



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,  
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2007139230/03, 22.10.2007

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
22.10.2007

(45) Опубликовано: 10.04.2009 Бюл. № 10

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: RU 57148 U1, 10.10.2006. SU 803977 A1,  
15.02.1981. SU 1033210 A1, 07.08.1983. SU  
764745 A1, 23.09.1980. RU 2149702 C1,  
27.05.2000. RU 2105613 C1, 27.02.1998. US  
4743364 A1, 10.05.1988. US 6095337 A1,  
01.08.2000.

Адрес для переписки:

634055, г.Томск, пр. Академический, 2/3,  
Институт сильноточной электроники СО  
РАН

(72) Автор(ы):

Дядин Валерий Иванович (RU),  
Козырев Андрей Владимирович (RU),  
Подковыров Виктор Георгиевич (RU),  
Сочугов Николай Семенович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

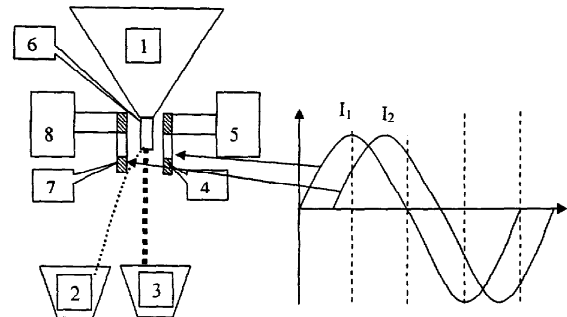
Институт сильноточной электроники СО  
РАН (RU)

## (54) ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЙ СЕПАРАТОР

(57) Реферат:

Изобретение относится к области обогащения полезных ископаемых и может быть использовано для сепарации мелких металлических включений, в частности золота, из потока сыпучего материала, в частности песка россыпных и техногенных месторождений. Электродинамический сепаратор проводящих частиц содержит катушку с источником питания для генерации импульсного магнитного поля, средство подачи смеси в зону магнитного поля, приемную емкость для проводящих частиц, приемную емкость для непроводящих частиц. Дополнительно содержит вторую катушку с источником питания, расположенную соосно первой. Импульсы магнитного поля второй катушки имеют задержку относительно импульсов магнитного поля первой катушки

на время  $\Delta T = 0,1 \div 0,4 T_{\text{имп}}$ , где  $T_{\text{имп}}$  - длительность импульса магнитного поля. Технический результат заключается в повышении эффективности сепарации за счет выделения мелких и тонких фракций металла, не выделяющихся гравитационными методами из-за физико-химических особенностей поверхности частиц. 3 ил.



Фиг. 2



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,  
PATENTS AND TRADEMARKS

(51) Int. Cl.  
**B03C 1/02** (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: **2007139230/03, 22.10.2007**

(24) Effective date for property rights:  
**22.10.2007**

(45) Date of publication: **10.04.2009 Bull. 10**

Mail address:  
**634055, g.Tomsk, pr. Akademicheskij, 2/3,  
Institut sil'notochnoj ehlektroniki SO RAN**

(72) Inventor(s):  
**Djadin Valerij Ivanovich (RU),  
Kozyrev Andrej Vladimirovich (RU),  
Podkovyrov Viktor Georgievich (RU),  
Sochugov Nikolaj Semenovich (RU)**

(73) Proprietor(s):  
**Institut sil'notochnoj ehlektroniki SO RAN (RU)**

(54) **ELECTRO-DYNAMIC SEPARATOR**

(57) Abstract:

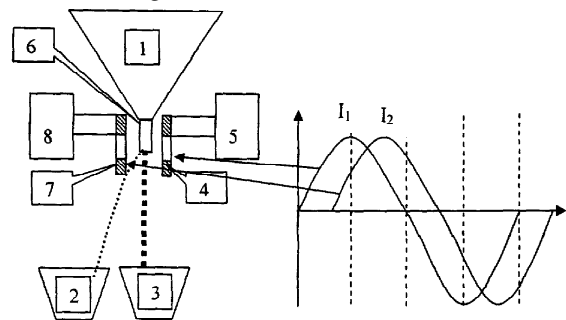
FIELD: mining.

