

«ИННОВАЦИОННАЯ СЕЙСМОИМПУЛЬСНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ НЕФТЕОТДАЧИ ПЛАСТОВ»

2020 г.



ПРЕАМБУЛА

При сохранении существующих трендов (цены на нефть, санкции и истощения запасов) уровень добычи и доходов будет постепенно снижаться, а налоговая нагрузка возрастет.

Дефицит новых месторождений и затратные перспективы освоения Арктики делают новые технологии нефтедобычи актуальными для развития потенциала (прироста запасов) существующих районов нефтедобычи с готовой инфраструктурой.

Предлагаем Вашему вниманию инновационную технологию, которая может быть использована для модернизации технологической базы нефтяной промышленности России путем существенного (в 1,5 – 2,5 раза) увеличения нефтеотдачи работающих и «забалансовых» скважин.



ИЗВЕСТНЫЕ МЕТОДЫ АКТИВИЗАЦИИ НЕФТЯНЫХ ПЛАСТОВ

Как известно, в настоящее время существует более 60 применяемых методов увеличения нефтеотдачи пластов (МУН) и более 130 находится в разработке. Все известные МУН подразделяются на четыре главные группы: гидродинамические, тепловые, физико-химические и биологические.

Методы увеличения нефтеотдачи пластов (МУН):

Группа	% в дополнительной добыче	Основные МУН, входящие в группу
Гидродинамические	10	Нестационарное заводнение. Метод переменных потоков.
Тепловые	22	Закачка горячей воды, закачка пара, внутрипластовое горение.
Физико-химические	68	Применение ООВ, применение ПАВ, имплозия, ГРП, вибросейсмические (виброволновые) методы.
Биологические		Воздействие на призабойную зону скважин и пласт бактериями.

ИЗВЕСТНЫЕ МЕТОДЫ АКТИВИЗАЦИИ НЕФТЯНЫХ ПЛАСТОВ

Как видно из таблицы, физико-химические методы обеспечивают наибольшую долю в объеме дополнительной добычи – 68%.

Физико-химические методы воздействия на пласт чрезвычайно разнообразны. Главные концептуальные принципы их формирования: применение осадкообразующих веществ (ООВ); применение поверхностно-активных веществ (ПАВ); импульсное изменение давления в скважинах на уровне пласта (имплозия, эксплозия); гидроразрыв пласта (ГРП); вибросейсмическое воздействие на пласт.

Методы вибросейсмического воздействия на пласт можно подразделить на две группы, определяемые различными техническими средствами, лежащими в их основе: методы воздействия на пласт через скважину, методы воздействия на пласт с земной поверхности (поверхностные гармонические или импульсные виброисточники, передающие энергию на пласт через массив горных пород).



АКТИВИЗАЦИЯ НЕФТЯНЫХ ПЛАСТОВ ВИБРОСЕЙСМИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Историческое возникновение метода вибросейсмического воздействия на нефтяные пласты с земной поверхности было обусловлено изучением и наблюдениями за поведением углеводородов, нефтенасыщенными горными породами и работой нефтяных скважин до и после землетрясений (Дагестанское 1970 г. и Ставропольское 1971 г.), ядерных взрывов, вибровоздействия на призабойную зону скважин, лабораторными исследованиями. Полученные результаты позволили сделать однозначные выводы о том, что при плотности сейсмической энергии 4-10 Вт/м² вибрация влияет на:

- коллектор, изменяя его пористость и трещиноватость, что в конечном итоге изменяет его проницаемость;**
- флюид, изменяя его вязкость, коэффициент поверхностного натяжения, коэффициент преломления, фракционный состав;**
- сегрегацию нефтяных капель и капиллярный эффект, увеличивая их.**

Однако, для создания такой плотности сейсмической энергии хотя бы на глубинах до 2-2,5 км, необходимо обеспечить амплитуду возмущающей силы на поверхности более 1000 т., что технически трудно осуществимо.



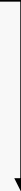
ТЕХНИКА ВИБРОВОЛНОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА НЕФТЯНЫЕ ПЛАСТЫ

**Гармоническое
воздействие
на пласт с земной
поверхности**



- 1. Дебалансные виброисточники с электро-механическим приводом**
- 2. Возвратно-поступательные виброисточники с гидравлическим приводом**

**Воздействие на
пласт через
скважину**

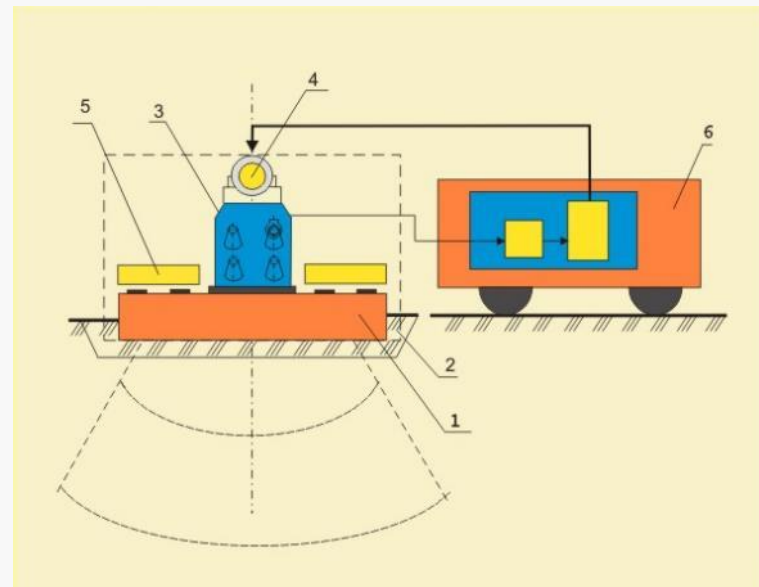


- 1. Импульсные гидрообъемные виброисточники с приводом от станка-качалки**
- 2. Дебалансные гармонические скважинные виброисточники с приводом от ПЭД**
- 3. Импульсные виброисточники с гидрообъемными силовыми элементами с электромагнитным приводом**



АКТИВИЗАЦИЯ НЕФТЯНЫХ ПЛАСТОВ С ПОМОЩЬЮ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВИБРОСЕЙСМИЧЕСКИХ ПЛАТФОРМ

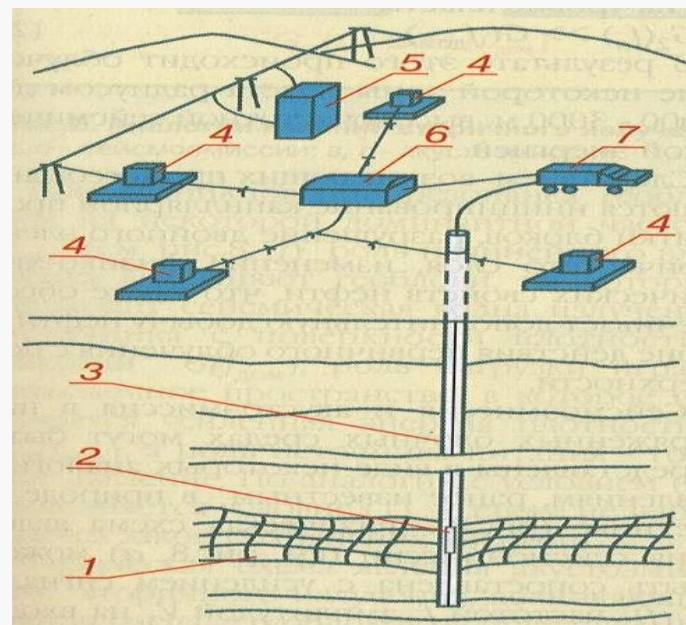
Конструктивная схема традиционного вибросейсмического источника состоит из платформы 1, устанавливаемой на небольшое грунтовое основание 2 глубиной до 1 м. На платформе монтируется дебалансный вибровозбудитель гармонических колебаний 3 с приводом от электродвигателя постоянного тока 4 и пригрузы 5. Управление возбудителем осуществляется от тиристорной системы питания и управления (СПУ) 6.



КОМПЛЕКС ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ АКТИВИЗАЦИИ НЕФТЯНЫХ ПЛАСТОВ С ПОМОЩЬЮ ВИБРОПЛАТФОРМ

Схема расположения традиционного вибросейсмического комплекса из 4-х виброплатформ:

- 1 – нефтяной пласт;
- 2 – сейсмоприемник, опускаемый на кабеле до уровня нефтяного пласта в скважину 3;
- 4 – виброисточники (в данном случае четыре);
- 5 – Питание СПУ осуществляется от ЛЭП, показанной на рисунке через подстанцию;
- 6 – система питания и управления (СПУ), управляющая всеми виброисточниками;
- 7 – каротажная станция с подъемником;



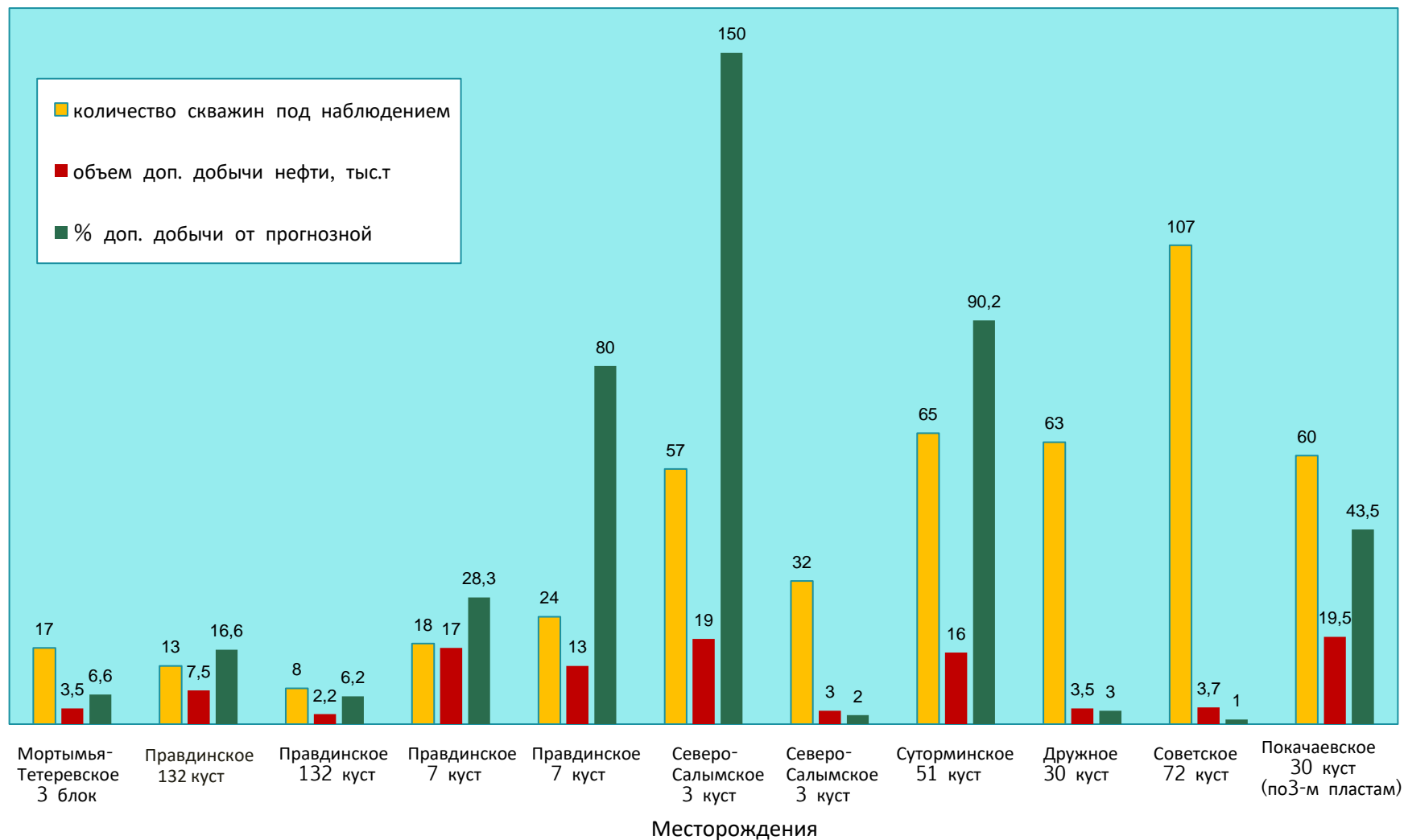
ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ АКТИВИЗАЦИИ НЕФТЯНЫХ ПЛАСТОВ С ПОВЕРХНОСТНЫМИ ВИБРОИСТОЧНИКАМИ

