



(51) МПК
G01V 1/00 (2006.01)
G01V 1/28 (2006.01)
G01N 29/07 (2006.01)
G01N 3/00 (2006.01)
G01M 7/00 (2006.01)
G01N 33/24 (2006.01)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

G01N 29/07 (2020.02); G01V 1/001 (2020.02); G01V 1/282 (2020.02); G01N 3/00 (2020.02); G01M 7/00 (2020.02); G01N 33/24 (2020.02)

(21)(22) Заявка: 2019133438, 21.10.2019

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
21.10.2019

Дата регистрации:
16.10.2020

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 21.10.2019

(45) Опубликовано: 16.10.2020 Бюл. № 29

Адрес для переписки:

191002, Санкт-Петербург, ул. Большая
Московская, 2, ОАО "НИПИИ
"Ленметрогипротранс", Захарову Г.Р.

(72) Автор(ы):

Лебедев Михаил Олегович (RU),
Бойко Олег Владимирович (RU),
Дорохин Кирилл Александрович (RU),
Костромитина Елена Владимировна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Открытое акционерное общество
"Научно-исследовательский,
проектно-изыскательский институт
"Ленметрогипротранс" (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: САВИЧ А.И., ЯЩЕНКО З.Г.,
"ИССЛЕДОВАНИЕ УПРУГИХ И
ДЕФОРМАЦИОННЫХ СВОЙСТВ
ГОРНЫХ ПОРОД
СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКИМИ
МЕТОДАМИ". М.: НЕДРА, 1979, с. 48-55, 89-
93. RU 140925 U1, 20.05.2014. МИНДЕЛЬ И.Г.,
СЕВОСТЬЯНОВ Б.А и др.
"ОСОБЕННОСТИ ИЗУЧЕНИЯ
ДЕФОРМАЦИОННО-ПРОЧНОСТНЫХ
СВОЙСТВ ДИСПЕРСНЫХ ГРУНТОВ
СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ",
ж-л "ГЕОЭКОЛОГИЯ.ИНЖЕНЕРНАЯ
(см. прод.)

(54) Способ сейсмоакустической оценки деформационно-прочностных характеристик грунта

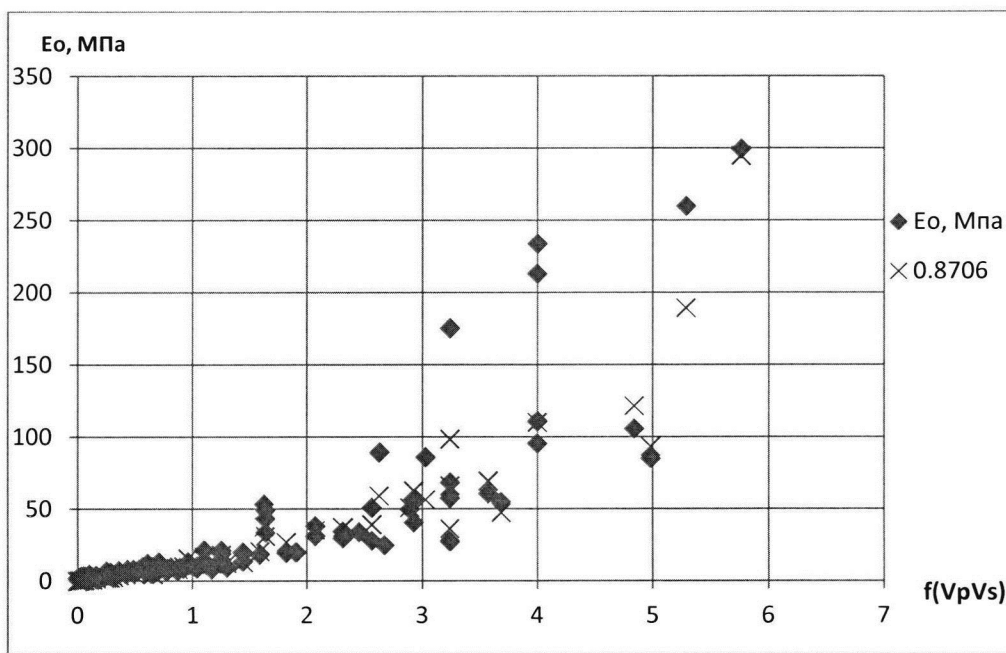
(57) Реферат:

