

УДК 622.271

**Г.М. Еремин**

## **ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕПУСКНЫХ ПРОЦЕССОВ НА КАРЬЕРАХ И РУДНИКАХ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ ГОРНЫХ РАБОТ**

*Приведено обоснование для выбора типа рудоперепускных схем на карьерах с применением рудоспусков. Показано, что учёт только комплекса факторов горно-технического и горно-геологического плана может обеспечить их эффективную работу в течение длительного периода с большей производительностью и меньшим разрушением стволов и бункеров рудоспусков.*

*Ключевые слова: рудоспуск, вертикальный, наклонный, параметры рудоспуска, бункер, негабарит, снег, смерзание руды, дробильная установка, наклонный конвейер.*

**В** настоящее время на карьерах и рудниках как у нас в стране, так и за рубежом широко применяются рудо- и породоперепускные системы [1—4]. Чаще всего это сборочные выработки (артерии), по которым руда (порода) с вышележащих горизонтов перепускается самоотёком под действием силы тяжести на концентрационные горизонты, с которых она мощным производительным способом может транспортироваться на поверхность.

Такие системы всё чаще предлагаются применять и использовать при разработке глубоких горизонтов карьеров, когда единичное транспортирование отдельными сосудами (например, автосамосвалами) становится затратным из-за потери производительности, и необходимо, и достаточно накопить в определённом объёме требуемое количество рудной (породной) массы, а затем более производительным способом доставить её на поверхность, например, применением циклично-поточной технологии (ЦПТ) или скиповым стволом.

Как известно, в основе перепускных систем при разработке нагорных

и глубоких карьеров использование рудоспусков и породоспусков. Такие же системы применяются при разработке месторождений (рудных тел) подземным способом, особенно при системах с подэтажным обрушением (рудо- и породоспуски).

Рудоспуски на рудниках и карьерах могут быть различной глубины, сечения, наклона и способа примыкания к аккумулирующему устройству и подачи материала на конвейер или в скип. По способу использования энергии падения кусков руды (породы) или её гашения и обеспечения сохранности стенок рудоспуски бывают: вертикальные, наклонные, зигзагообразные (коленчатые — карьерные рудоспуски, и в подземных условиях — между горизонтами), а также со спиральными съездами к рудоспускам.

По местоположению рудоспуски на карьерах бывают с расположением вблизи контура карьера (внешние), внутри контура, пересекающие рудное тело, и потому срезаемые периодически, в подземных условиях — чаще всего с расположением в лежащем боку залежи (при небольшой мощности рудных тел) и обслуживаю-

ших этажи и подэтажи (при наклонном залегании рудного тела). При разработке мощных месторождений они могут быть блоковые и обслуживать блоки при ведении отработки от висячего бока залежи к лежащему.

На открытых горных разработках при ведении отработки мощных крутопадающих рудных тел, особенно нагорного типа, рудоспусками вскрываются центральные зоны, и рудоспуски могут стать концентрирующим и разделяющим звеном, на которые будут вестись выемочно-погрузочные работы на горизонтах, а руда транспортироваться по периодически срезаемым рудоспускам.

Глубина рудоспусков чаще всего зависит от горно-геологических и горнотехнических условий залегания и отработки рудных тел, и может изменяться в широких пределах: в подземных условиях (подэтажные) до 200-300 м, обслуживающих добычные горизонты, а капитальные (несколько горизонтов) — до 500 и более метров. На открытых разработках — от 100-200 до 500-600 м (нагорный карьер Центрального рудника ОАО «Апатит») и, очевидно, их глубина (высота) зависит от мощности рудного тела (рудных тел) и к какому типу генезиса оно приурочено: нагорное, платформенное или глубинное.

Сечение рудоспусков и форма сечения может быть круглой, овальной, квадратной и прямоугольной. В основном, она связана с тем или иным представлением об устойчивости стенок ствола рудоспуска, способа проходки. В последнее время работники горнорудного профиля и проектных институтов склонны признать целесообразность применения круглого сечения рудоспусков, особенно при применении производительных спосо-

бов их проведения выбуриванием стволов специальными механизмами (машинами). Размеры поперечного сечения рудоспусков зависят от их производительности, крупности перепускаемой руды (породы), длительностью (сроком) эксплуатации этажа, месторождения и др. По данным практики работ на карьерах и рудниках диаметр карьерных рудоспусков составлял 3—6 м (последнее характерно для глубоких рудоспусков апатит-нефелиновых месторождений в Хибинах), и 2—2,5(3) м — в подземных условиях.