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИБРОСЕЙСМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ (ВСВ) С ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Амплитуда силы, т.....	60-70
Общая масса, т.....	100-120
Глубина воздействия, км.....	1,5 - 3
Радиус зоны воздействия, км.....	до 3
Снижение обводнённости в зоне охвата, %.....	15-20
Срок сохранения эффекта, мес.....	4-6
Увеличение добычи нефти, %	50-150
Снижение себестоимости дополнительно добытой нефти, %.....	50-70



Результаты проведения работ по апробации техники и технологии ВСВ на промыслах



Основные научно-практические результаты

Технические:

1. Разработаны гибко управляемые, быстро монтируемые блочные Виброисточники, работающие в диапазоне температур $\pm 30^{\circ}\text{C}$, обеспечивая $F_m = 60\text{ т}$, $f = 8 - 18\text{ Гц}$.
2. Освоено их серийное производство.
3. Накоплен первоначальный опыт в освоении главных элементов технологии ВСВ.

Геофизические:

1. На уровне нефтяного пласта на "доминантных" частотах в диапазоне частот $8 - 15\text{ Гц}$ обнаруживается увеличение амплитуд регистрируемого сигнала.
2. Зафиксировано вторичное излучение (акустоэмиссия) в диапазоне частот $10-20\text{ кГц}$ при обработке массива на "доминантных" частотах.

Геолого-технологические:

1. Устойчивое снижение обводнённости продукции по большинству скважин в зоне работ при постоянстве добычи жидкости ($q_{ж} = \text{const}$).
2. Повышение обводненности по некоторым скважинам.
3. Сохранение эффекта в течение $4 - 6\text{ мес.}$ Возвращение состояния разработки на прежний уровень.

Промысловые:

Обеспечение дополнительной добычи нефти по участку ведения работ в объемах $30 - 50\%$ текущей добычи.

ПРЕИМУЩЕСТВА ТЕХНОЛОГИИ ВИБРОСЕЙСМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА НЕФТЯНЫЕ ПЛАСТЫ

Традиционная технология вибросейсмического воздействия (ВСВ) на нефтяную залежь имеет объемный характер и обеспечивает повышение нефтеотдачи пластов и интенсификацию нефтедобычи за счет снижения влияния зональной и послойной неоднородности и обводнённости, а также улучшает физико-химических свойства пластовой нефти.

ВСВ оказывает положительное влияние на добычу нефти из всего куста скважин, подсекающих продуктивных пласты многопластовых месторождений с радиусом действия 3-3,5 км вокруг вибросейсмических источников.

ВСВ не нарушает экологию и безопасно для инженерных сооружений и промышленного оборудования.

Технология может применяться для интенсификации добычи нефти и повышения нефтеотдачи неоднородных продуктивных пластов с терригенными коллекторами различной проницаемости на разной стадии эксплуатации месторождений маловязкой, вязкой и высоковязкой нефти, разрабатываемых как с поддержанием пластового давления, так и в режиме его падения.



АКТУАЛЬНОСТЬ РАЗРАБОТКИ НОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Традиционная технология ВСВ, наряду с перечисленными выше достоинствами, имеет серьезные технические и экономические ограничения:

При высоких ценах на нефть она имеет порог эффективности на глубинах до 2-2,5 км.

В связи с этим, актуальной задачей является создание новой технологии, эффективной на глубинах, где другие методы не работают.



СУТЬ ВИБРОСЕЙСМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Суть принципиально нового инновационного решения состоит в размещении в скважине на любой глубине генератора импульсов, управляемого по трос кабелю, который обеспечивает мощное вибросейсмическое воздействие (ВСВ) непосредственно на нефтяные пласты.

Это позволяет увеличить в 1,5 – 2,5 раза дебет скважин на ранее недоступных для ВСВ глубинах.



СУТЬ ВИБРОСЕЙСМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Осуществить эту идею удалось благодаря силовым элементам и электромагнитному молоту, погружаемым в скважину, которые обеспечивают создание в скважине импульсного радиального усилия до 20 – 30 тонн и более на погонный метр.

Плотность излучаемой энергии нового скважинного вибросейсмического источника на уровне пласта составляет 13-14 КВт/м. кв., тогда как плотность излучаемой энергии от поверхностной вибросейсмической платформы - всего около 7-7,5 КВт/м.кв.

При этом, уровень суммарного ВСВ можно варьировать в зависимости от расположения нефтеносных пластов, располагая в одной скважине последовательно любое количество вибросейсмических источников, необходимых для максимально полного извлечения нефти.



СКВАЖИННЫЙ ВИБРОСЕЙСМИЧЕСКИЙ ИСТОЧНИК

Основой скважинного вибросейсмического источника является силовой элемент-мультипликатор (СЭ) и электромагнитный молот (ЭМ), связанные между собой замкнутой гидравлической системой. СЭ - это мощное скважинное гидравлическое устройство, преобразующее вертикальные ударные импульсы от электромагнитного ударного узла в радиальные с многократным усилением. СЭ предназначен для создания мощных радиальных импульсных усилий на предварительно напряженный околоскважинный массив пласта через обсадную колонну для скважин с внутренним диаметром 120-124 мм и более. Благодаря равномерного распределения больших радиальных усилий, развиваемых пуансонами силового элемента, обеспечивается сохранность обсадной колонны и цементного камня скважины, которые при этом работают в зоне упругих деформаций. За счет этого обеспечивается возможность генерирования мощных продольных сейсмических волн в заданном направлении по пласту. Электромагнитный молот ЭМ, впервые созданный в диаметрах, позволяющих погружать его в указанные нефтяные скважины, обеспечивает генерацию силовых импульсов в гидросистеме силовых элементов, передаваемых ими в околоскважинный массив.



СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ХАРАКТЕРИСТИК ТРАДИЦИОННОЙ И ИННОВАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИЙ ВСВ

№ п/п	Величина	Размерность	Вибролатформа на поверхности	Скважинный виброисточник
1.	Масса	т	100-120	0,2
2.	Потребляемая мощность	кВт	200	8
3.	Амплитуда излучаемой волны	м·10 ⁻⁶	500-1000	400-800
4.	Глубина обрабатываемого пласта	км	1,5-2,5	2,5-3,0
5.	Радиус охвата от точки установки	км	2,0-3,0	2,0-3,0
6.	Стоимость	млн. руб.	50-60	3-5
7.	Эксплуатационные расходы на одну обработку пласта	млн. руб.	10-15	Существенно ниже, определяются по результатам внедрения , ориентировочно 3-5

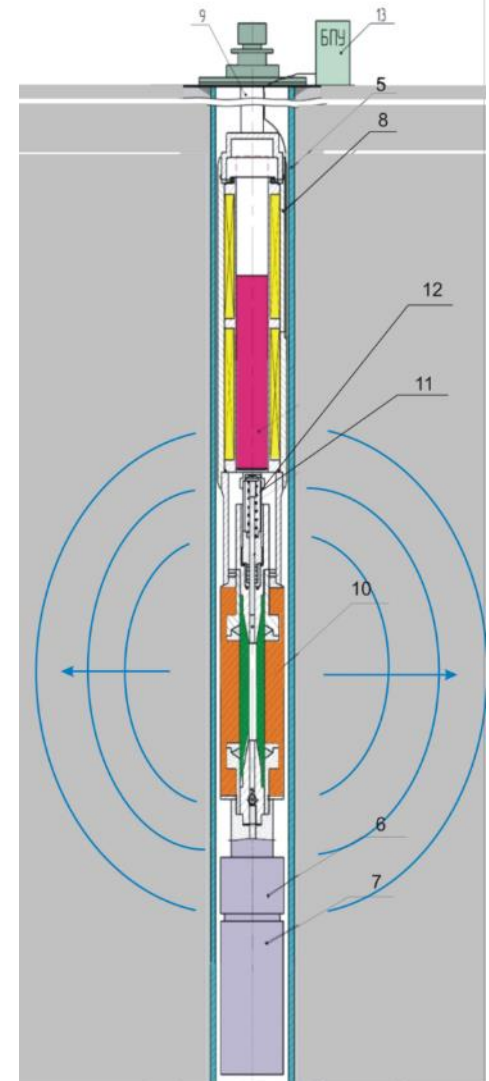
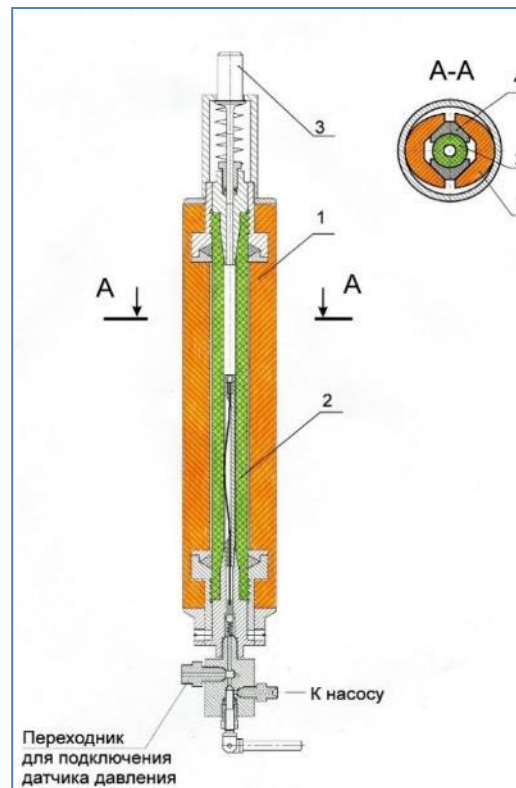
Конструктивная схема скважинного электромагнитного импульсного виброисточника с одним силовым элементом

