gamma_{\text{г}}$<br>[кН/м <sup>3</sup> ] | $\sigma_{\text{г}}$<br>[кПа] | $\varphi_{\text{г}}$<br>[град] | $\gamma_{\text{г}}$<br>[кН/м <sup>3</sup> ] | E<br>[МПа] | $\nu$<br>[-] |
|------|------------------------------|--------------------------------|---|------------------------------|--------------------------------|---|------------|--------------|
| 1    | 26.0                         | 18.0                           | 19.1  | 17.3                         | 15.7                           | 17.4  | 11.0       | 0.35         |
| 2    | 27.0                         | 23.0                           | 19.2  | 18.0                         | 20.0                           | 17.5  | 18.0       | 0.35         |
| 3    | 19.0                         | 23.0                           | 19.1  | 12.7                         | 20.0                           | 17.4  | 22.0       | 0.30         |
| 4    | 27.0                         | 23.0                           | 19.2  | 18.0                         | 20.0                           | 17.5  | 18.0       | 0.35         |
| 5    | 26.0                         | 18.0                           | 19.1  | 17.3                         | 15.7                           | 17.4  | 11.0       | 0.35         |
| 6    | 27.0                         | 23.0                           | 19.2  | 18.0                         | 20.0                           | 17.5  | 18.0       | 0.35         |
| 7    | 26.0                         | 18.0                           | 19.1  | 17.3                         | 15.7                           | 17.4  | 11.0       | 0.35         |
| 8    | 27.0                         | 23.0                           | 19.2  | 18.0                         | 20.0                           | 17.5  | 18.0       | 0.35         |
| 9    | 7.0                          | 17.0                           | 19.7  | 4.7                          | 15.5                           | 17.9  | 29.0       | 0.30         |

Проверка прочности грунта основания сваи при сжимающей нагрузке

| Комбинация нагрузок | N [кН] | Нагрузка (Кoeffициент) |
|---------------------|--------|------------------------|
|                     | 330.0  | 1 (1.10)               |

Сопrotивление грунта под концом сваи  
 при глубине заложения  $R = 8.39$  МПа  
 $h = 18.12$  м  
 Кoeffициент условий работы  $\gamma_{\text{сR}} = 1.00$  -

Сопrotивление грунта на боковой поверхности сваи  $f$

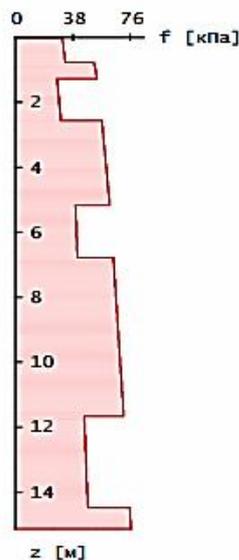
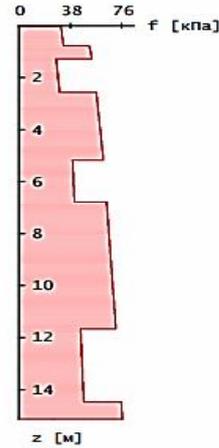


Рис. 6. Фрагмент отчета ПК «Статика», модуль «Статика грунт – Железобетонная свая (510)».  
 Часть 2 (продолжение)

Fig. 6. Fragment of the report of the PC "Static", namely the module "Ground statics - Reinforced concrete pile (510)". Part 2 (continuation)

Сопротивление грунта на боковой поверхности сваи  $f$



| Слой | $z_1$<br>[м] | $z_2$<br>[м] | $\gamma_{cf}$<br>[-] | $f_1$<br>[кПа] | $f_2$<br>[кПа] |
|------|--------------|--------------|----------------------|----------------|----------------|
| 1    | 0.00         | 0.77         | 1.00                 | 31.0           | 33.0           |
| 2    | 0.77         | 1.27         | 1.00                 | 51.9           | 53.8           |
| 3    | 1.27         | 2.57         | 1.00                 | 27.5           | 30.1           |
| 4    | 2.57         | 5.17         | 1.00                 | 57.1           | 62.3           |
| 5    | 5.17         | 6.77         | 1.00                 | 39.7           | 41.0           |
| 6    | 6.77         | 11.67        | 1.00                 | 64.7           | 71.5           |
| 7    | 11.67        | 14.47        | 1.00                 | 45.5           | 47.9           |
| 8    | 14.47        | 15.07        | 1.00                 | 75.5           | 76.3           |
| 9    | 15.07        | 15.12        | 1.00                 | 76.3           | 76.4           |

Примечание

Значение  $f$  для супесей при  $I_p \leq 4$  и  $e < 0.8$  определяется как для пылеватых песков

Площадь опирания на грунт  $A = 1225$  см<sup>2</sup>  
 Периметр сечения сваи  $u = 140.0$  см