SUBSTANCE: invention refers to concentrating minerals and can be implemented for separation of small metallic inclusions, particularly, gold from flow of bulk solids, specifically, from sand of placer and anthropogenic deposits. The electro-dynamic separator of conducting particles contains a coil with a power source for generating pulse magnet field, a facility for supplying mixture in magnet field zone, an intake capacity for conducting particles, and an intake capacity for non-conducting particles. Additionally the separator contains the second coil with power source assembled coaxially to the first one. Pulses of magnet field of the second coil are retarded relative to pulses of magnet field of the first coil for the period of  $\Delta T = 0.1 \div 0.4 T_{puls}$ ,

where  $T_{puls}$  is duration of pulse of magnet field.

EFFECT: increased efficiency of separation due to extraction of small and thin metal fractions which can not be extracted by gravitation methods because of physical-chemical properties of particle surface.

1 cl, 3 dwg



Фиг. 2

RU 2 3 5 1 3 9 8 C 1

RU 2 3 5 1 3 9 8 C 1

Изобретение относится к области обогащения полезных ископаемых и может быть использовано для сепарации мелких металлических включений, в частности золота, из потока сыпучего материала, в частности песка россыпных и техногенных месторождений.

5 Известно, что основные потери россыпного и рудного золота происходят на операциях первичного обогащения, в которых теряется главным образом тонкое, пластинчатое и пылевидное золото с размером частиц от миллиметра до нескольких микрон. В связи с истощением большинства месторождений в переработку  
10 вовлекается все более бедное, труднообогатимое и сложное по составу сырье. В стране за многие десятилетия золотодобычи накоплено также значительное количество техногенных россыпей, которые нередко конкурируют по содержанию и запасам золота с месторождениями, вовлекаемыми сегодня в переработку [1]. Однако  
15 качественное обогащение труднообогатимых и техногенных россыпей возможно только с помощью новых технологических процессов.

Применяемые в современной золотодобыче гравитационные методы и аппараты извлечения видимо подошли к пределу своих физических возможностей. Несмотря на  
20 огромное количество изобретений и усовершенствований, металл размером менее 0.2 мм этими аппаратами улавливается плохо [2]. По оценкам специалистов в российских россыпях осталось мелкого и тонкого золота примерно столько, сколько уже добыто [3]. Около 10000 тонн золота лежит в техногенных месторождениях,  
25 расположенных на поверхности Земли, чаще всего вблизи от уже обустроенных районов. Но чтобы извлечь это золото, необходимы новые технологии первичного обогащения, которые позволили бы эффективно извлекать золото в диапазоне классов крупности - 0.2 - 0.01 мм.

Устройства, реализующие новые способы добычи, должны иметь, по сравнению с гравитационными, лучшую извлекающую способность в диапазоне классов  
30 крупности - 0.2-0.01 мм., более высокую производительность, а в сравнении с выщелачивающими методами быть экологически безопасными и иметь потенциальную возможность дальнейшего совершенствования и улучшения своих технических и технологических характеристик.

Россыпные месторождения являются естественными смесями минералов, в которых  
35 частицы свободного металла отличаются от вмещающих пород высокой электропроводностью. Если на такую смесь подействовать переменным магнитным полем, то во всех частицах минералов будут индуцироваться вихревые токи Фуко. В металлических частицах, благодаря высокой проводимости, вихревые токи будут  
40 значительно сильнее токов во вмещающих породах. Токи Фуко взаимодействуют с внешним магнитным полем так, что проводящее тело выталкивается из области усиленного поля. В результате такого взаимодействия металлическая частица приобретает некоторый импульс, который позволяет отделить проводящие частицы от непроводящих. Этот метод используется при магнитной сепарации сыпучих  
45 минералов в высокоградиентных сепараторах с постоянными магнитами, но создаваемое движущимися постоянными магнитами поле позволяет отделять только сравнительно крупные частицы. Трудность заключается в том, что сила, действующая на проводящую частицу, помещенную в градиентное магнитное поле, зависит от  
50 отношения размера частицы  $R$  к толщине скин-слоя (глубине проникновения магнитного поля в металл)  $\lambda$ . Если размер частицы меньше толщины скин-слоя, то механический импульс, приобретаемый частицей, оказывается очень малым, а конечная скорость частицы стремительно падает при уменьшении отношения  $R/\lambda$ .