Изобретение относится к строительству, в частности к контролю качества прочностных характеристик грунтов. Предложен способ сейсмоакустической оценки деформационно-прочностных характеристик грунта, включающий предварительное установление корреляционных зависимостей между деформационно-прочностными характеристиками определенного вида грунта и скоростями прохождения продольных и поперечных упругих волн в данном виде грунта, измерение скорости прохождения

продольных и поперечных упругих волн в исследуемом грунте и оценку деформационно-прочностных характеристик исследуемого грунта с использованием установленных корреляционных зависимостей. Согласно изобретению предварительное установление корреляционных зависимостей производят на основе обобщения данных, имеющих в опубликованных печатных источниках, без проведения сейсмоакустических измерений, а корреляционные зависимости формулируют в

виде зависимостей значений статических модулей деформации и упругости определенного вида грунта от значений скоростей продольных и поперечных волн в этих грунтах. Технический

результат - снижение трудоемкости и времени для определения деформационно-прочностных характеристик грунтов при строительстве объектов в различных грунтах. 4 з.п. ф-лы, 6 ил.



Фиг. 1

(56) (продолжение):

ГЕОЛОГИЯ. ГИДРОГЕОЛОГИЯ. ГЕОКРИОЛОГИЯ", 2016, номер 3.461-473. RU 2038595 C1, 27.06.1995. RU 2515130 C1, 10.05.2014.

RU 2734453 C1

RU 2734453 C1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.
G01V 1/00 (2006.01)
G01V 1/28 (2006.01)
G01N 29/07 (2006.01)
G01N 3/00 (2006.01)
G01M 7/00 (2006.01)
G01N 33/24 (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC

G01N 29/07 (2020.02); G01V 1/001 (2020.02); G01V 1/282 (2020.02); G01N 3/00 (2020.02); G01M 7/00 (2020.02); G01N 33/24 (2020.02)

(21)(22) Application: **2019133438, 21.10.2019**

(24) Effective date for property rights:
21.10.2019

Registration date:
16.10.2020

Priority:

(22) Date of filing: **21.10.2019**

(45) Date of publication: **16.10.2020 Bull. № 29**

Mail address:

**191002, Sankt-Peterburg, ul. Bolshaya
Moskovskaya, 2, OAO "NIPII
"Lenmetrogiprotrans", Zakharovu G.R.**

(72) Inventor(s):

**Lebedev Mikhail Olegovich (RU),
Bojko Oleg Vladimirovich (RU),
Dorokhin Kirill Aleksandrovich (RU),
Kostromitina Elena Vladimirovna (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Otkrytoe aktsionernoe obshchestvo
"Nauchno-issledovatel'skij, proektno-izyskatel'skij
institut "Lenmetrogiprotrans" (RU)**

(54) **METHOD OF SEISMIC-ACOUSTIC EVALUATION OF DEFORMATION-STRENGTH PROPERTIES OF SOIL**

(57) Abstract:

FIELD: construction.

SUBSTANCE: invention relates to construction, in particular, to quality control of strength characteristics of soils. Disclosed is a method of seismoacoustic evaluation of deformation-strength properties of soil, involving preliminary establishment of correlation dependencies between deformation-strength characteristics of a certain type of soil and speeds of passage of longitudinal and transverse elastic waves in given form of soil, measurement of speed of passage of longitudinal and transverse elastic waves in analysed soil and evaluation of deformation-strength characteristics of analysed soil using established correlation dependencies. According to the invention,

