

УДК 622:552.2.002.612

*Н.П. Хрунина***ЛАЗЕРНОЕ ИНИЦИИРОВАНИЕ ДЛЯ РАЗРУШЕНИЯ
И НАПРАВЛЕННОГО ИЗМЕНЕНИЯ СВОЙСТВ
ГОРНЫХ ПОРОД**

Семинар № 16

Создание управляемых систем для разрушения, синтеза и направленного изменения свойств горных пород на основе лазерного инициирования потребовало решения задачи расширения спектра генерации и формирования распределения мощности в широком диапазоне по спектру генерации лазерного излучения. В 2005-2006 годах в ИГД ДВО РАН начата работа по созданию способа управления спектром генерации и формирования плотности излучения геотехнологического лазера на основе магнитно-звукового пространственно-временного модулятора и геотехнологический лазер с управляемым спектром генерации [1]. Известный способ синхронизации мод многочастотных лазеров, заключающийся в модуляции добротности одновременно на частоте межмодовых биений и на меньшей частоте двойном детектировании мощности излучения лазера, изменении временной зависимости полученного при детектировании сигнала обеспечивает получение выходного излучения с заданной временной структурой и управляемой амплитудой, длительностью и частотой следования импульсов [2]. Способ предназначен для синтеза заданной временной структуры излучения, которая не позволяет осуществить увеличение нужной для разрушения минеральных сред плотности энергии, интенсивности и мощности излучения. Промышленный технологический лазер МТЛ-2, содер-

жащий моноблок с блоком генерации, функциональный блок со вспомогательными системами, микропроцессорную систему управления работает в стабильном технологическом режиме, формирующем определенную плотность энергии узкого диапазона [3]. Известные способ управления спектром генерации лазера и лазер с управляемым спектром генерации основываются на осуществлении накачки активной среды и в направлении излучения различных длин волн на различные участки активной среды. Мощность накачки перераспределяют по активной среде по закону, соответствующему требуемому спектральному распределению мощности генерации. Лазер содержит устройство накачки, резонатор и расположенные в нем дисперсионный элемент, активную среду, протяженную в направлении, перпендикулярном оптической оси и совпадающем с направлением линейной дисперсии дисперсионного элемента. В резонатор лазера дополнительно введены два ахроматизированных объектива. Дисперсионный элемент выполнен в виде автоколлимационного дисперсионного элемента и совмещен с концевым отражателем резонатора. Устройство накачки содержит лазер накачки, оптически связанный с входом световодного жгута, выход которого выполнен разветвленным. Выходные концы жгута распределены по активной среде в соответствии с требуемым спектром генерации. Лазер имеет ограни-

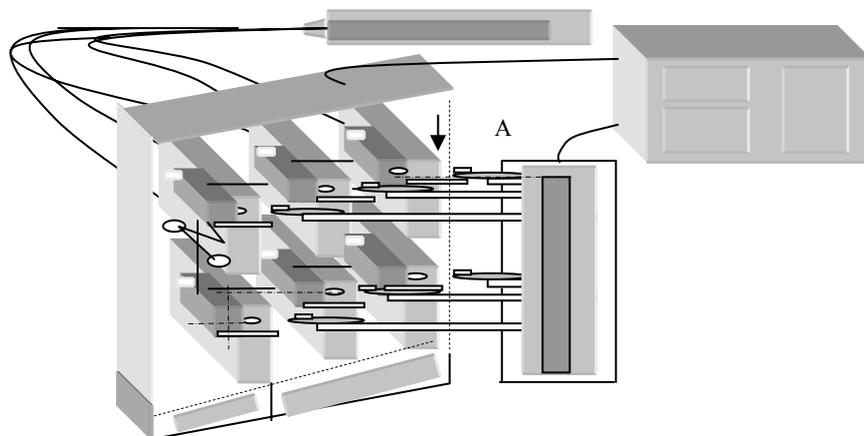


Рис. 1. Геотехнологический лазер с управляемым спектром генерации [1]