Существует значительное количество патентов, посвященных совершенствованию методов электродинамической сепарации проводящих частиц. В патентах США №4743364 и №6095337 [4, 5] описан метод сепарации электрически проводящих частиц от непроводящего материала, основанный на использовании высокочастотного магнитного поля, возбуждаемого магнитной катушкой в зазоре сердечника, выполненного из ферромагнитного материала. Поток материала, содержащий проводящие частицы, подается в зазор сердечника, где проводящие частицы приобретают импульс, пропорциональный их размеру, и могут быть выделены из потока непроводящих частиц. Недостатком метода является то, что в описанных устройствах частица приобретает импульс, достаточный для сепарации, лишь если ее размер соизмерим с толщиной скин-слоя, который в свою очередь связан с частотой поля соотношением

$$\lambda = \sqrt{\frac{2\pi}{\mu_0 \omega \sigma}},$$

где  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м - магнитная постоянная,  $\omega$ -круговая частота поля,  $\rho$ -удельная проводимость материала частицы. Для случая золота толщина скин-слоя 1 мм будет достигаться при частоте поля около 20 кГц, а для уменьшения скин-слоя в два раза необходимо увеличение частоты поля в четыре раза. Создание высокочастотных полей высокой напряженности является очень сложной технической задачей и требует большого расхода энергии, поэтому минимальный размер частиц, которые могут быть выделены указанными методами, составляет около 0.5 мм.

Обойти многие трудности, непреодолимые как для обычных, так и сверхпроводящих электромагнитов, позволяет техника импульсных магнитных полей. Импульсные магнитные системы потребляют электроэнергию значительно меньше, поэтому их проще охлаждать. Обмотки импульсных катушек можно изготавливать из тонкого проводника и получать в их рабочей зоне поля с характеристиками, недостижимыми для постоянных магнитов, обычных и сверхпроводящих электромагнитов.

Сепаратор, использующий импульсные магнитные поля, описан в устройстве, которое является прототипом данной заявки [6]. Сепаратор содержит загрузочный бункер, приемную емкость для проводящих частиц, приемную емкость для непроводящих частиц, соленоид (катушку) с источником импульсов тока и средство подачи смеси в зону формирования магнитного поля. Принцип действия сепаратора основан на том, что при пропускании импульса тока через катушку, вблизи нее генерируется импульсное высокоградиентное магнитное поле, возбуждающее токи Фуко в проводящей частице, находящейся в этом магнитном поле. Взаимодействие токов Фуко с нарастающим магнитным полем приводит к выталкиванию частицы в область более слабого поля, что позволяет получить эффект пространственного разделения проводящих и непроводящих частиц.

Недостатком прототипа является то, что хотя в процессе нарастания магнитного поля даже мелкая частица металла приобретает скорость, достаточную для сепарации, при спаде поля к концу импульса до нуля скорость частицы также снижается до нуля, так как при смене знака производной поля направление магнитного момента частицы также меняет знак и ускоренная на переднем фронте импульса поля частица будет заторможена на его заднем фронте. В результате у частицы останется лишь очень небольшая скорость, обусловленная конечным смещением частицы в течение короткого импульса тока в катушке. Поэтому сообщить большой импульс малой

частице с помощью единственной индукционной катушки, ток в которой нарастает и спадает до нуля, не удается. Это подтверждается проведенными численными расчетами, позволившими определить скорость частицы в зависимости от ее размеров и параметров поля.

5 На фиг.1 показан график рассчитанной скорости частицы от времени за один полупериод синусоидального тока катушки, состоящей из 10 витков (радиус  
внутреннего витка 2 мм и внешнего - 10 мм). Для расчета были взяты следующие  
10 величины: плотность материала частицы  $\rho=15000 \text{ кг/м}^3$  удельная проводимость  
частицы  $\sigma=5 \cdot 10^{-7} \text{ (Ом}\cdot\text{м)}$ , радиус частицы  $R=0,1 \text{ мм}$ , длительность импульса 120 мкс,  
амплитуда тока 3 кА. При этом максимальная напряженность магнитного поля на оси  
катушки составляет  $3 \cdot 10^6 \text{ А/м}$ , а градиент напряженности  $1,5 \cdot 10^9 \text{ А/м}^2$ . Можно видеть,  
15 что в течение действия импульса поля частица приобретает скорость порядка 1 см/сек,  
но к концу импульса тормозится до очень малых скоростей, не позволяющих  
осуществить эффективное выделение частицы из потока. Использование  
несимметричной формы импульса тока, предложенной в прототипе, не приведет к  
кардинальному изменению ситуации, поскольку за время нарастания поля частица не  
20 успеет существенно изменить свое положение, сдвинувшись в область слабого поля,  
поэтому частица будет заторможена практически до нулевой скорости даже медленно  
спадающим полем.