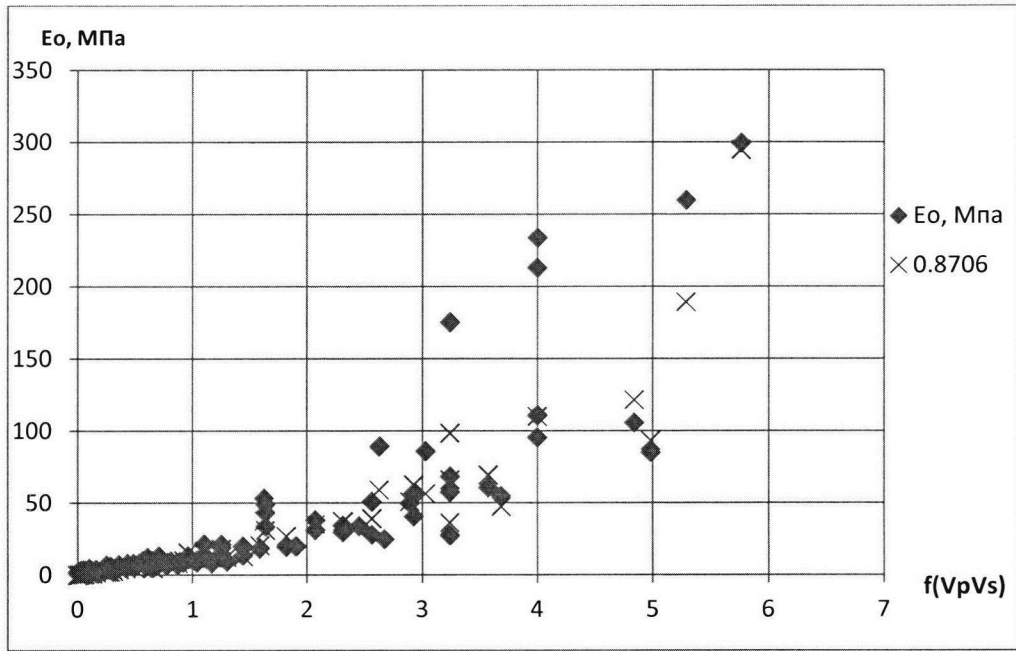
preliminary establishment of correlation dependencies is carried out based on generalization of data available in published printed sources, without seismoacoustic measurements, and correlation dependencies are formulated in the form of dependencies of values of static modulus of deformation and elasticity of certain type of soil on values of longitudinal and transverse waves in these soils.

EFFECT: technical result is reduction of labour intensity and time for determining deformation-strength characteristics of soils during construction of objects in different soils.

5 cl, 6 dwg

**C 1
2 7 3 4 4 5 3
R U**

**R U
2 7 3 4 4 5 3
C 1**



Фиг. 1

RU 2734453 C1

RU 2734453 C1

Изобретение относится к строительству, в частности к контролю качества прочностных характеристик грунтов.

Известен способ сейсмической оценки (разведки) массива пород, включающий возбуждение сейсмических колебаний искусственными источниками, регистрацию сигналов сейсмоприемниками, распределенными на поверхности, и использование полученных сейсмограмм для извлечения информации о строении исследуемой среды (Мешбей В.И. Сейсморазведка методом общей глубинной точки. - М.: Недра, 1973, 152 с.). Недостатком способа является низкая точность определения структурного строения и скоростных характеристик массива пород сложного геологического и вещественного строения.

Известен способ оценки качества неоднородных грунтов, включающий предварительное сейсмоакустическое определение плотности грунта с измерением скорости прохождения продольных упругих волн в опытных образцах грунта и установление корреляционных зависимостей между измеренными характеристиками, измерение скорости прохождения продольных упругих волн в контролируемом грунте и оценку физических свойств и прочностных характеристик грунта с использованием установленных корреляционных зависимостей (Никитин В.Н. Основы инженерной сейсмологии. Изд-во МГУ, 1981, - с. 113-120). Однако этот способ позволяет судить лишь о деформационно-прочностных характеристиках грунта, только на основе корреляционных зависимостей с параметрами продольных упругих волн, т.е. способ имеет недостаточную информативность. Поэтому наряду с сейсмоакустическим методом приходится отбирать пробу на состав грунта, включающий выемку грунта, высушивание и рассев, что повышает трудоемкость геотехнического контроля.

Известен способ сейсмоакустической оценки деформационно-прочностных характеристик грунта, включающий предварительное определение деформационно-прочностных характеристик грунта с одновременным измерением скорости прохождения продольных и поперечных упругих волн в опытных образцах грунта и установление корреляционных зависимостей между измеренными характеристиками, измерение скорости прохождения продольных и поперечных упругих волн в контролируемом грунте и оценку деформационно-прочностных характеристик грунта с использованием установленных корреляционных зависимостей (Патент РФ №2038595, опубл. от 27.06.1995).