Электромагнитный ударный узел

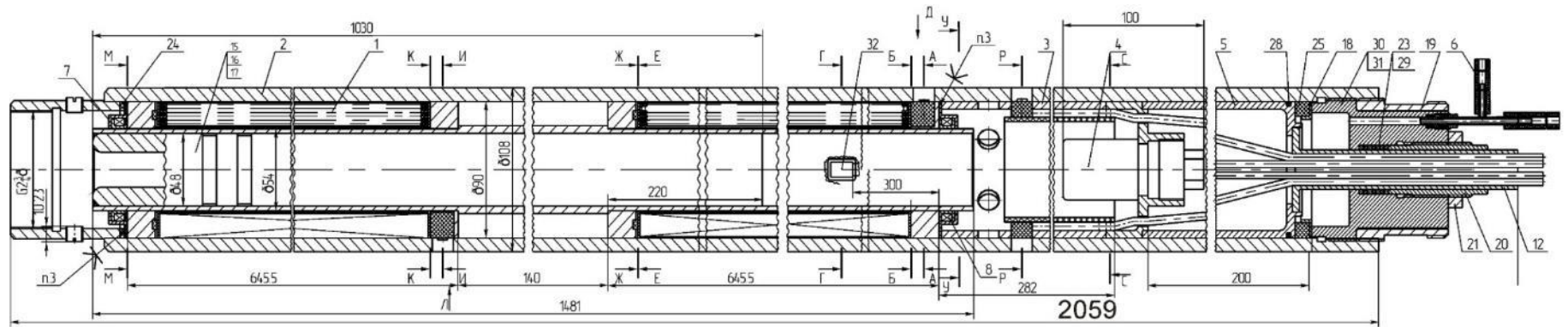
$A_{уд} = 150 - 240 \text{ Дж}$; $F_{уд} = 1,5 - 2,5 \text{ Гц}$;
 $L \leq 2,5 \text{ м}$; $\varnothing = 100 - 115 \text{ мм}$

Силовой гидравлический элемент

$P_m = 14,0 - 15,0 \text{ МПа}$;
 $P_o = 15,0 - 40,0 \text{ МПа}$



ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ УДАРНЫЙ УЗЕЛ



Технические характеристики

$A_{уд} = 150 - 240$ Дж

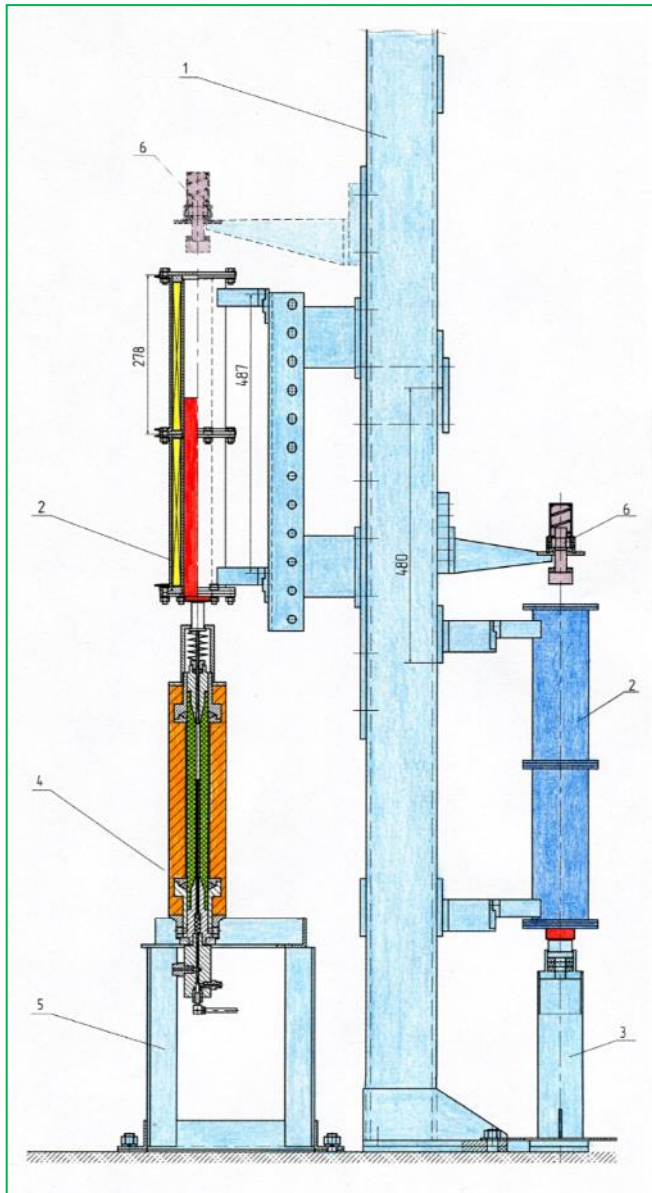
$f_{уд} = 1,5 - 2,5$ Гц

$m_6 = 11 - 14$ кг

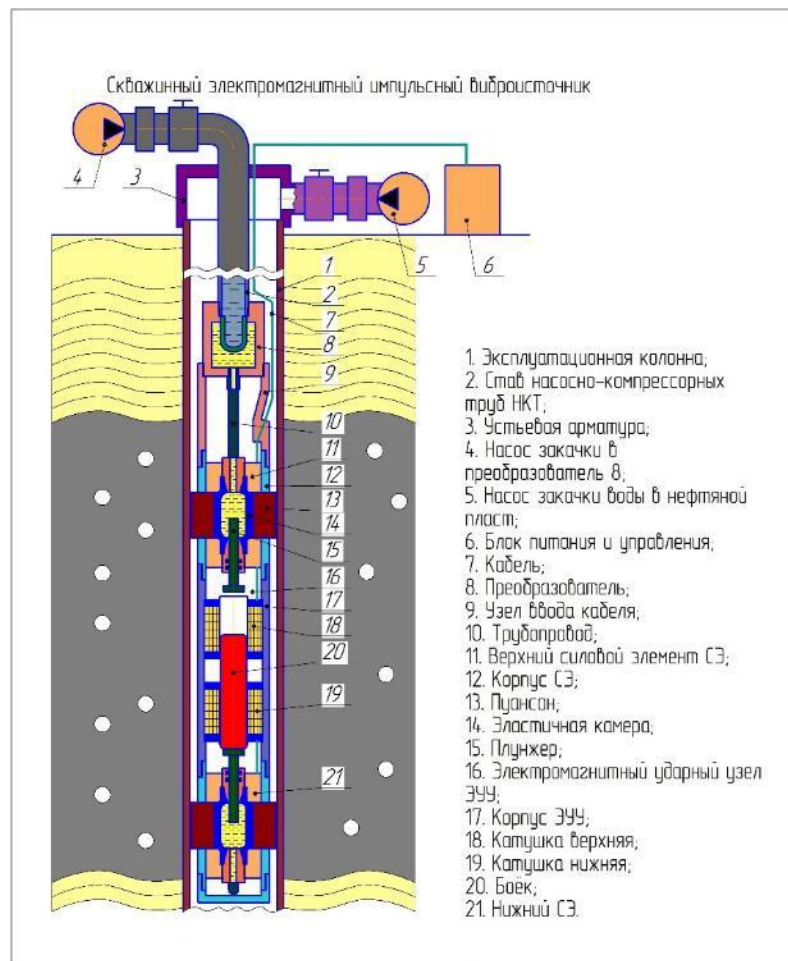
$L = \leq 2,5$ м

$\varnothing = 100 - 115$ мм

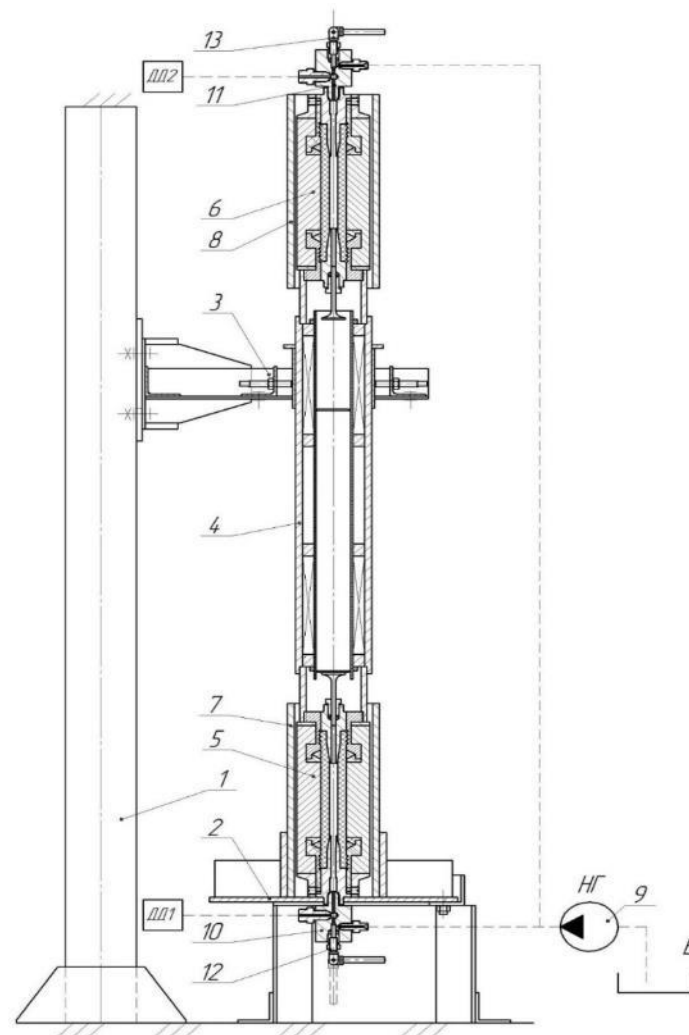
Стенд для исследования динамических характеристик ударного узла виброисточника



Конструктивная схема скважинного электромагнитного импульсного виброисточника с ЭУУ двойного действия с двумя СЭ