Технический результат, достигаемый в данном сепараторе, - повышение  
эффективности сепарации за счет выделения мелких и тонких фракций металла, а  
25 также частиц металла, не выделяющихся гравитационными методами из-за  
физико-химических особенностей поверхности частиц.

Указанный технический результат достигается тем, что в известном  
электродинамическом сепараторе, содержащем катушку с источником питания для  
генерации импульсного магнитного поля, средство подачи смеси в зону магнитного  
30 поля, приемную емкость для проводящих частиц, приемную емкость для  
непроводящих частиц, согласно изобретению используется дополнительно вторая  
катушка с источником питания, расположенная соосно первой, а импульсы  
магнитного поля второй катушки имеют задержку относительно импульсов  
магнитного поля первой катушки время  $\Delta T=0,1 \div 0,4 T_{\text{имп}}$ , где  $T_{\text{имп}}$  - длительность  
35 импульса магнитного поля.

Предлагаемое устройство изображено на фиг. 2. Как и в прототипе, сепаратор  
содержит загрузочный бункер 1, приемную емкость для проводящих частиц 2,  
40 приемную емкость для непроводящих частиц 3, соленоид (катушку) 4 с источником  
импульсов тока 5 и средство подачи смеси в зону формирования магнитного поля 6.  
Но предлагаемое устройство кроме этого содержит вторую катушку 7 с источником  
питания 8.

Устройство работает следующим образом. В загрузочный бункер загружается  
45 смесь, включающая частицы металла, например золота, которая через средство  
подачи 6 поступает в зону между катушками 4 и 7. На катушки 4 и 7 от генераторов  
импульсов 5 и 8 с определенной частотой поступают импульсы тока, причем импульс  
тока в катушке 7 задержан относительно импульса тока в катушке 4. В этом случае  
смена знака производной магнитной индукции будет одновременно сопровождаться  
50 сменой знака градиента индукции, а сила, действующая на частицу, не будет менять  
знака, пока не закончатся оба импульса тока. В результате у частицы к этому моменту  
сохранится высокая скорость движения. Под действием импульса бегущего  
магнитного поля частицы металла будут приобретать скорость, направленную в

сторону второй катушки и в процессе падения будут выделяться из потока непроводящих частиц и попадать в приемный бункер для полезного продукта 2. Импульсы тока могут иметь форму, близкую к одному периоду синусоиды, как показано на фиг.3, но могут иметь и форму половины периода синусоиды, или же иметь длительность  $nT/2$ , где  $n$  - целые числа,  $T$  - длительность периода.

На фиг. 3 приведены результаты расчетов скорости частицы в поле двух катушек с теми же параметрами, что и на фиг. 1. Можно видеть, что частица всегда ускоряется в импульсном бегущем магнитном поле, формируемом двумя катушками.

Максимальная скорость частицы достигается к концу второго импульса  $V_{\max} \cong 1.6$  см/с. Если сдвиг между импульсами тока варьировать, то максимальная скорость будет меняться, и оптимальный режим наблюдается при сдвиге между импульсами  $\Delta t \approx T/3$  (именно этот случай и демонстрируется на фиг. 3).

Экспериментальная проверка принципа действия предлагаемого устройства была проведена на макете, собранном по схеме, представленной на фиг.2. Катушки 4 и 7 были выполнены из медной шины толщиной 0,2 и шириной 5 мм. Внутренний диаметр катушек был 5 мм, внешний диаметр - 18 мм, количество витков в катушках - 20. Катушки подключались к генераторам 5 и 8, создающим в катушках импульсы тока с формой, близкой к одному периоду синусоиды. Амплитуда импульсов тока была 2,5 кА, длительность импульса 200 мкс. В качестве проводящих частиц использовались частицы меди диаметром 0,25 мм. Вместо приемных бункеров 2 и 3 размещалась приемная плоскость, позволяющая фиксировать распределение частиц вдоль оси катушек. Расстояние от устройства подачи 6 до приемной плоскости составляло 0,25 м, что обеспечивало время пролета частиц 0.22 секунды. В экспериментах фиксировалось среднее отклонение частиц от точки вертикального падения из устройства подачи, откуда определялась скорость, которую частица приобретает в сепараторе в приближении ее постоянства во время падения.