Однако данный способ оценки деформационно-прочностных характеристик грунтов требует достаточного большого количества проведения предварительных натурных сейсмоакустических измерений опытных образцов для различных видов грунтов в целях получения корреляционных зависимостей, что повышает трудоемкость и время для определения деформационно-прочностных характеристик грунтов при строительстве объектов с помощью данного способа.

Технический результат, который может быть получен при реализации изобретения заключается в снижении трудоемкости и времени для определения деформационно-прочностных характеристик грунтов при строительстве объектов в различных грунтах.

Для достижения данного технического результата в предлагаемом способе сейсмоакустической оценки деформационно-прочностных характеристик грунта, включающим предварительное установление корреляционных зависимостей между деформационно-прочностными характеристиками определенного вида грунта и скоростями прохождения продольных и поперечных упругих волн в данном виде грунта, измерение скорости прохождения продольных и поперечных упругих волн в исследуемом грунте и оценку деформационно-прочностных характеристик исследуемого грунта с

использованием установленных корреляционных зависимостей, согласно изобретения, предварительное установление корреляционных зависимостей производят на основе обобщения данных, имеющихся в опубликованных печатных источниках, без проведения сейсмоакустических измерений, а корреляционные зависимости формулируют в виде зависимостей значений статических модулей деформации и упругости определенного вида грунта от значений скоростей продольных и поперечных волн в этих грунтах.

Введение в предлагаемый способ сейсмоакустической оценки деформационно-прочностных характеристик грунта предварительного установления корреляционных зависимостей между деформационно-прочностными характеристиками определенного вида грунта и скоростями прохождения продольных и поперечных упругих волн в данном виде грунта на основе данных, имеющихся в опубликованных печатных источниках, без проведения сейсмоакустических измерений, и формулирование их в виде зависимостей значений статических модулей деформации и упругости определенного вида грунта от значений скоростей продольных и поперечных волн в данном виде грунта, позволяет получить новое свойство, заключающееся в возможности исключения необходимости проведения трудоемких, продолжительных по времени и дорогостоящих натуральных сейсмоакустических измерений на этапе предварительного установления корреляционных зависимостей между деформационно-прочностными характеристиками подобного к исследуемому грунту и скоростями прохождения продольных и поперечных упругих волн в данном виде грунта, за счет использования только данных, имеющихся в опубликованных печатных источниках.

Способ осуществляют следующим образом.

На практике часто возникает ситуация, когда необходимо оперативно оценить экономические показатели строительства (например, на стадии предпроектных изысканий). Геологическая документация по объекту может отсутствовать (т.е. неизвестны статические модули и прочностные свойства грунтов, состав грунтов, его плотность и другие параметры). Проводить полноценные геологические изыскания (буровые работы, геотехнические и лабораторные исследования и геофизические работы), которые требуют значительных затрат времени и средств, как правило, возможности нет. Выходом в данной ситуации является предлагаемый способ оценки деформационно-прочностных характеристик грунтов на основе только сейсмоакустических исследований.

Анализ материалов сейсмических исследований на различных объектах с самым разным геологическим строением позволил сделать вывод о возможности, используя совместно скорости продольных и поперечных волн, оценить статические модули деформации и упругости.

При построении зависимостей статических модулей от скоростей упругих волн использовались уравнения связи из опубликованных печатных источников статического модуля деформации (E_0) и статического модуля упругости (E_C) от скорости продольных волн (V_p) для различных грунтов в различных состояниях (трещиноватость, водонасыщенность и др.).

Зависимость статического модуля деформации для рыхлых грунтов.