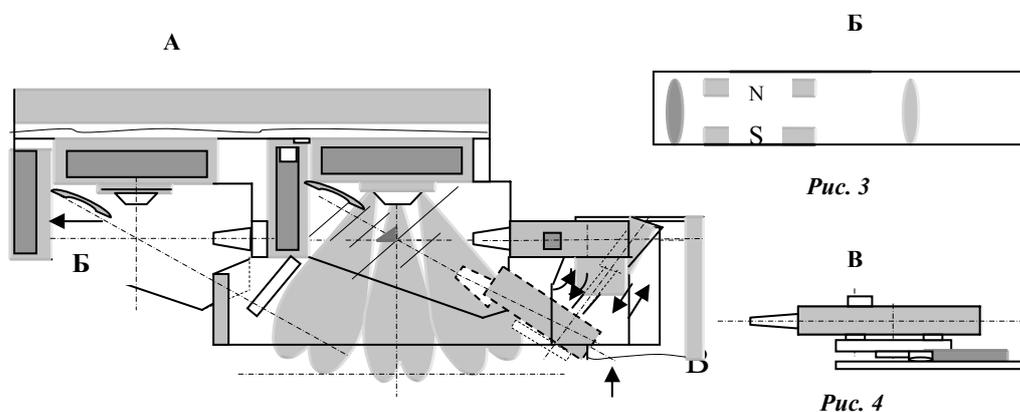


Рис. 2

ченный спектр генерации и формирует распределение мощности в узком диапазоне по спектру генерации [4].

Для решения задачи по формированию требуемого распределения плотности энергии, мощности и интенсивности излучения, обеспечивающими эффективное разрушение, синтез и направленное изменение свойств горных пород [1] сотрудниками ИГД ДВО РАН было предложено осуществлять дополнительное механическое воздействие на пучки генерируемых лазерных излучений. С одной стороны периодически формируются давление (интенсивность) и часто-

та звукового излучения в заданном диапазоне изменения по величине и направлению, а с другой стороны синхронно воздействуют направленным магнитным полем с отражателями – резонаторами, периодически направляющими отраженное излучение в камеры накачки для увеличения плотности энергии, интенсивности и мощности лазерного излучения в камерах накачки. Воздействие на пучки генерируемых лазерных излучений с одной стороны звукового излучения, а с другой стороны – синхронно направленным магнитным полем с отражателями – резонаторами,

периодически направляющими отраженное излучение в камеры накачки для увеличения плотности энергии, интенсивности и мощности лазерного излучения в камерах накачки, а также снабжение геотехнологического лазера концентраторами - усилителями излучения с направляющими магнитами и отражателями-резонаторами, обеспечивает формирование и регулирование формированием плотности энергии излучения. Концентраторы-усилители излучения сопряжены с камерами накачки. Блок генерации снабжен дополнительными камерами накачки, установленными в два модуля с активными средами, расположенными в направлении оптических осей, перпендикулярных направлению линейной дисперсии излучения. Лазерные головки каждого модуля смещены относительно друг друга по вертикали, а защитные отражатели сопряжены с концентраторами - усилителями излучения и установлены ниже лазерных головок. Геотехно-логический лазер с управляемым спектром генерации изображен на рис. 1, на рис. 2 – вид А на рис. 1, на рис. 3 – вид Б на рис. 2, на рис. 4 – вид В на рис. 2. Геотехнологический лазер содержит устройство накачки активной среды лазером накачки посредством разветвленного световодного жгута, резонаторы, дисперсионное устройство.

Блок генерации имеет коммуникационную связь с функциональным блоком, который включает автоматическую систему управления процессом накачки, автоматическую систему управления процессом дисперсионного воздействия, микропроцессорную систему расчета параметров интенсивности (мощности) излучения с коммутационными цепями и источниками питания.