Были проведены три эксперимента: с пропусканием импульса тока только через катушку 4 и с пропусканием тока через обе катушки. Результаты экспериментов приведены ниже.

Эксперимент 1														
35	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Параметр</th> <th>Значение</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Амплитуда тока в катушке 4</td> <td>2500 А</td> </tr> <tr> <td>Амплитуда тока в катушке 7</td> <td>0А</td> </tr> <tr> <td>Среднее смещение частиц</td> <td>не зафиксировано</td> </tr> <tr> <td>Средняя скорость частиц, приобретенная в сепараторе</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	Параметр	Значение	Амплитуда тока в катушке 4	2500 А	Амплитуда тока в катушке 7	0А	Среднее смещение частиц	не зафиксировано	Средняя скорость частиц, приобретенная в сепараторе	0			
Параметр	Значение													
Амплитуда тока в катушке 4	2500 А													
Амплитуда тока в катушке 7	0А													
Среднее смещение частиц	не зафиксировано													
Средняя скорость частиц, приобретенная в сепараторе	0													
Эксперимент 2														
40	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Параметр</th> <th>Значение</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Амплитуда тока в катушке 4</td> <td>2500 А</td> </tr> <tr> <td>Амплитуда тока в катушке 7</td> <td>2500 А</td> </tr> <tr> <td>Время задержки между импульсом тока в катушке 4 и импульсом тока в катушке 7</td> <td>40 мкс</td> </tr> <tr> <td>45</td> <td>Среднее смещение частиц</td> <td>5 мм</td> </tr> <tr> <td>Средняя скорость частиц, приобретенная в сепараторе</td> <td>2,3 см/сек</td> </tr> </tbody> </table>	Параметр	Значение	Амплитуда тока в катушке 4	2500 А	Амплитуда тока в катушке 7	2500 А	Время задержки между импульсом тока в катушке 4 и импульсом тока в катушке 7	40 мкс	45	Среднее смещение частиц	5 мм	Средняя скорость частиц, приобретенная в сепараторе	2,3 см/сек
Параметр	Значение													
Амплитуда тока в катушке 4	2500 А													
Амплитуда тока в катушке 7	2500 А													
Время задержки между импульсом тока в катушке 4 и импульсом тока в катушке 7	40 мкс													
45	Среднее смещение частиц	5 мм												
Средняя скорость частиц, приобретенная в сепараторе	2,3 см/сек													
Эксперимент 3														
50	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Параметр</th> <th>Значение</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Амплитуда тока в катушке 4</td> <td>2500 А</td> </tr> <tr> <td>Амплитуда тока в катушке 7</td> <td>2500 А</td> </tr> <tr> <td>Время задержки между импульсом тока в катушке 4 и импульсом тока в катушке 7</td> <td>45 мкс</td> </tr> <tr> <td>Среднее смещение частиц</td> <td>13 мм</td> </tr> <tr> <td>Средняя скорость частиц, приобретенная в сепараторе</td> <td>6 см/сек</td> </tr> </tbody> </table>	Параметр	Значение	Амплитуда тока в катушке 4	2500 А	Амплитуда тока в катушке 7	2500 А	Время задержки между импульсом тока в катушке 4 и импульсом тока в катушке 7	45 мкс	Среднее смещение частиц	13 мм	Средняя скорость частиц, приобретенная в сепараторе	6 см/сек	
Параметр	Значение													
Амплитуда тока в катушке 4	2500 А													
Амплитуда тока в катушке 7	2500 А													
Время задержки между импульсом тока в катушке 4 и импульсом тока в катушке 7	45 мкс													
Среднее смещение частиц	13 мм													
Средняя скорость частиц, приобретенная в сепараторе	6 см/сек													

Таким образом, эксперименты доказывают, что использование в устройстве системы из двух катушек позволяет существенно улучшить эффективность сепарации мелких и тонких фракций металла.