Не учитывая плотность грунтов:

$$E_0 = (V_p^2 V_s^2)^{0,52} e^{3,98 V_s} \quad (1)$$

Учитывая плотность грунтов:

$$E_0 = (\rho V_p^2 V_s^2)^{0,0,3752} e^{4 V_s} \quad (2)$$

Зависимость статического модуля деформации для скальных и полускальных грунтов.
Не учитывая плотность грунтов:

$$E_0 = 560(V_p^2 V_s^2)^{0,39} e^{0,49 V_s} \quad (3)$$

Учитывая плотность грунтов:

$$E_0 = 380(\rho V_p^2 V_s^2)^{0,4} e^{0,475 V_s} \quad (4)$$

Зависимости статического модуля упругости для скальных и полускальных грунтов.
Не учитывая плотность грунтов:

$$E_c = 560 V_p^{1,67} e^{0,41 V_s} \quad (5)$$

Учитывая плотность грунтов:

$$E_0 = 560(\rho V_p^2 V_s^2)^{0,55} e^{0,155 V_s} \quad (6)$$

где E_0 - статический модуль деформации; E_C - статический модуль упругости; V_p - скорость продольных волн (км/с); V_s - скорость поперечных волн (км/с); ρ - плотность грунта (т/м^3).

Представленные выше зависимости являются новыми и раньше не публиковались в открытой печати, что потребовало проверки их ревалентности с результатами натуральных сейсмоакустических измерений в аналогичных грунтах.

При проверки ревалентности полученных зависимостей были использованы результаты натуральных сейсмоакустических измерений различных видов грунтов (при строительстве метрополитена в г. Москва и г. Санкт-Петербург, а также при строительстве ж/д тоннелей в различных регионах Российской Федерации и за рубежом) и реальные скорости упругих волн по этим или аналогичным грунтам по материалам сейсмических исследований ОАО «Ленметрогипротранса».

Полученные в рамках исследований результаты расчетов представлены на фиг. 1-6 в виде графиков зависимостей статических модулей деформации и упругости от значений скоростей продольных и поперечных волн, а также плотности грунта.

На фиг. 1 и 2 - зависимости статического модуля деформации для рыхлых (неконсолидированных) грунтов. На фиг. 3 и 4 зависимости статического модуля деформации для скальных и полускальных грунтов, а на фиг. 5 и 6 - статического модуля упругости для скальных и полускальных грунтов. А именно:

- на фиг. 1 - зависимость статического модуля деформации для рыхлых (неконсолидированных) грунтов, без учета их плотности;
- на фиг. 2 - зависимость статического модуля деформации для рыхлых (неконсолидированных) грунтов, с учетом их плотности;
- на фиг. 3 - зависимость статического модуля деформации для скальных и полускальных грунтов, без учета их плотности;
- на фиг. 4 - зависимость статического модуля деформации для скальных и полускальных грунтов, с учетом их плотности;
- на фиг. 5 - зависимость статического модуля упругости для скальных и полускальных грунтов, без учета их плотности;
- на фиг. 6 - зависимость статического модуля упругости для скальных и полускальных грунтов, с учетом их плотности.

На графиках также показан квадрат коэффициента корреляции Пирсона (значения обозначены крестиками).

По оси абсцисс на графиках откладывается:

$$\text{Не учитывая плотность грунтов: } f(V_p, V_s) = (V_p^2 V_s^2) \quad (7)$$

$$\text{Учитывая плотность грунтов: } f(\rho, V_p, V_s) = (\rho V_p^2 V_s^2) \quad (8)$$

Сравнивая зависимости, построенные с учетом плотности грунтов и без ее учета видно, что значения коэффициентов корреляции меняются незначительно и разнонаправлено, поэтому, когда неизвестны плотности грунтов, ими можно пренебречь.

Также была произведена оценка достоверности получаемых значений статических модулей по опубликованным наиболее представительным источникам, и по корреляционным зависимостям, представленным в данном изобретении. Оценка производилась следующим образом: не меняя других параметров расчета, изменялись только скорости продольных или поперечных волн. По зависимостям из опубликованных источников оценка показала: при изменении скорости продольных волн на 10% модуль статической деформации (E_0) для различных типов пород изменялся на 5,1%-5,6%, модуль статической упругости (E_c) изменялся на 4,9%; при изменении скорости поперечных волн на 10% изменения модулей составляли 19,6%-21,4% и 19% соответственно. То есть общее изменение значений модулей при ошибке в 10% в определении скоростей составляет для $E_0 \sim 24,7\text{-}27\%$ и для $E_c \sim 23,9\%$. По предлагаемым авторами корреляционных зависимостях (по той же схеме): $E_0 \sim 7,9\%$, $E_c \sim 16,1\%$ и $E_0 \sim 16,5\%$, $E_c \sim 7,9\%$. То есть общее изменение составляет для $E_0 \sim 24,4\%$ и для $E_c \sim 24\%$, вне зависимости от состава и типа пород.