Расположение ствола рудоспуска и бункера может быть соосным или со смещением. Первый случай особенно характерен для глубоких рудоспусков в Хибинах и некоторых рудоспусков в подземных условиях, когда ствол рудоспуска используется как аккумулярующее устройство.

В зависимости от климатических и горнотехнических условий (прочностных свойств горных массивов пород и их нарушенности), длительная и надёжная эксплуатация рудоспусков зависит от особенностей их проведения и правил их эксплуатации.

По данным различных исследователей и практики работ нормальная и ритмичная работа рудоспусков зависит от ряда причин и влияющих факторов:

- от особенностей и качества подготовки горной массы взрывным способом;
- от особенностей и закономерностей перемещения горной массы в стволе и бункере рудоспуска;
- от параметров выпускных окон рудоспуска;
- от способа срезки рудоспусков;
- от способов ликвидации негабаритов, попадающих в рудоспуски при их срезке;

— от интенсивности и количества попадающих в рудоспуск трещинных и паводковых вод, заснеженности руды и её температуры;

— от режима выпуска руды.

Вследствие влияния комплекса факторов на эффективную работу рудоспусков не всегда удаётся учесть влияние тех или иных из них, и потому одни из них быстро разрушаются, другие работают не ритмично, с перерывами, требуют ремонта (из-за ликвидации зависания руды в них (в стволе) или в выпускных окнах (течках) при применении ВВ).

В настоящее время в связи с тем, что применение рудоспусков планируется в ряде проектов, в том числе при разработке глубоких горизонтов Сорского карьера, Коашвинского и Центрального рудников ОАО «Апатит» и железорудного рудника «Железный» ОАО «Ковдорский ГОК» и др. при разработке режима эксплуатации рудоспусков и их проведении целесообразно учитывать следующие особенности и закономерности их эффективной работы. Длительные наблюдения за работой рудоперепускных систем на карьерах и рудниках и исследования, проведённые в последнее время, позволили установить, что при применении наклонных рудоспусков происходит меньшее разрушение стволов и бункеров рудоспусков, чем при вертикальной их конструкции. Кинетическая энергия падающих кусков при этом может снижаться на 1-2 порядка в зависимости от угла наклона ствола рудоспусков. Опыт эксплуатации наклонных рудоспусков на рудниках Канады, США, Южной Африки, Чили и др. показали высокую их работоспособность и эффективность их применения.

Особенностью движущегося потока горной массы в виде «облака» в

вертикальном рудоспуске является то, что все куски имеют при ударе максимальную скорость по периметру ствола и при падении очередных порций эти куски имеют максимальную вероятность к расклиниванию друг друга. Поэтому в стволах рудоспусков, как на карьерах, так и в подземных условиях могут образовываться трудноликвидируемые пробки (своды равновесия). Во втором случае это может происходить гораздо чаще из-за меньшего диаметра ствола рудоспуска. Например, при диаметре рудоспуска 2,5 м и кондиционном кусков 0,6 м, а остальных кусках размером 0,1-0,2 м и до 0,6 м чаще, чем в других случаях могут образовываться сочетания из кусков, способствующие образованию устойчивого расклиненного свода.

При применении наклонного ствола рудоспуска такое сочетание кусков маловероятно, поскольку они движутся по траектории полёта, рикошета и смешаются, не перекрывая сечения ствола при перерывах в выпуске руды. Единственной проблемой в этом случае является возможность разрушения нижней стенки (днища) ствола. Однако, даже при существующих способах проходки стволов бурением и взрыванием породы, имеются случаи длительной эксплуатации наклонных рудоспусков без их разрушений (наклонные рудоспуски рудника Каула-Котсельварра ОАО ГМК «Печенганикель»). Эта проблема практически снимается при проведении стволов выбуриванием до диаметра 2,5 м. В практике известен случай, когда ствол диаметром 2 м был пробурен до глубины 800 м.