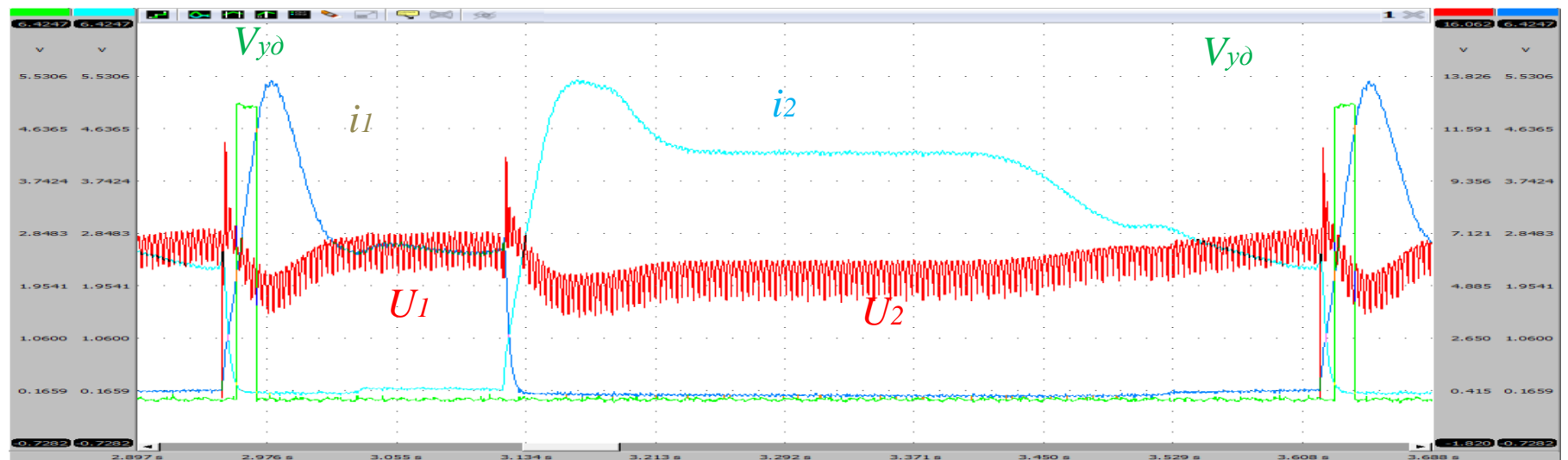
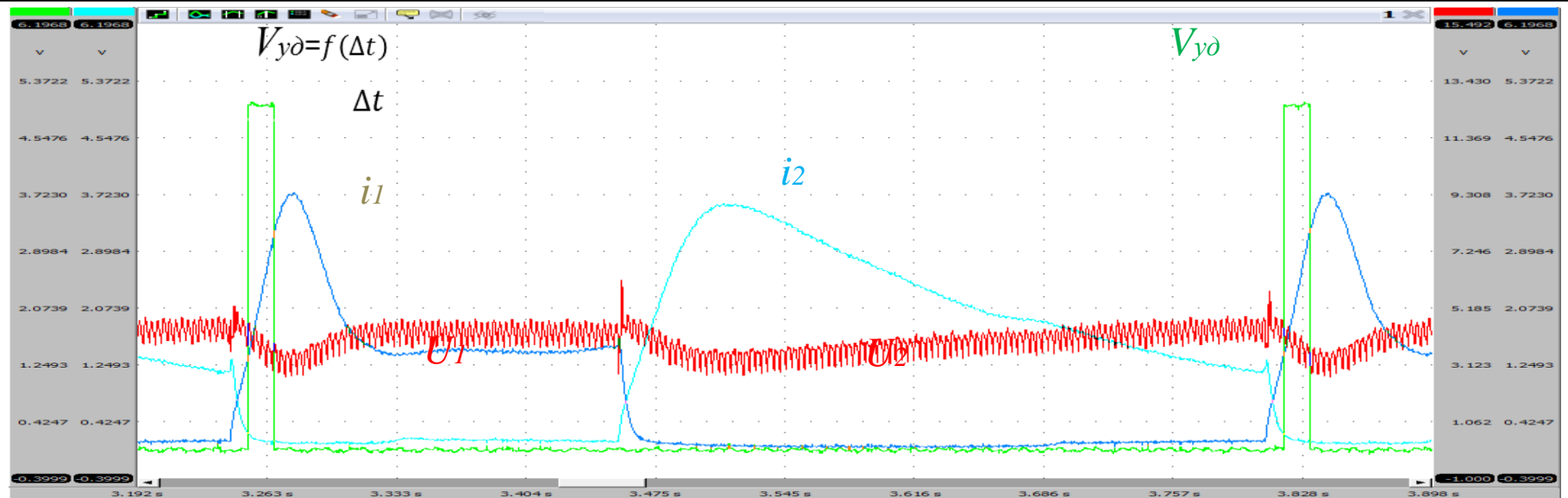


Конструктивная схема виброисточника

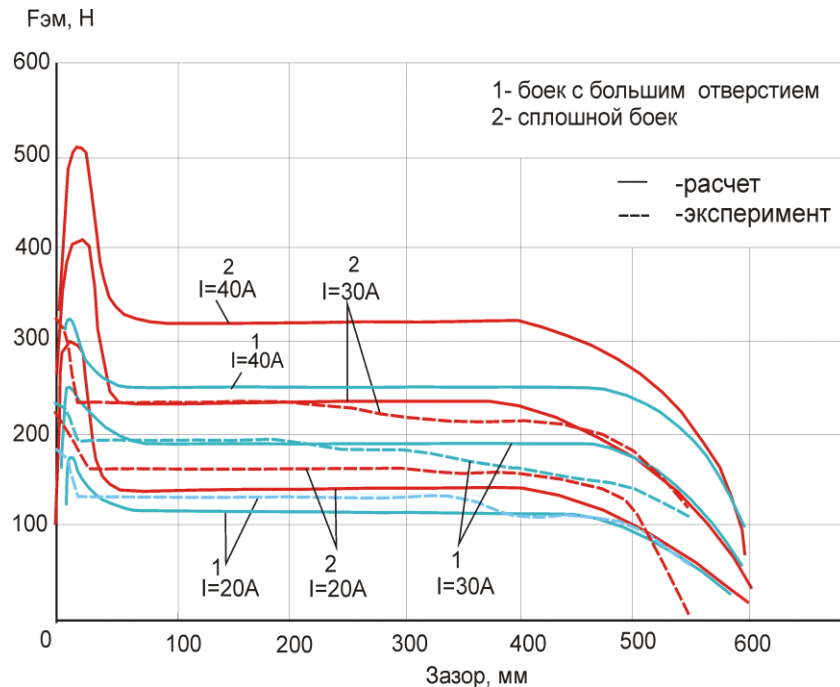


Стенд для испытаний

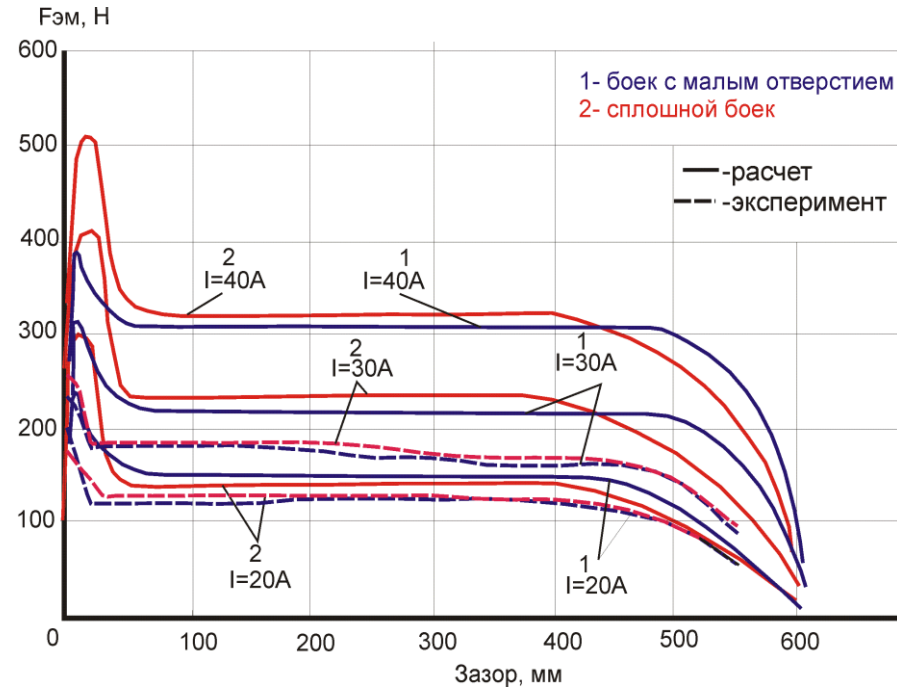
Динамические характеристики ЭУУ



Статические характеристики ЭУУ

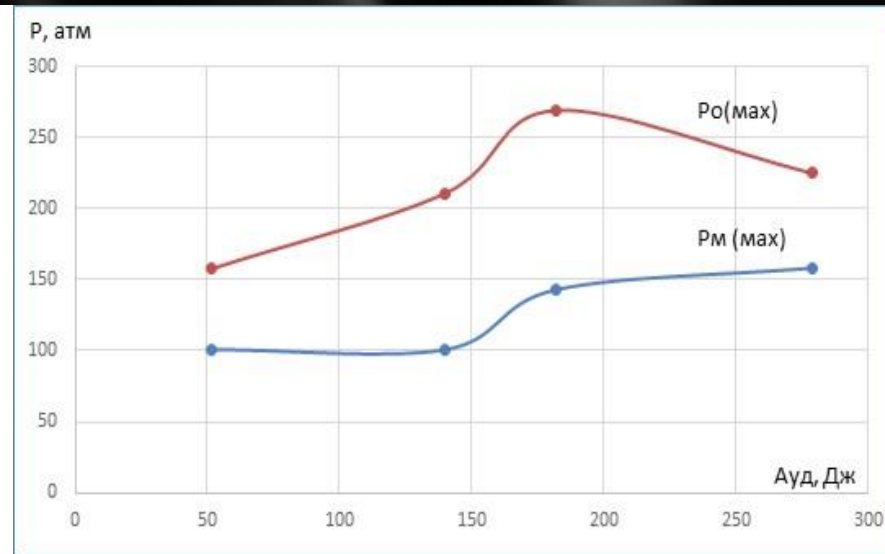
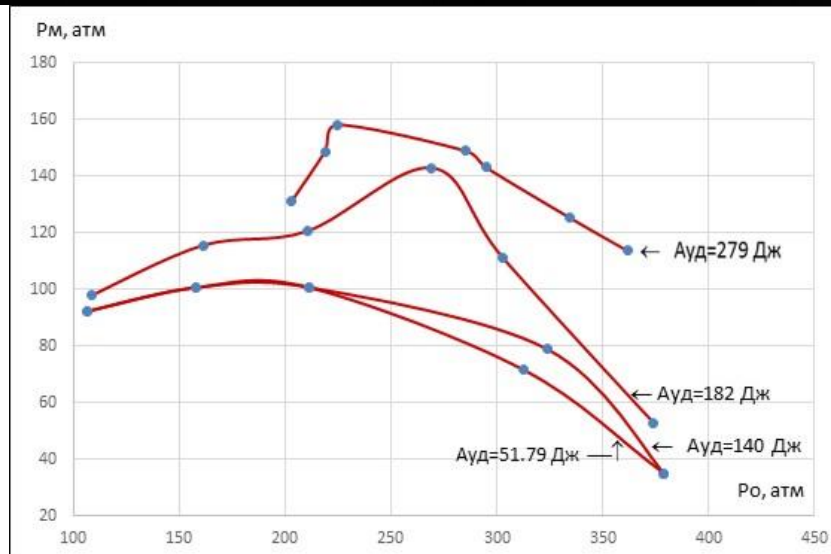


Тяговые характеристики электромагнитов
1-для бойка с отверстием $\varnothing=23мм$;
2- для бойка сплошного