Таким образом, используя только результаты сейсмических измерений исследуемых грунтов с предложенными авторами корреляционных зависимостей, имеется возможность определять статические деформационные характеристики грунтов в условиях естественного залегания. При этом достоверность получаемых значений статических модулей, по крайней мере, не ниже чем при использовании корреляционных зависимостей, полученных эмпирическим путем.

Источники информации

1. Мешбей В.И. Сейсморазведка методом общей глубинной точки. - М.: Недра, 1973, 152 с.
2. Никитин В.Н. Основы инженерной сейсмологии. Изд-во МГУ, 1981, - с. 113-120.
3. Патент РФ №2038595, опублик. от 27.06.1995 - прототип.

(57) Формула изобретения

1. Способ сейсмоакустической оценки деформационно-прочностных характеристик грунта, включающий предварительное установление корреляционных зависимостей между деформационно-прочностными характеристиками определенного вида грунта и скоростями прохождения продольных и поперечных упругих волн в данном виде грунта, измерение скорости прохождения продольных и поперечных упругих волн в исследуемом грунте и оценку деформационно-прочностных характеристик исследуемого грунта с использованием установленных корреляционных зависимостей, отличающийся тем, что предварительное установление корреляционных зависимостей производят на основе данных, имеющихся в опубликованных печатных источниках, без проведения сейсмоакустических измерений, а корреляционные зависимости формулируют в виде зависимостей значений статических модулей деформации и упругости определенного вида грунта от значений скоростей продольных и поперечных волн в данном виде грунта.

2. Способ сейсмоакустической оценки деформационно-прочностных характеристик

грунта по п. 1, отличающийся тем, что корреляционные зависимости для определения статического модуля деформации формируются без учета плотности грунта по следующим выражениям:

5 - для рыхлых грунтов - $E_0 = (V_p^2 V_s^2)^{0,52} e^{3,98 V_s}$;

- для скальных и полускальных грунтов - $E_0 = 560(V_p^2 V_s^2)^{0,39} e^{0,49 V_s}$

3. Способ сейсмоакустической оценки деформационно-прочностных характеристик грунта по п. 1, отличающийся тем, что корреляционные зависимости для определения статического модуля деформации формируются с учетом плотности грунта по

10 следующим выражениям:

- для рыхлых грунтов - $E_0 = (\rho V_p^2 V_s^2)^{0,0,3752} e^{4 V_s}$;

- для скальных и полускальных грунтов - $E_0 = 380(\rho V_p^2 V_s^2)^{0,4} e^{0,475 V_s}$

4. Способ сейсмоакустической оценки деформационно-прочностных характеристик грунта по п. 1, отличающийся тем, что корреляционная зависимость для определения статического модуля упругости для скальных и полускальных грунтов формируются без учета плотности грунта по следующему выражению - $E_c = 560 V_p^{1,67} e^{0,41 V_s}$

15

5. Способ сейсмоакустической оценки деформационно-прочностных характеристик грунта по п. 1, отличающийся тем, что корреляционная зависимость для определения статического модуля упругости для скальных и полускальных грунтов формируются с учета плотности грунта по следующему выражению - $E_c = 560(\rho V_p^2 V_s^2)^{0,55} e^{0,155 V_s}$

20

где E_0 - статический модуль деформации; E_c - статический модуль упругости; V_p - скорость продольных волн (км/с); V_s - скорость поперечных волн (км/с); ρ - плотность

25 грунта (т/м^3).