Применение способа на карьерах и рудниках (кроме рудника «Северный» ОАО «Печенганикель», где этот

способ широко применяется) могло бы позволить получить стволы или бункер сечением 8-10 м<sup>2</sup> при проведении 2-х параллельных стволов диаметром 2 м, с последующей их сбойкой. Такие стволы рудоспусков были бы устойчивы даже в породах средней прочности (мрамор, аргиллиты и др.), поскольку известно, что при ведении буровзрывных работ даже оконтуриванием строчкой шпуров нарушение приконтурного слоя стенок существенно, и стенки бункеров и рудоспусков постепенно разрушаются при ударе кусков о них, особенно при породах средней прочности.

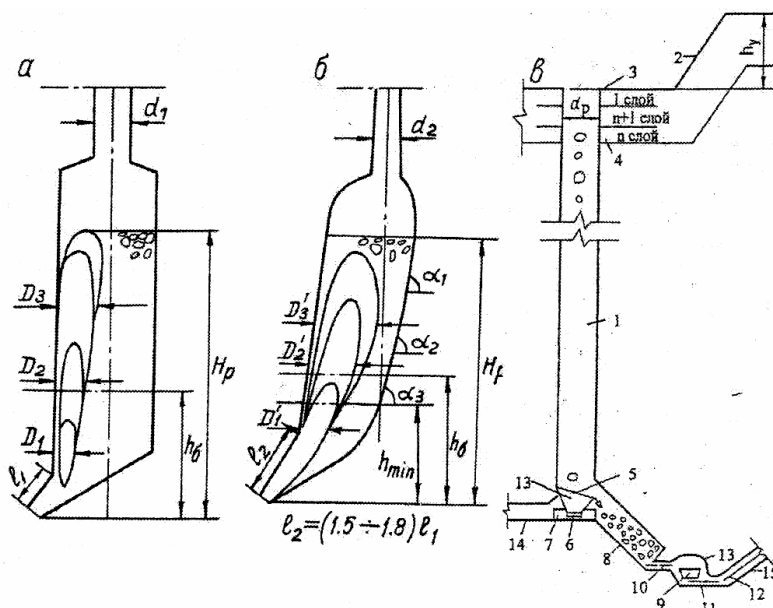
Как отмечалось, в ряде источников, связанных с проблемой рудоспусков, существенное влияние на их устойчивую работу оказывает попадание негабаритов в рудоспуск. Как правило, даже при среднем качестве взрыва в карьере может образоваться от 2-3 до 5-6 % негабаритов, их отсортировка на карьерах пока не решена, так как устья рудоспусков при срезке имеют расширение от 7-8 до 10-12 м (в зависимости от диаметра рудоспуска) и их перекрытие решёткой, как в подземных условиях, сложно.

Кроме негабаритов, поступающих из карьера, негабариты образуются и при срезке рудоспусков (сколе крупных кусков в боковых зонах). Разрушение люковых устройств является следствием взрывного разрушения негабаритов. При крупных размерах кусков применяется большая величина зарядов ВВ, следствием чего является раскрытие трещин в стенках бункеров, затем следуют вывалы кусков из них, и этот процесс постепенно захватывает и окружающий массив, околоствольное пространство рудоспусков. Так были постепенно разрушены глубокие вертикальные

рудоспуски Центрального рудника ОАО «Апатит».

Решением проблемы может быть применение рудоспусков меньшего диаметра соответственно их производительности (до 2,5-3 м), изменение способов подготовки горной массы на карьерах (патент РФ), когда высота забойки достигает 6-7 и более метров, повышение угла откоса уступов в скальных породах до 75-80 градусов (снижение на 2-3 м) линии наименьшего сопротивления ЛНС, важно изменение способа срезки рудоспусков, исключаящие раздувы их устьев. Целесообразно применение колосников со щелью 1000-1200 мм и дробильного звена для передачи горной массы размером до 300-400 мм на конвейер.