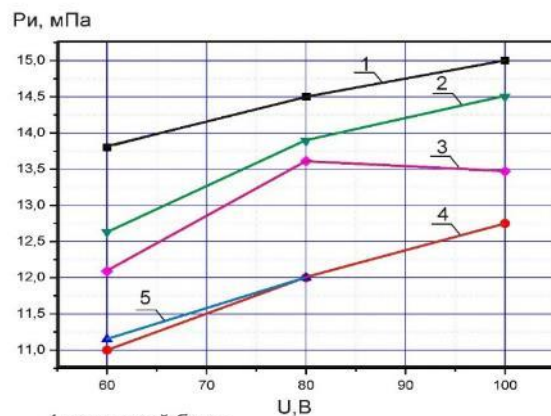


Тяговые характеристики электромагнитов
1-для бойка с отверстием $\varnothing=10мм$,
2- для бойка сплошного

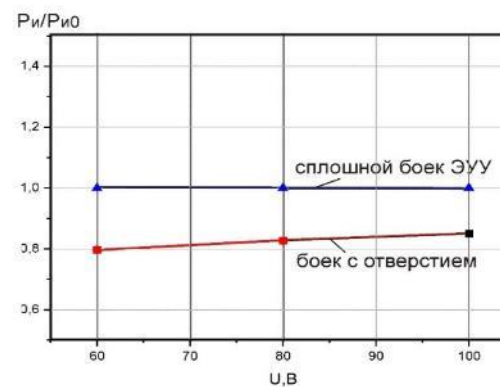
Исследование импульсов давления в ГСЭ виброисточника



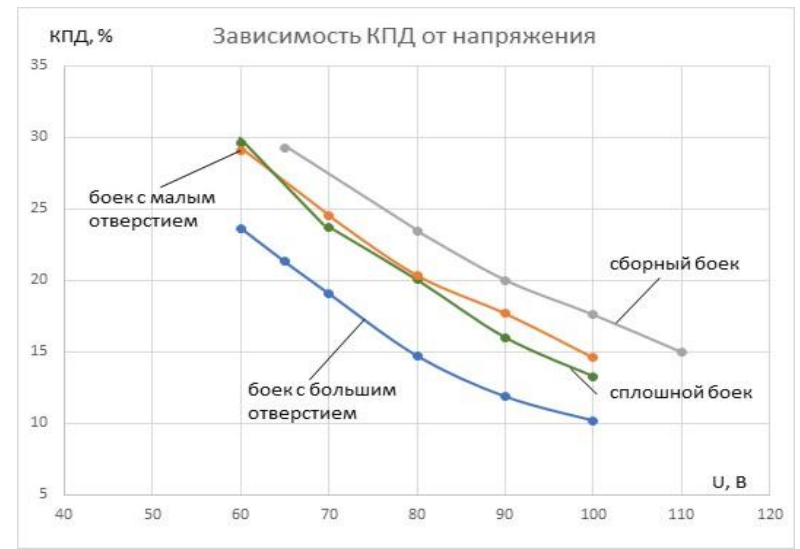
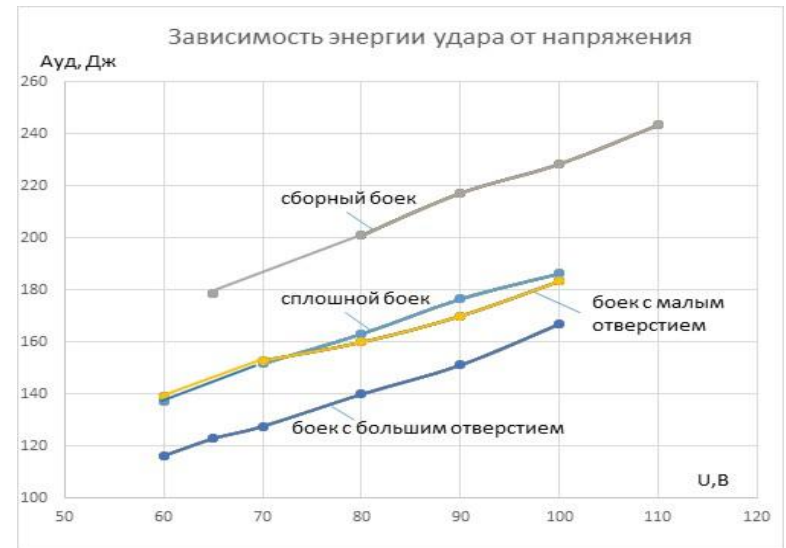
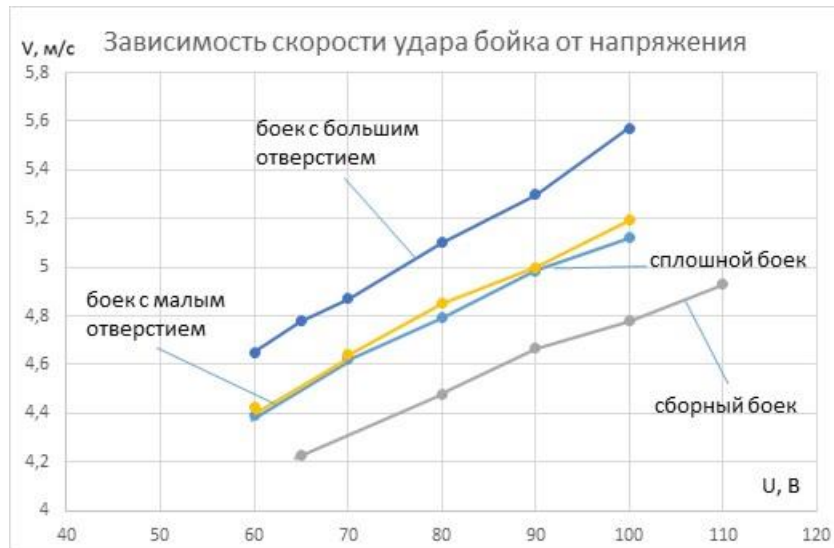
Амплитуда импульсов давления в силовом элементе скважинного виброисточника



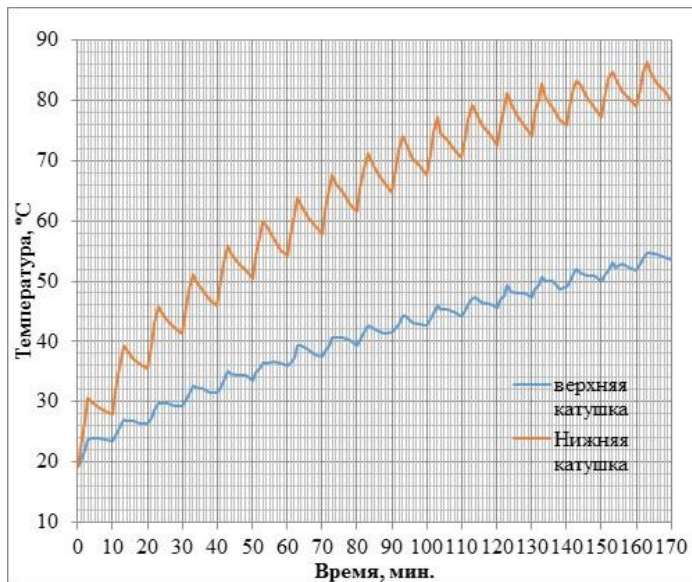
- 1- сплошной боек
- 2- сплошной боек и переходник
- 3- боек с малым сквозным отверстием и переходником
- 4- боек с малым сквозным отверстием
- 5- боек с большим сквозным отверстием и переходником



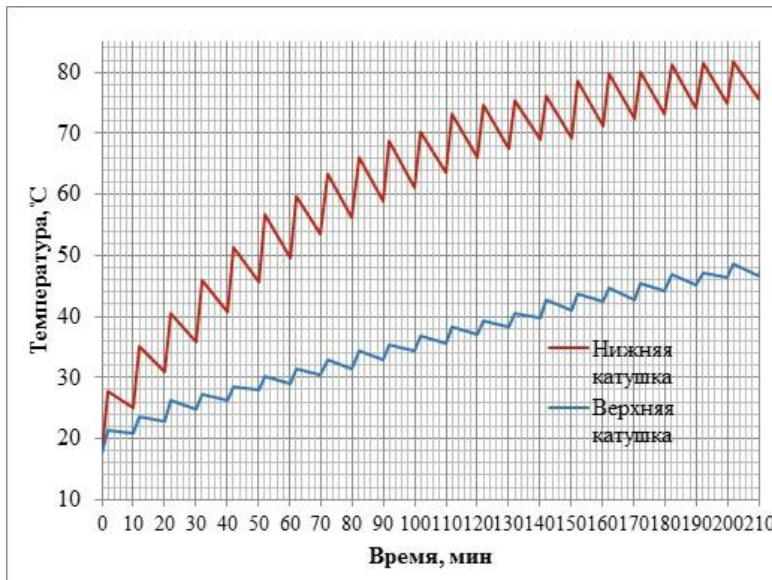
Результаты динамических испытаний



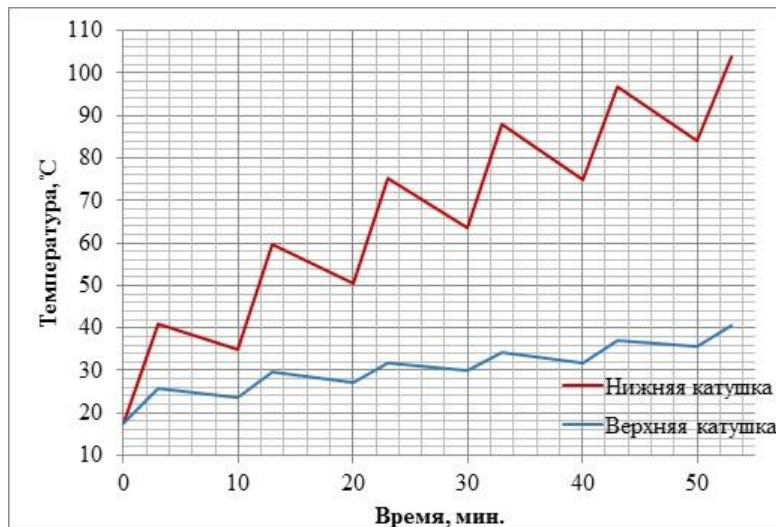
Тепловые испытания ЭУУ



Нагрев катушек при работе ЭУУ с бойком $m = 14,2$ кг на напряжении $U=70$ В с ПВ=30%.