5 Источники информации

1. Техногенные месторождения минерального сырья. / Макаров А.Б. // Соросовский образовательный журнал, том 6, №8, 2000.

10 2. Беневольский Б.И. Золото России: проблемы использования и воспроизводства минерально-сырьевой базы. // М.: «Геоинформцентр». 2002. 464 с.

3. О главных вопросах изучения обломочного вещества осадочных пород и россыпных месторождений золота./ Сурков А.В., Хотылев О.В. // Матер. Науч. Семинара Система «Планета Земля» (Нетрадиционные вопросы геологии) 4-6 февраля 2004 г., Москва, МГУ, с.103-114.

15 4. Патент США US 4743364, 10 мая 1988 г.

5. Патент США US 6095337, 1 августа 2000 г.

6. Патент на полезную модель RU, по заявке №2006116399, 12.05 2006 г., положительное решение от 13.06.2007 г.

20

Формула изобретения

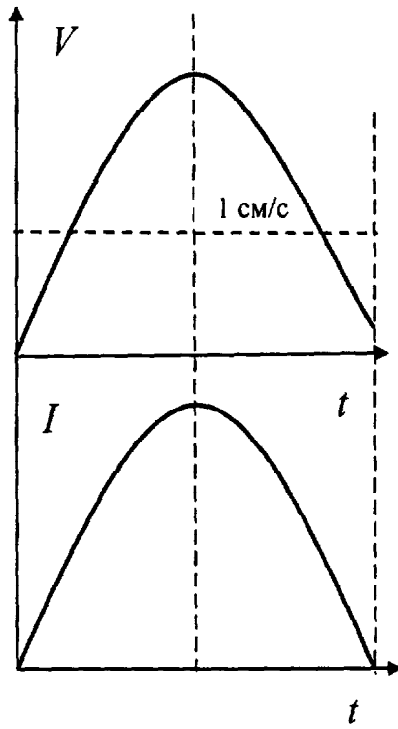
Электродинамический сепаратор проводящих частиц, содержащий катушку с источником питания для генерации импульсного магнитного поля, средство подачи смеси в зону магнитного поля, приемную емкость для проводящих частиц, приемную  
25 емкость для непроводящих частиц, отличающийся тем, что дополнительно содержит вторую катушку с источником питания, расположенную соосно первой, причем импульсы магнитного поля второй катушки имеют задержку относительно импульсов магнитного поля первой катушки на время  $\Delta T = 0,1 \div 0,4 T_{имп}$ , где  $T_{имп}$  - длительность  
30 импульса магнитного поля.

35

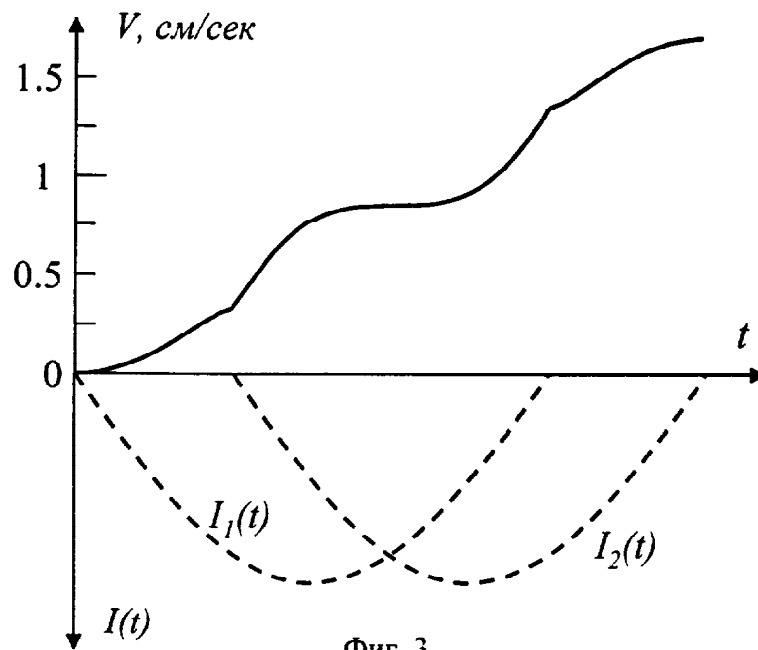
40

45

50



Фиг. 1



Фиг. 3