При применении рудоспусков в подземных условиях при диаметрах около 2,5 м, когда ствол используется как аккумулирующее устройство, вероятность образования свода равновесия повышается при доработке секции и поступления в рудоспуск при максимальном разубоживании кусков руды и породы повышенной крупности, что часто не учитывается и служит причиной многих перерывов в выпуске руды. По данным исследований для улучшения работы рудоспусков на рудниках кроме применения наклонного ствола (60-70 градусов) целесообразно применение щековых дробилок, устанавливаемых ниже подэтажа, когда подготовленный таким способом материал поступает в рудоспуск и в бункер с последующим ритмичным выпуском в транспортные сосуды или на конвейер. Среди других факторов, требующих учёта при планировании работ с применением рудоперепускных систем следует учитывать влияние климата, особенно для заполярных карьеров, когда попадание

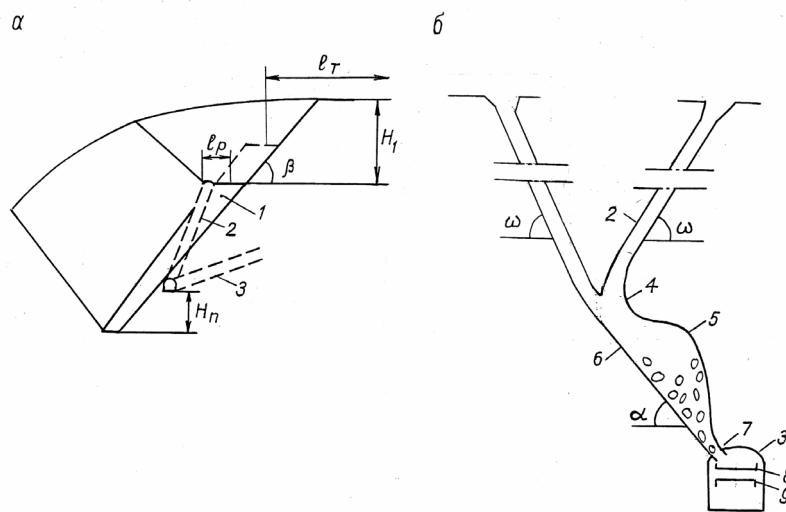


**Рис. 1, а, б, в. Схема конструктивного устройства бункерной части рудоспусков, используемых в проектах (а) предлагаемого (б):** а, б —  $d_1, d_2$  — диаметры рудоспусков  $d_2 < d_1$ ;  $D_1, D_2, D_3$  и  $D'_1, D'_2, D'_3$  — соответственно ширина потока рудной массы при вертикальном заложении бункера и относительно наклонным;  $H_p$  — высота руды в бункере;  $l_1, l_2$  — соответственно длина выпускной части в традиционном исполнении и предлагаемом;  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  — углы наклона участков стенки бункера;  $h_6$  — высота слоя руды в бункере («подушка») и её минимальная величина  $h_{min}$ ; в — рудоспуск с дробильным звеном по патенту РФ № 2249697; 1 — ствол рудоспуска; 2 — откос уступа; 3 — участок срезки рудоспуска; 4 — слои срезки; 5 — дробильное звено; 6 — плита; 7 — основание дробильного звена; 8 — бункер дробленой руды (породы); 9, 10 — соответственно дробилка и питатель; 11 — выдачной питатель; 12, 13 — соответственно наклонный конвейер и камера дробилки; 14 — вспомогательная выработка; 15 — наклонная выработка

в рудную массу повышенного процента снега приводит не только к повышению её связности, но и при ударном падении кусков в стволах она уплотняется до критического состояния, а при перерывах в выпуске руды может смерзаться (сцепление возрастает до 1-2 МПа и более). При этом образуются трудноликвидируемые пробки. Их ликвидация на практике привела к постепенному разрушению рудоспусков в Хибинах.

Решение проблемы обеспечения ритмичной работы рудоспусков на карьерах с производительностью 3-4

млн. т руды в год заключается в следующем. Кроме изменения наклона ствола (до 60-70 градусов) для резкого снижения кинетической энергии падающих кусков размером до 1-1,2 м необходимо обеспечить плавное перемещение потока руды в бункерное пространство с целью создания в нём малоуплотнённой разрыхлённой среды с высоким коэффициентом сыпучести. Это обеспечит стабильный и ритмичный её выпуск. Достичь этого можно смещением ствола относительно оси бункерного устройства (рис. 1, 2).