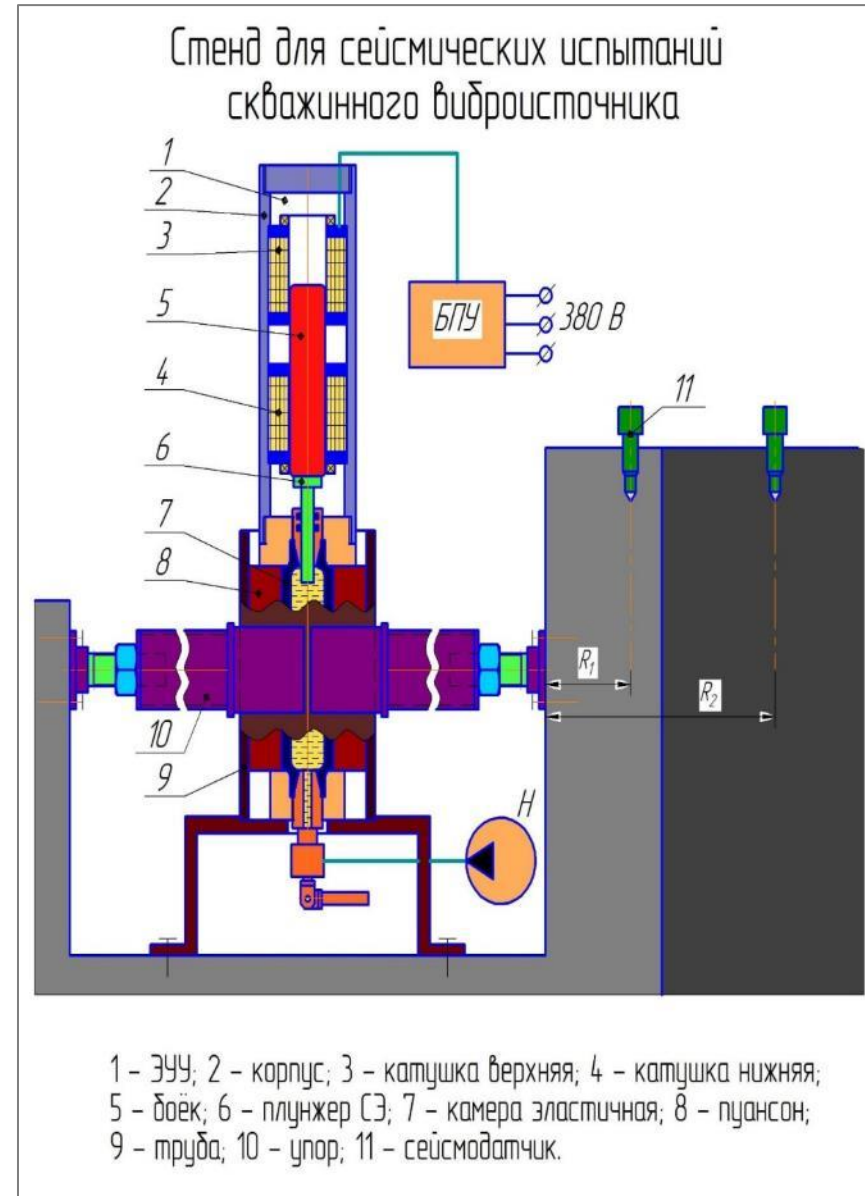


Нагрев катушек при работе ЭУУ с бойком $m=20$ кг на напряжении $U=65$ В с ПВ=20%.

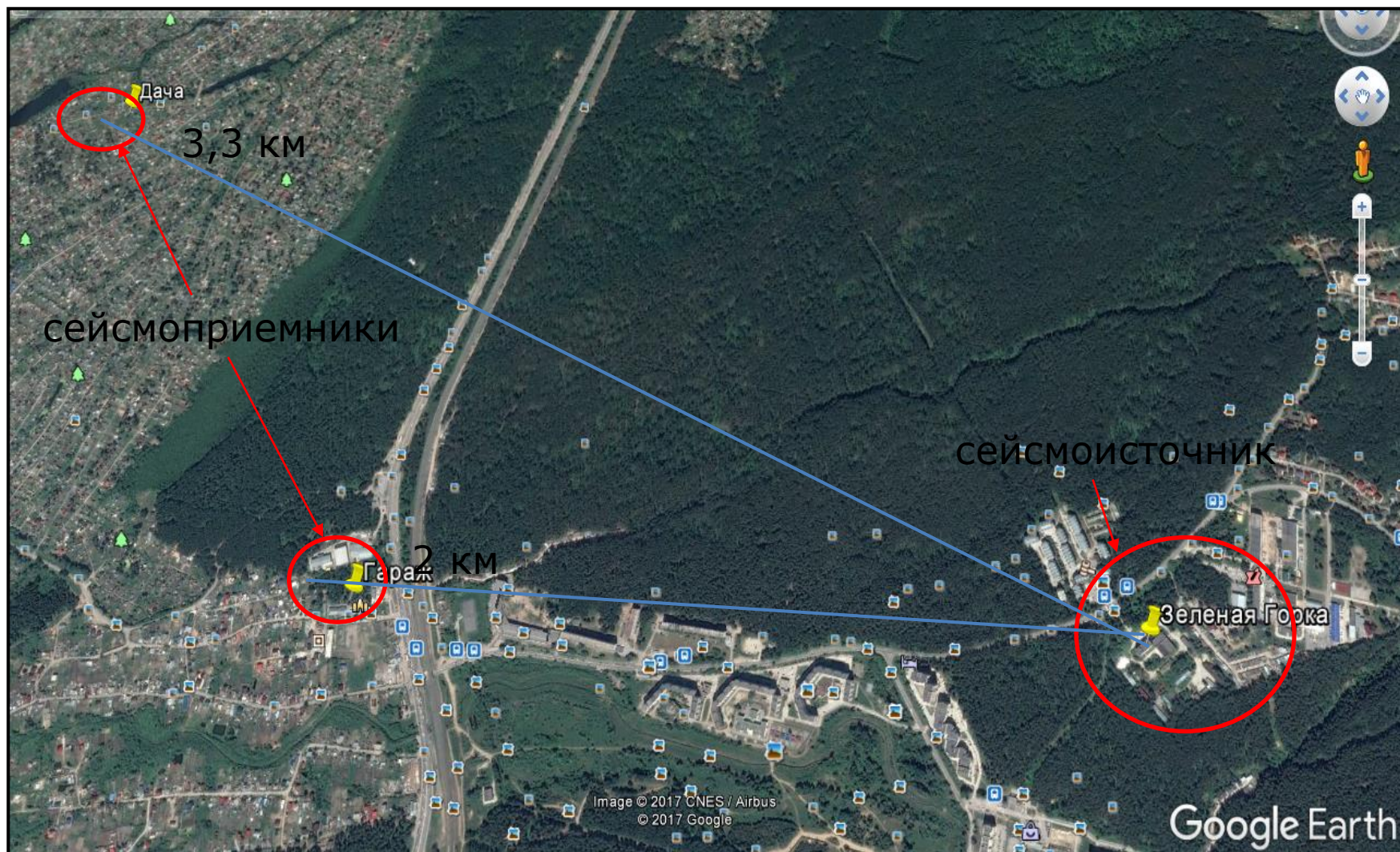


Нагрев катушек при работе ЭУУ с бойком $m=20$ кг на напряжении $U=80$ В с ПВ= 30%.

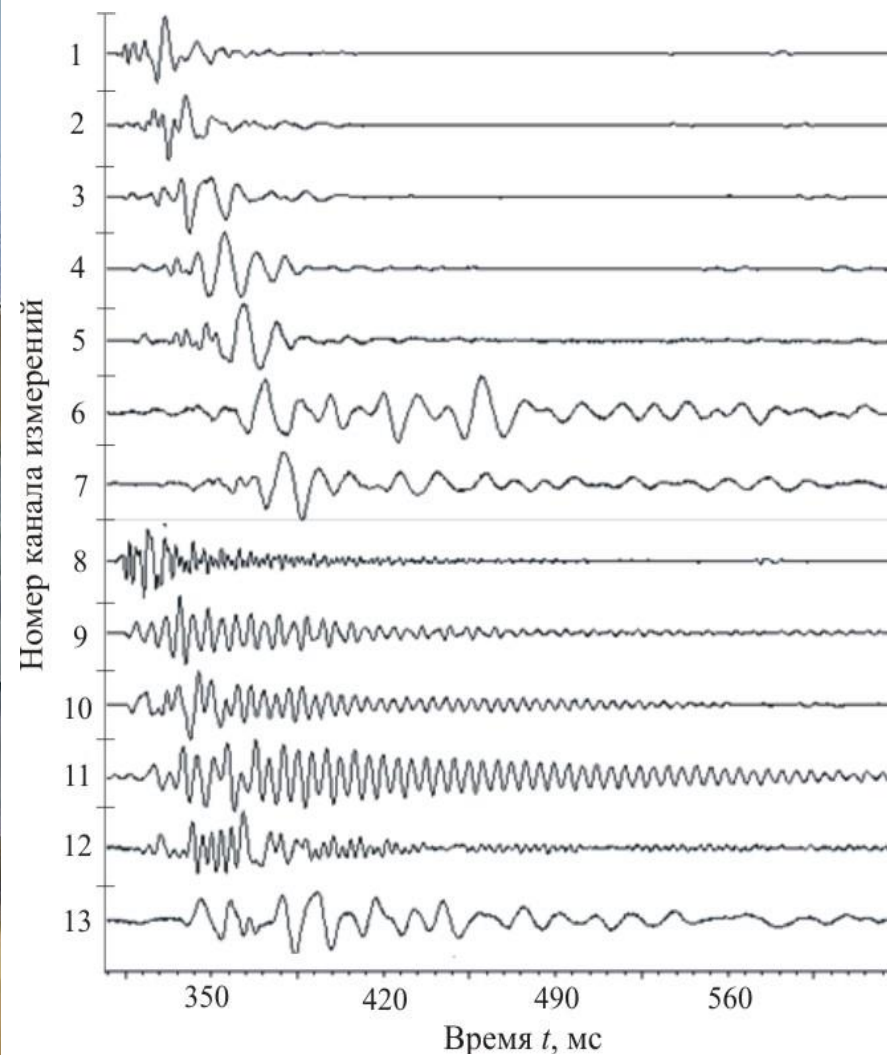
Стенд для исследования сейсмических характеристик виброисточника на Зеленой горке



Карта размещения виброисточника и сейсмоприемников в районе Зеленая Горка, г.Новосибирск



Испытания виброисточника в полевых условиях



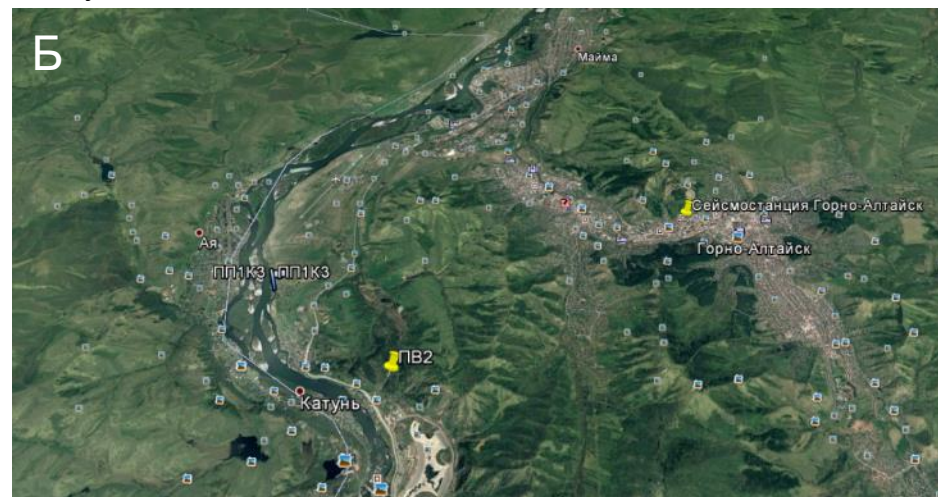
Сейсмоакустические сигналы, зарегистрированные сейсμοприемниками 1 – 13 при ударе бойком вибратора по массиву гранита