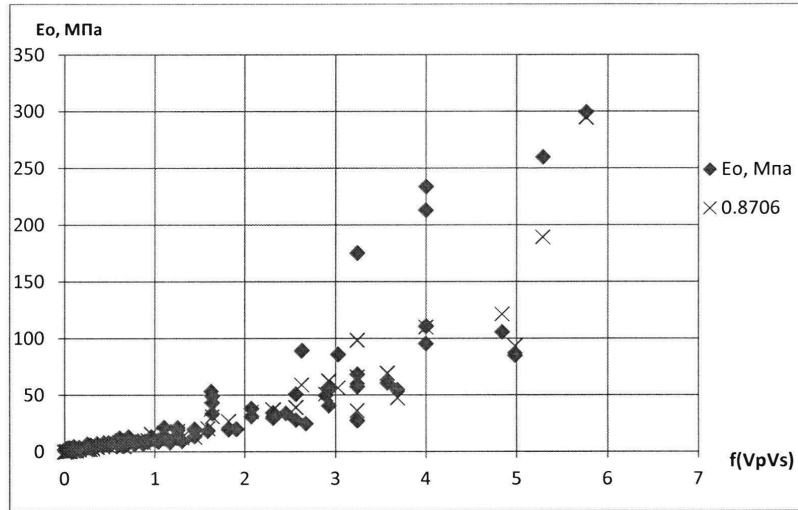
30

35

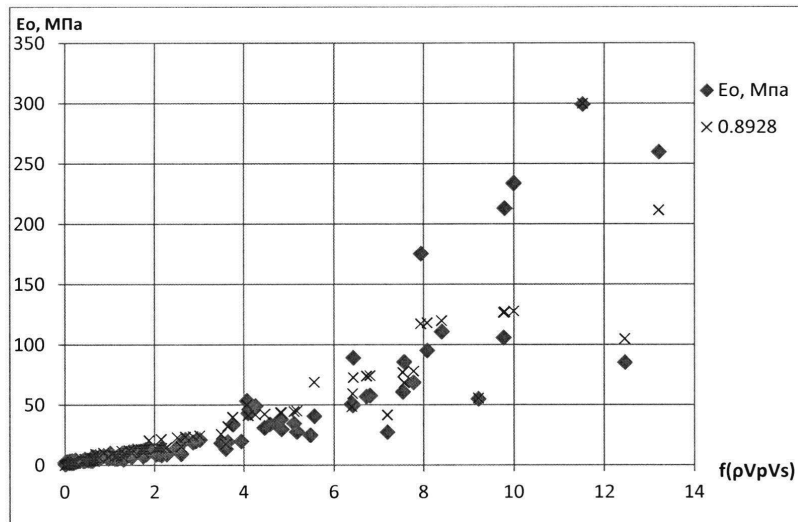
40

45

1

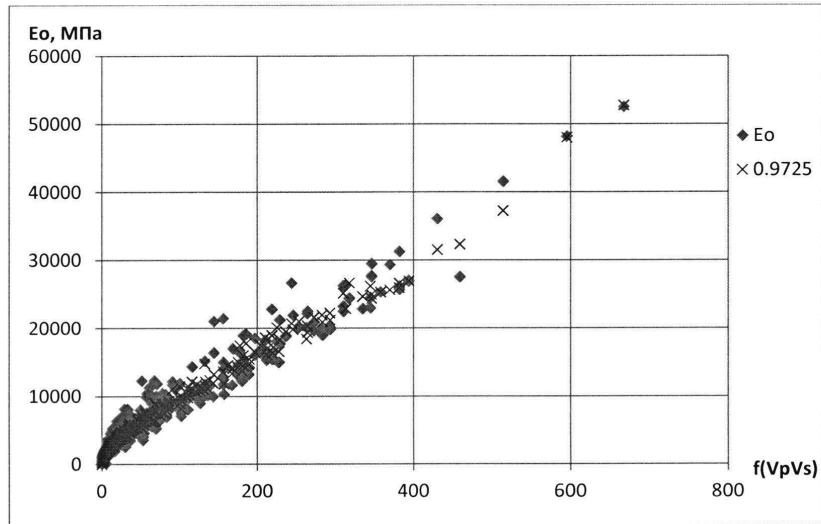


Фиг. 1