**Рис. 2. Схема расположения рудоспусков относительно рудного тела с различным примыканием к бункеру:** а, б — 1, 2 — рудное тело и рудоспуски; 3 — выдочной ствол; б — 2 — наклонный ствол; 3 — транспортная выработка; 4 — переходная выработка; 5 — бункер; 6 — днище бункера; 7 — выпускной люк; 8 — конвейер; 9 — вагонетка;  $\beta$  — угол падения рудного тела;  $l_p$  — расстояние от центра рудного тела до рудоспуска;  $l_T$  — расстояние транспортирования руды за контуром карьера;  $H_1$  — глубина вывода рудоспусков в рабочую зону;  $H_n$  — высота переполъема руды до выдачной выработки на конец отработки

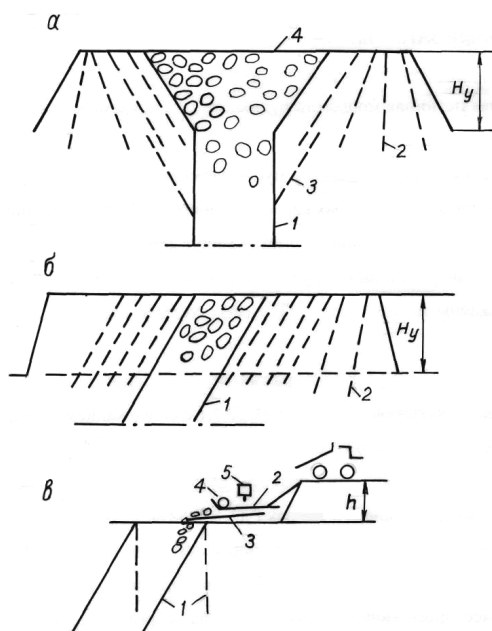
Особенно это важно на карьерах при доработке глубоких горизонтов, когда руда после дробления в дробильно-перегрузочных узлах поступает в рудоспуск, и за тем в бункерные устройства, и из них с помощью питателей на конвейеры с углом наклона 15-16 градусов до перегрузочных пунктов или фабрику. Такие схемы применяются на ряде зарубежных карьеров.

Целесообразность применения таких схем в Заполярье с рудоспусками объясняется тем, что при этом коренным образом меняется процесс транспортирования руды с включением снега, поскольку исключается её уплотнение, а поточность процесса предотвращает смерзание рудной массы (рис. 2).

Ввод рудоспусков в рабочую зону карьера необходимо планировать та-

ким образом, чтобы при вхождении их в рабочую зону по мере срезки рудоспусков снижение расстояния транспортировки руды до них составляло 3-3,5 км. Это позволяет достичь получения прибыли по сравнению с применением только автотранспорта в размере 1,5-2 млн. долларов США в год, что обеспечивает сравнительно быструю окупаемость затрат на проведение наклонной транспортной выработки и рудоспусков.

Для улучшения процесса перепуска руды (породы) по рудоспускам с их срезкой целесообразно использовать технологическую схему, включающую применение колосников для отделения негабаритных кусков и их дробления вблизи устья рудоспуска, и пластинчатого питания для транспортирования рудной массы в рудоспуске (рис. 3). Несмотря на некоторое удо-



**Рис. 3. Схема срезки рудоспуска при вертикальном и наклонном его положении при применении дробильного устройства с колосником и питателем:** а, б — 1, 2, 3 — соответственно рудоспуск, скважины и откос устья рудоспуска; 4 — рудная масса при срезке рудоспуска; в — 1 — рудоспуск; 2 — колосник; 3 — питатель; 4 — негабарит; 5 — дробильное устройство

рожение процесса при этом исключается попадание негабаритов в бункерную часть рудоспуска как при их срезке, так из карьера, и, следовательно, снижается возможность их разрушения и достигается повышение производительности перепускных работ. Технологическая схема с транспортирование рудной массы из бункера при разработке думпкаров применением пластинчатых питателей успешно функционирует на обогатительной фабрике АНОФ-2 ОАО «Апатит» в течение многих десятков лет.