Испытания виброисточника в полевых условиях в предгорьях Алтая

Разработан и изготовлен опытный образец скважинного виброисточника с силовым элементом в качестве излучателя. Проведены его сейсмические испытания на стенде на Зеленой горке и на горном массиве около реки Катунь в районе г. Горно-Алтайск. Регистрация амплитуды сейсмического сигнала осуществлялась на расстояниях до 7 км. Установлено, что абсолютные значения амплитуды сигналов разработанного скважинного, а также их удельная на киловатт потребляемой мощности амплитуда выше, чем у дебалансного поверхностного виброисточника

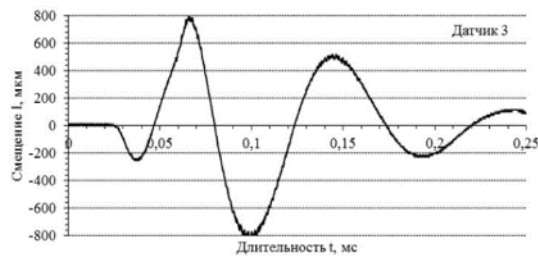
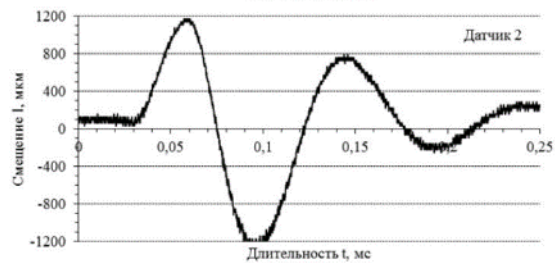
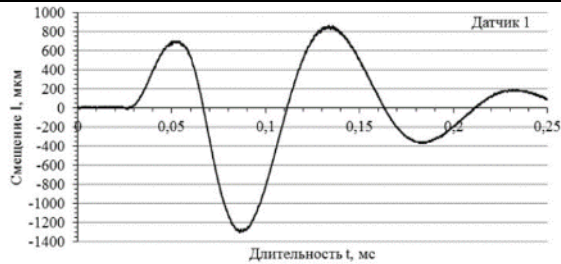


А – фото размещения ПБ1 на берегу реки Катунь, Б – схема наблюдений.

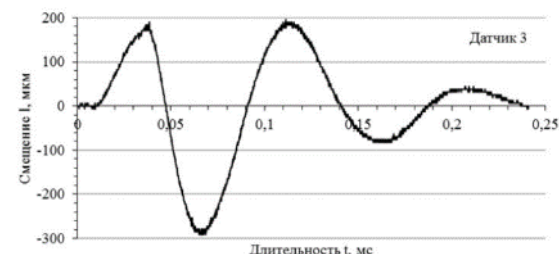
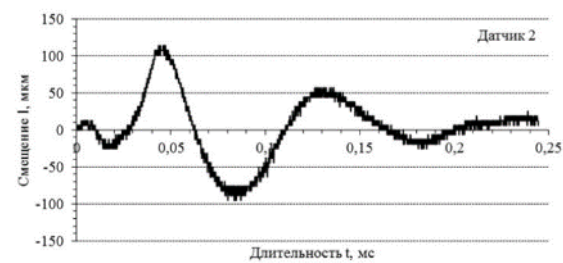
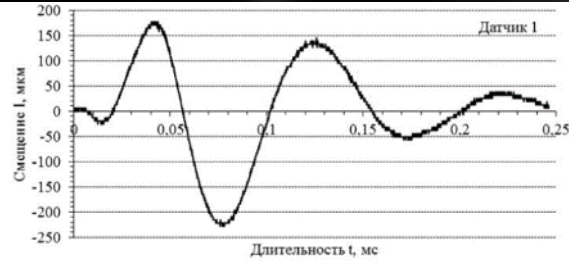


А – фото размещения ПБ2, Б – схема наблюдений.

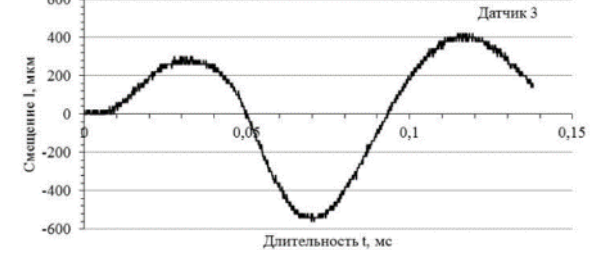
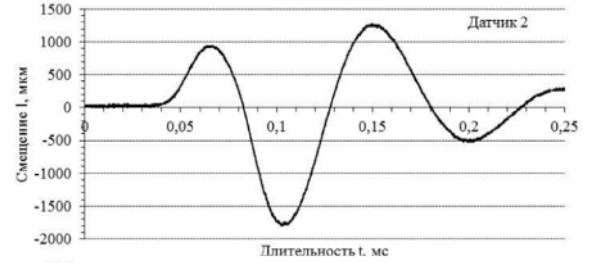
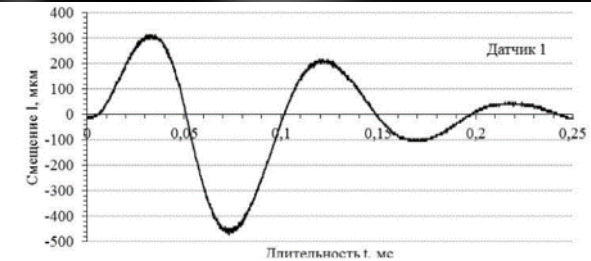
Осциллограммы сигналов от трех датчиков деформации на обсадной трубе



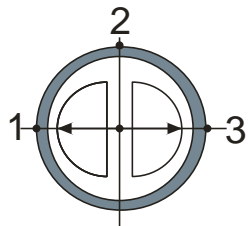
для СЭ1 и сплошного бойка $m_6=14\text{кг}$
при напряжении $U=65\text{В}$



для СЭ2 и сплошного бойка $m_6=14\text{кг}$
при напряжении $U=80\text{В}$

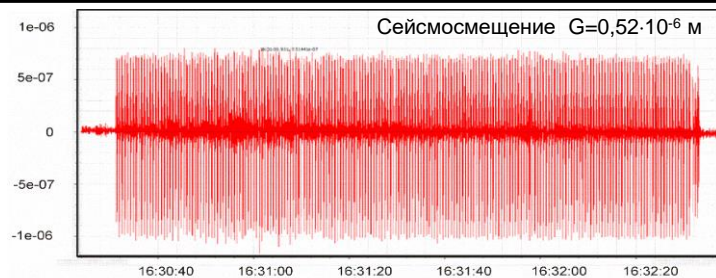


для СЭ2 и сплошного бойка $m_6=20\text{кг}$
при напряжении $U=80\text{В}$

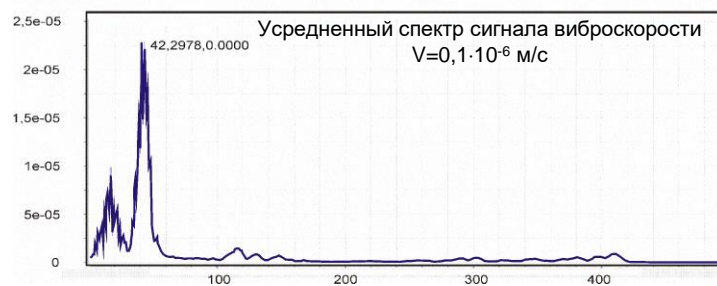
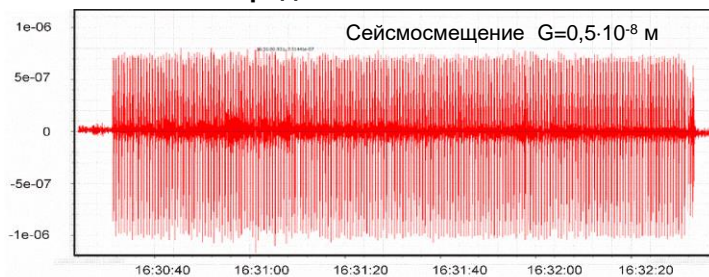


Расположение датчиков деформации
типа КД33, КД34 на обсадной колонне

Регистрация сейсмосигналов от скважинного импульсного виброисточника на различном расстоянии



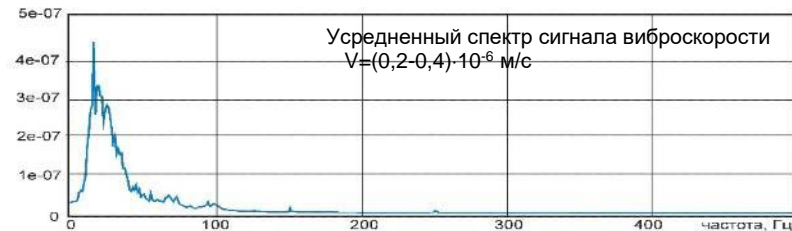
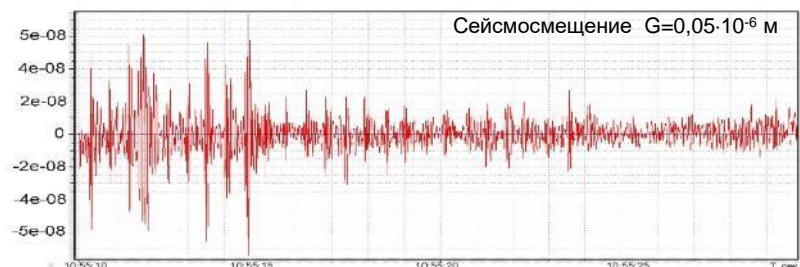
рядом со скважиной