Коэффициент условий работы сваи при сжатии  $\gamma_c = 1.00$  -

Несущая способность сваи  
 $F_d = F_{dR} + F_{df} = 1027 + 1151 = 2179$  кН

Рис. 7. Фрагмент отчета ПК «Статика», модуль «Статика грунт – Железобетонная свая (510)». Часть 3 (окончание)

Fig. 7. Fragment of the report of the PC “Static”, namely the module “Ground statics – Reinforced concrete pile (510)”. Part 3 (end)

**Основные результаты и выводы**

В результате сравнения величины несущей способности свай, полученной нормативным расчетом и в автоматизированных расчетах по 2-м программным комплексам, было установлено, что значения,

полученные в ПК «Статика», а именно модуле «Статика грунт – Железобетонная свая», ближе к результатам ручного расчета по СП 24.13330.2012 «Свайные фундаменты». Сравнительные результаты занесены в табл. 2.

Таблица 2. Полученные результаты  
 Table 2. Obtained results

| № | Способ определения | Значение $F_d$ , кН | Погрешность, % |
|---|--------------------|---------------------|----------------|
| 1 | Ручной расчет      | 2227,78             | -              |
| 2 | «ЗАПРОС»           | 2529,786            | 13,56          |
| 3 | ПК «Статика»       | 2179                | -2,19          |

Следует отметить, что расчет по программе «ЗАПРОС», входящей в состав ПК SCAD Office, привел к результату, в котором несущая способность сваи завышена, то есть условие прочности согласно нормативному значению не выполняется.

Расчет с использованием ПК «Статика», напротив, привел к результату с небольшим запасом прочности. Таким образом, использование программных комплексов не гарантирует полностью достоверный результат, не снимает ответственность с проектировщика и требует дополнительных верификационных проверок.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кургузов К.В., Фоменко И.К., Сироткина О.Н. Оценка несущей способности свай. Методы расчета и проблематика // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2019. Т. 330. № 10. С. 7–25. <https://doi.org/10.18799/24131830/2019/10/2294>.
2. Булатов Г.Я., Лысякова Е.И., Корневская М.А. Обобщение расчетов несущей способности сваи по грунту // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 6 (21). С. 120–127.
3. Димов Л.А., Димов И.Л. Несущая способность свай в глинистых грунтах по результатам расчетов и полевых испытаний // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2006. № 3. С. 26–29.
4. Жакулин А.С., Жакулина А.А. Расчетные сопротивления грунтов свайных фундаментов // Вестник Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры им. Н. Исанова. 2016. № 1 (51). С. 209–213.
5. Курдюк А.Ю., Устюгов С.В., Дисяев Д.П. Анализ различных методик по определению несущей способности свайных фундаментов // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2017. № 4 (22). С. 19–23.
6. Zhussupbekov A., Utepov Y., Borgekova K., Omarov A., Chang Der-Wen. Estimating the driven pile capacities for COF project in west Kazakhstan // Soil Mechanics and Foundation Engineering. 2019. Vol. 56. № 2. p. 121–127. <https://doi.org/10.1007/s11204-019-09579-6>
7. Shengyang Feng, Xiangyang Li, Fuliang Jiang, Lin Lei, Zhi Chen. A Nonlinear Approach for Time Dependent Settlement Analysis of a Single Pile and Pile Groups // Soil Mechanics and Foundation Engineering. 2017. Vol. 54. № 1. p. 7–16. <https://doi.org/10.1007/s11204-017-9426-8>
8. Zhang-qi Xia, Jin-feng Zou. Simplified Approach for Settlement Analysis of Vertically Loaded Pile // Journal of Engineering Mechanics. 2017. Vol. 143. Issue 11. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EM.1943-7889.0001334](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EM.1943-7889.0001334)
9. Jegandan S., Thusyanthan N.I., Robert D.J. Axial bearing capacity of driven piles in accordance with API and DNV // 7th International Conference Offshore Site Investigation and Geotechnics: Integrated Technologies – Present and Future (London, 12–14 September 2012). London, 2012. P. 525–532.
10. Martin J., Budden D., Norman S. Pile tests to justify higher adhesion factors in London Clay // Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Geotechnical Engineering. 2016. Vol. 169. Issue 2. P. 121–128. <https://doi.org/10.1680/jgeen.15.00053>
11. Guojun Cai, Songyu Liu, Liyuan Tong, Guangyin Du. Assessment of direct CPT and CPTu methods for predicting the ultimate bearing capacity of single piles // Engineering Geology. 2009. Vol. 104. Issues 3–4. p. 211–222. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2008.10.010>
12. Guojun Cai, Songyu Liu, Puppala A.J. Reliability assessment of CPTU-based pile capacity predictions in soft clay deposits // Engineering Geology. 2012. Vol. 141–142. p. 84–91. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2012.05.006>
13. Wrana B. Pile load capacity – calculation methods // Studia Geotechnica et Mechanica. 2015. Vol. 37, № 4. <https://doi.org/10.1515/sgem-2015-0048>