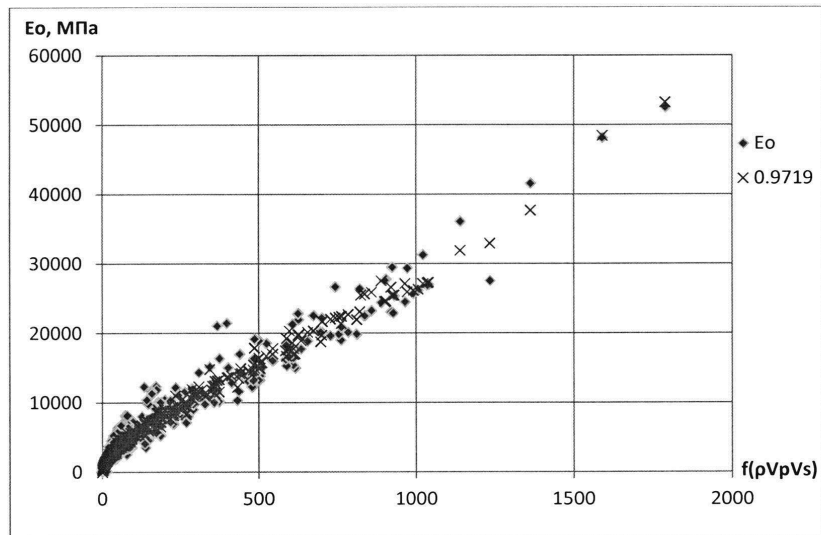


Фиг. 2

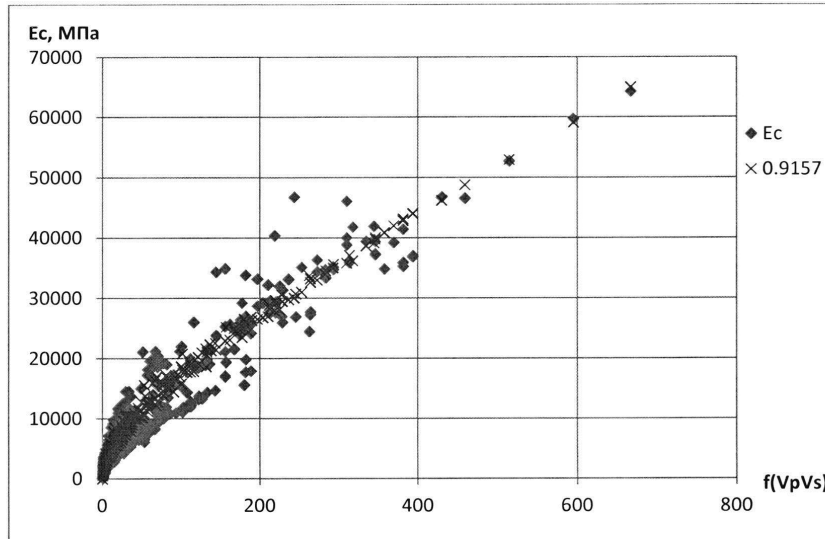
2



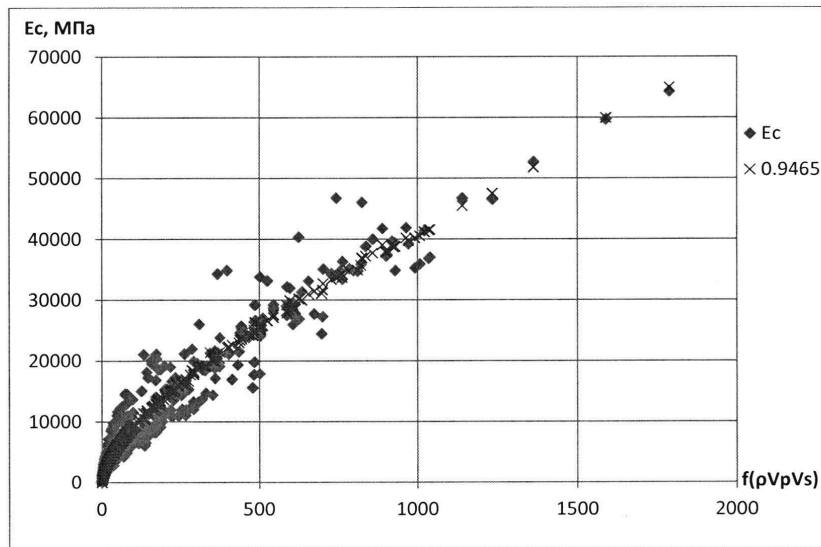
Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6