### **Закключение**

В современных условиях при увеличении глубины карьеров до 600-

800 и более метров перспективными схемами при отработке руд глубоких горизонтов являются технологические схемы как с использованием крутонаклонных конвейеров (КНК), так и применение рудоспусков и наклонных стволов для передачи руды (породы) в пункт перегрузки или на фабрику.

Эффективная эксплуатация рудо (породо)-перепускных систем на карьерах и рудниках зависит от ряда факторов, среди которых как способы рационального учёта использования энергии падающих кусков, устойчивости массивов пород, так и обеспечение состояния рудной массы в бункере, близкое к разрыхлённому, этому способствует снижение до минимума поступление негабаритов при подготовке горной массы в карьере и срезке рудоспусков.

Выбор того или иного варианта проходки вспомогательных и основной выработки-ствола рудоспуска и его участка на уровне бункера может быть установлено при составлении проекта с учётом имеющегося оборудования и минимального нарушения стенок ствола и бункера при его создании. Это связано с обеспечением длительной и безопасной эксплуатации ствола и бункера рудоспуска во времени.

Соблюдение регламента на выполнение работ по предложенному комплексу научно-методических положений по разделению транспорта руды по стволу рудоспуска и в бункере для аккумуляирования и выпуска руды, а также принятого способа проходки выработок позволит обеспечить эффективную и безопасную работу рудоспусков на карьерах и рудниках в различных условиях регионов.

---

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ржевский В.В., Арсентьев А.И., Пермяков Р.С. Карьерные рудоспуски / М.: Недра, 1969. — 208 с.
2. Козырев А.А., Мальцев В.А., Епиматов Ю.А. Глубокие рудоспуски / Изд. Кольского науч. центра. Апатиты, 1997. — 196 с.
3. Патент РФ № 2249697 Способ открытой разработки месторождений полезных ископаемых. Оpubл. 10.04.2005. Бюл.10.
4. Патент РФ № 2421617 Способ открытой разработки месторождений полезных ископаемых. Оpubл. 20.06.2011. Бюл.17. **ПАТЕНТ**

---

## КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Еремин Георгий Михайлович — кандидат технических наук, научный сотрудник, eremin@goi.kolasc.net.ru  
Горный институт Кольского научного центра Российской академии наук.



---

## ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ (ПРЕПРИНТ)

### МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРУДНОФОРМАЛИЗУЕМЫХ ОБЪЕКТОВ

Халкечев Руслан Кемалович — кандидат физико-математических наук, докторант кафедры «Физика горных пород и процессов», syrus@list.ru,

Халкечев Кемал Владимирович — доктор физико-математических наук, доктор технических наук, профессор, h\_kemal@mail.ru,

Халкечева Лидия Кемаловна — аспирантка кафедры «Организация и управление в горной промышленности», kuzy@bk.ru,

Халкечев Олег Муратович — аспирант кафедры «Высшая математика», onhalk@mail.ru, Московский государственный горный университет.

Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — 2012. — № 7. — 72 с.— М.: Издательство «Горная книга».

Специальный выпуск научного журнала посвящен актуальной научной проблеме — математическому моделированию трудноформализуемых объектов, для которых фундаментальные законы, вариационные принципы и иные общие и математически строгие утверждения либо неизвестны, либо вообще не существуют. Первая часть специального выпуска посвящена исследованию и разработке математических моделей таких трудноформализуемых объектов как газодержащие геоматериалы однородной и неоднородной текстуры. Вторая — построению математических моделей и алгоритмов функционирования экономических систем, являющихся типичными представителями трудноформализуемых объектов.

Ключевые слова: мультифрактальная модель, газонаполненная пора, поликристалл, неоднородное поле давлений, постоянное внешнее поле, упругая среда.

### MATHEMATICAL MODELING HARD TO BE FORMALIZED OBJECTS

Khalkchev R.K., Khalkchev K.V., Khalkcheva L.K., Khalkchev O.M.

In the presented work, the polycrystal with gas-filled pores is represented as a set of subsystems – a polycrystal and grains with gas-filled pores. Developing mathematical models for each of subsystems, the multifractal model allowing at action of a constant external deformation field to define a field of pressure in gas-filled pores of the polycrystal has been received.

Key words: multifractal model, gas-filled pore, polycrystal, inhomogeneous pressure field, constant external field, elastic medium.