## REFERENCES

1. Kurguzov KV, Fomenko IK, Sirotkina ON. Calculation of driven pile bearing capacity. Analytical methods and issues. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov = Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 2019;330(10):7–25. (In Russ.) <https://doi.org/10.18799/24131830/2019/10/2294>
2. Bulatov GYa, Lysyakova EI, Korenevskaya MA. The resumptive pile load capacity equation. *Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzhenii = Construction of Unique Buildings and Structures*. 2014;6(21):120–127(In Russ.).
3. Dimov LA, Dimov IL. Bearing capacity of piles in clayey soils from calculations and field tests. *Osnovaniya, fundamenti i mekhanika gruntov = Soil Mechanics and Foundation Engineering*. 2006;43(3): 109–113 (In Russ.)
4. Zhakulin AS, Zhakulina AA. Design resistance of soils of pile foundations. *Vestnik Kyrgyzskogo gosudarstvennogo universiteta stroitel'stva, transporta i arkhitektury im. N. Isanova*. 2016;1(51):209–213. (In Russ.)

5. Kurdyuk AYu, Ustyugov SV, Disyaev DP. The analysis of various methods of determination of the bearing ability of the pile bases. *Inzhenerno-stroitel'nyi vestnik Prikaspiya*. 2017;4(22):19–23. (In Russ.)
6. Zhussupbekov A, Uteпов Y, Borgekova K, Omarov A, Chang Der-Wen. Estimating the driven pile capacities for COF project in west Kazakhstan. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. 2019;56(2):121–127. <https://doi.org/10.1007/s11204-019-09579-6>
7. Shengyang Feng, Xiangyang Li, Fuliang Jiang, Lin Lei, Zhi Chen. A Nonlinear Approach for Time Dependent Settlement Analysis of a Single Pile and Pile Groups. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. 2017;54(1):7–16. <https://doi.org/10.1007/s11204-017-9426-8>
8. Zhang-qi Xia, Jin-feng Zou. Simplified Approach for Settlement Analysis of Vertically Loaded Pile. *Journal of Engineering Mechanics*. 2017;143(11). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EM.1943-7889.0001334](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EM.1943-7889.0001334)
9. Jegandan S, Thusyanthan NI, Robert DJ. Axial bearing capacity of driven piles in accor-

- dance with API and DNV. *7th International Conference Offshore Site Investigation and Geotechnics: Integrated Technologies – Present and Future*. 12–14 September 2012, London. London; 2012. p. 525–532.
10. Martin J, Budden D, Norman S. Pile tests to justify higher adhesion factors in London Clay. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Geotechnical Engineering*. 2016;169(2):121–128. <https://doi.org/10.1680/jgeen.15.00053>
11. Guojun Cai, Songyu Liu, Liyuan Tong, Guangyin Du. Assessment of direct CPT and CPTU methods for predicting the ultimate bearing capacity of single piles. *Engineering Geology*. 2009;104(3–4):211–222. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2008.10.010>
12. Guojun Cai, Songyu Liu, Puppala AJ. Reliability assessment of CPTU-based pile capacity predictions in soft clay deposits. *Engineering Geology*. 2012;141–142:84–91. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2012.05.006>
13. Wrana B. Pile load capacity – calculation methods. *Studia Geotechnica et Mechanica*. 2015;37(4). <https://doi.org/10.1515/sgem-2015-0048>

#### Сведения об авторах

**Латышев Павел Сергеевич**, студент, Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия, e-mail: l4tpavel@yandex.ru ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6825-3766>

**Дмитриева Татьяна Львовна**, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой механики и сопротивления материалов, Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия, ✉e-mail: dmitrievat@list.ru ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4622-9025>

#### Заявленный вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### Information about the authors

**Pavel S. Latyshev**, Student, Irkutsk National Research Technical University, 83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia, e-mail: l4tpavel@yandex.ru ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6825-3766>

**Tatyana L. Dmitrieva**, Dr. Sci. (Tech.), Associate Professor, Head of the Department of Mechanics and Resistance of Materials, Irkutsk National Research Technical University, 83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia, ✉e-mail: dmitrievat@list.ru ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4622-9025>

#### Contribution of the authors

All authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

#### Conflict of interests

The authors declare no conflicts of interests regarding the publication of this article.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

Статья поступила в редакцию 25.12.2020.  
Одобрена после рецензирования 22.01.2021.  
Принята к публикации 25.01.2021.

The article was submitted 25.12.2020.  
Approved after reviewing 22.01.2021.  
Accepted for publication 25.01.2021.