на расстоянии 3,3 км

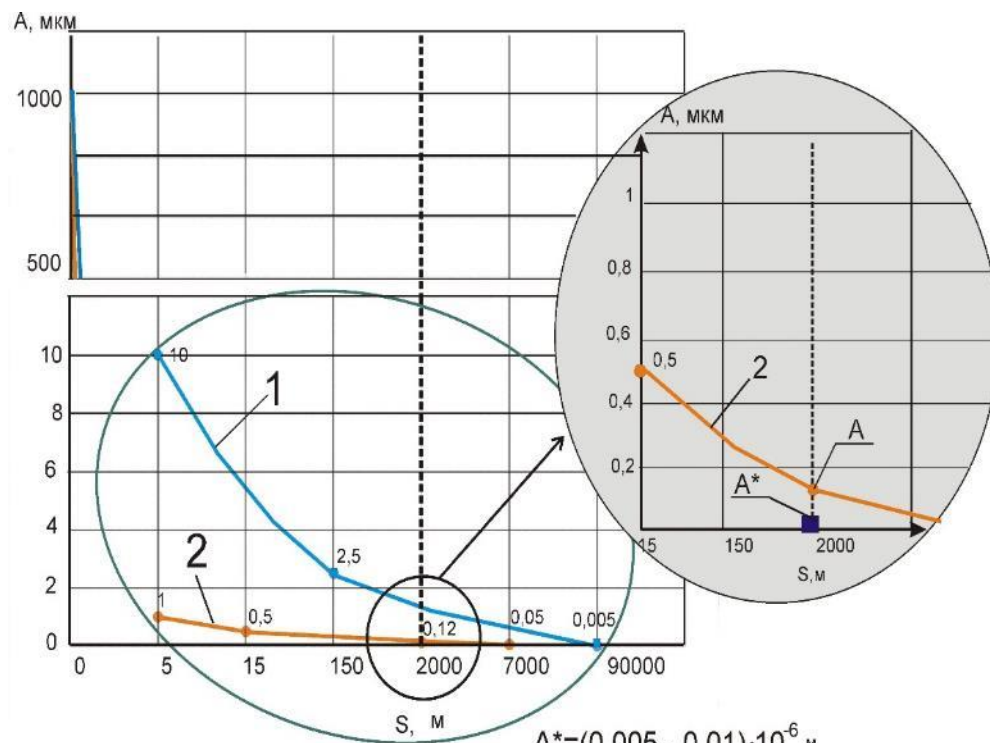


на расстоянии 2 км



на расстоянии 7 км

Сравнительная оценка двух типов виброисточников



$$A^* = (0,005 - 0,01) \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

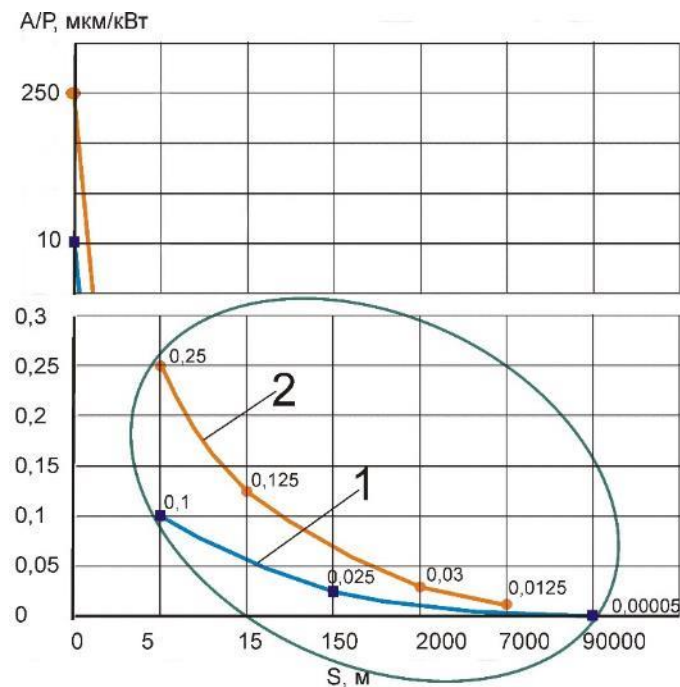
$$A = 0,12 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

$$A / A^* = (24 - 12)$$

Сравнение амплитуды сейсмического сигнала от двух виброисточников в зависимости от расстояния

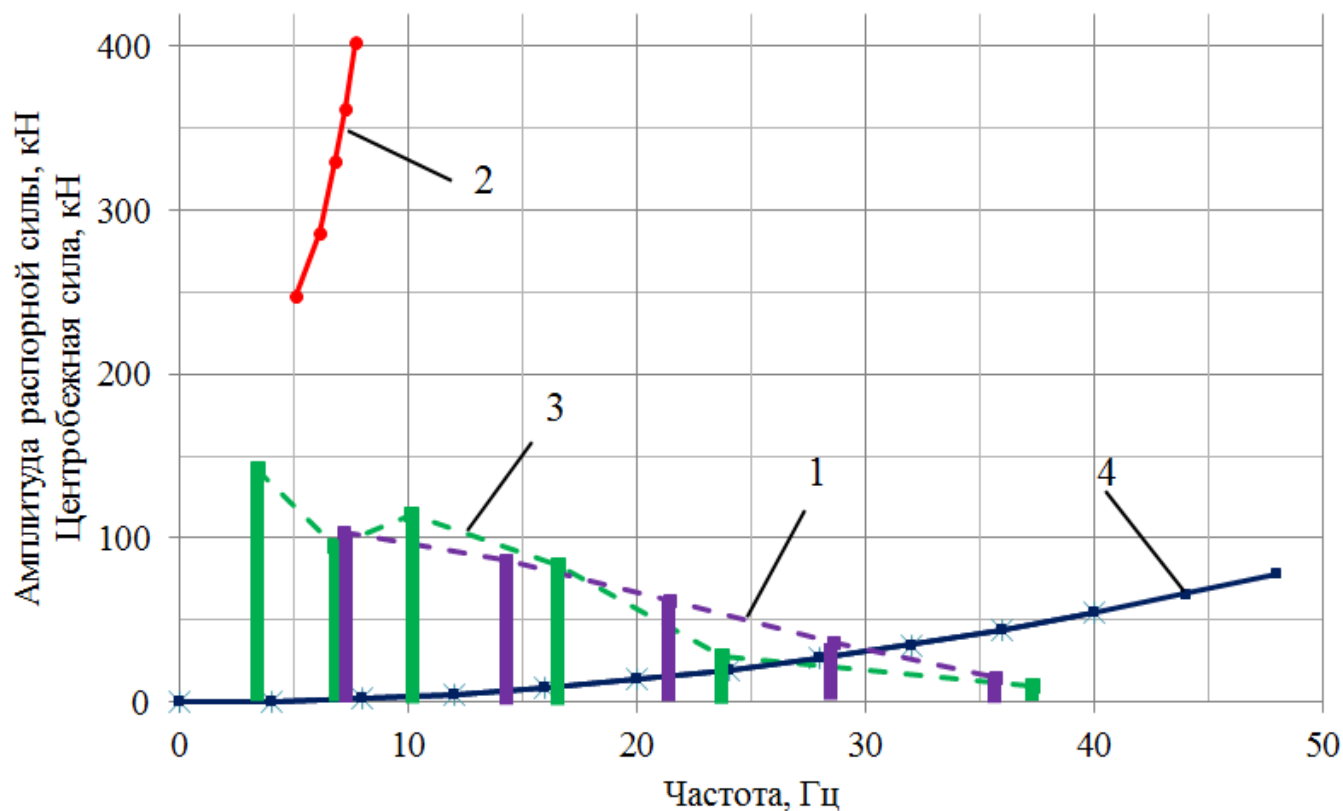
● - 1-дебалансный виброисточник на поверхности- $F_m=60\text{т}$, $P=100\text{ кВт}$

● - 2-скважинный эл.-магнитный импульсный виброисточник $\Delta p_{\text{имп}}=180\text{ ат}$, $F_m=30-35\text{ т}$, $P=4\text{ кВт}$



Сравнение удельной амплитуды сейсмического сигнала от двух виброисточников в зависимости от расстояния

Амплитудно-частотные характеристики виброисточников



1,2,3 – импульсные скважинные виброисточники
4 – гармонический дебалансный виброисточник

ПРЕИМУЩЕСТВА НОВОЙ СКВАЖИННОЙ СЕЙСМОИМПУЛЬСНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

- **НЕТ ОГРАНИЧЕНИЯ ПО ГЛУБИНЕ** – можно работать на глубинах до 3 км;
- **УНИВЕРСАЛЬНОСТЬ** – можно использовать любые скважины для доставки скважинного сейсмоимпульсного комплекса (ССК) непосредственно в нефтяной коллектор и создавать мощное вибросейсмическое воздействие (ВСВ) на пласты независимо от особенностей геологического строения вышележащей толщи налегающих пород;
- **НИЗКИЕ ЗАТРАТЫ** на внедрение новой технологии, так как для производства ССК используется проверенное многолетней практикой серийное скважинное оборудование;
- **ВЫСОКАЯ РЕНТАБЕЛЬНОСТЬ** – массогабаритные параметры ССК почти в 1000 раз, а энергопотребление в 30 раз меньше соответствующих параметров поверхностных вибросейсмических платформ;
- **ВОЗМОЖНОСТЬ НИЗКОЗАТРАТНОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ** – ССК можно эффективно использовать в качестве мощного генератора сейсмических волн для «прозвучивания» массива горных пород между скважинами с целью разведки и доразведки нефтяных и других месторождений полезных ископаемых, включая современный формат 3Д сейсмики.

ПРОГНОЗИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ВНЕДРЕНИЯ НОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ

В настоящее время в России около 5.500 действующих скважин и около 100 тысяч законсервированных, из которых можно с помощью ССК дополнительно извлечь 50-150% от объема извлеченной нефти.

Один ССК способен обслуживать куст из нескольких скважин.

Кроме того, появляется возможность организовать добычу на законсервированных скважинах, в первую очередь на тех, которые имеют необходимую инфраструктуру. Это обеспечит нефтяные компании России дополнительными запасами нефти на несколько десятилетий.



ВЫВОДЫ

1. Виброисточник с двумя силовыми элементами обеспечивает энергию удара в диапазоне 145–250 Дж вниз и вверх. Наличие второго силового элемента, взаимодействующего с обсадной колонной, увеличивает частоту импульсов до 5.1 – 6.8 Гц и КПД до 0.44 – 0.59. Данная конструктивная схема может использоваться в вертикальных, наклонных и горизонтальных скважинах.

2. В результате экспериментальных исследований скважинного импульсного виброисточника в полевых условиях было устойчиво зарегистрировано прохождение его сигнала в ближней зоне на расстоянии 220 и 1200 м и в дальней зоне на расстоянии до 7000 м. Амплитуды сигналов при этом убывали от 1000 мкм на поверхности излучающей колонны до 0,12 мкм на расстоянии 2000 м от источника.

3. В результате выполненных сопоставлений сейсмических характеристик скважинного импульсного виброисточника с силовыми элементами с аналогичными характеристиками виброизлучающих платформ на поверхности, используемых для геофизических работ установлено:

3.1 Мощность, потребляемая импульсным скважинным электромагнитным виброисточником с силовыми излучающими элементами в 25 раз меньше мощности виброизлучающей платформы на поверхности земли.

3.2. При излучении из скважины на глубине 1,5-2 км, импульсный виброисточник с силовыми излучающими элементами на одинаковом расстоянии от скважины будет обеспечивать амплитуду сейсмосигнала до 20-25 раз больше, чем виброплатформа с поверхности. Это свидетельствует о высокой перспективности использования скважинных импульсных виброисточников с силовыми излучающими элементами для виброволнового воздействия на продуктивные пласты с целью повышения их нефтеотдачи и интенсификации добычи углеводородов на истощенных месторождениях России.

ПАТЕНТНАЯ ЗАЩИТА, НОУ ХАУ

Весь модельный ряд скважинных силовых элементов защищен пакетом патентов (четвертое поколение - 2010-2016 годы).

Патент на скважинный вибросейсмический источник находится в стадии оформления.

Видеоматериал испытаний образца на стенде:

<https://youtu.be/-8WonG-WOrs>

<https://youtu.be/MY4aZz-O3n0>