Агрегаты системы водомасляного охлаждения, системы откачки и газонапуска (при газоразрядной системе инверсии населенностей) расположены со-

пряженными с блоком генерации, а функциональный блок может располагаться на расстоянии от блока генерации. Лазерные головки снабжены оптическим затвором с поглотителем излучения. Датчики фиксации параметров плотности излучений, формируемых на выходе пучков лазерных излучений, установлены на поворотных блоках звуковых преобразователей и ориентированы по оси направленного звукового излучения. Автоматическая система управления процессом накачки включает регистрирующие датчики преионизации и контрольные датчики системы накопления и усиления излучения. Резонаторы могут быть оптическими или магнитными. Поворотные блоки звуковых преобразователей закреплены на платформе, которая шарнирно связана с приводом ее поворота вокруг оси, и связаны с генератором звукового излучения. Активная среда в камерах накачки, установленных в два модуля в блоке генерации, накачивается излучением лазера с помощью разветвленного световодного жгута. Мощность накачки распределяется по активным средам геотехнологического лазера с управляемым спектром генерации по закону, соответствующему требуемому спектральному распределению мощности генерации, задается автоматической системой управления процессом накачки и контролируется регистрирующим датчиком преионизации. В микропроцессорную систему расчета параметров интенсивности излучения с коммутационными цепями и источниками питания поступает информация об объекте воздействия – термодинамические, физико-механические, структурные параметры горной породы. Происходит генерация излучения в нужном диапазоне по величине и распределению исходной мощности по камерам накачки с резонаторами. Процесс генерации

контролируется датчиками фиксации параметров плотности излучений и контрольными датчиками системы накопления и усиления излучения. Включается рас-положенная в функциональном блоке автоматическая система управления процессом дисперсионного воздействия на лазерное излучение. Через коммуникационную связь на приводы поворота вокруг осей поворотных блоков звуковых преобразователей подаются управляющие сигналы. Поворотные блоки звуковых преобразователей с излучателями дисперсионного устройства устанавливаются под нужным углом к направлению оптических осей. Включается генератор звукового излучения, настраиваемый на нужную мощность и частоту выходного параметра излучателей для обеспечения линейной дисперсии излучений лазера в плоскостях пучков и распределения их в направлениях перпендикулярных оптическим осям. Изменение угла поворота излучателей уменьшает или увеличивает отражение лучей различных длин волн, изменяя плотность лазерного излучения. При расположении оси направленного звукового излучения перпендикулярно оптической оси обеспечивается максимальная плотность излучения и полная дисперсия лазерного луча. При смещении излучателей в крайнее положение – на угол до 450 от исходного, обеспечивается минимальная дисперсия, максимальное отражение лучей и максимальное снижение интенсивности лазерного излучения. Отражатели-резонаторы, расположенные со стороны отраженного лазерного излучения на выходе из камер накачки, принимают на себя отраженную часть лучей. Для полного поглощения отраженного излучения при накоплении отрицательного заряда электронов включаются направляющие магниты, которые улавливают поток излучения, направляя его в зону

отражателей-резонаторов концентратора-усилителя излучения магнитно-звукового пространственно-временного модулятора. Для исключения воздействия звукового излучения на элементы дисперсионного устройства, расположенные ниже рабочих зон воздействия звука, лазерные головки смещены относительно друг друга по вертикали, а рабочие зоны ограничены защитными отражателями. Агрегаты системы водомасляного охлаждения, системы откачки и газонапуска (при газоразрядной системе инверсии населенностей) работают в автоматическом режиме. Прерывание лазерного излучения может осуществляться с помощью оптических затворов с поглотителями излучения. Способ управления спектром генерации и формирования мощности излучения геотехнологического лазера на основе магнитно-звукового пространственно-временного модулятора и геотехнологический лазер с управляемым спектром генерации позволяют осуществить избирательное воздействие на структурные связи минеральных систем различной плотности и прочностных свойств, направленное изменение их свойств и синтез новых соединений.

Для интенсификации процесса направленного изменения свойств минералов формированием требуемого распределения плотности энергии и интенсивности излучения в ИГД ДВО РАН в 2005-2006 годах создан новый способ направленного изменения свойств горных пород посредством лазерного излучения и геотехнологический лазер на его основе [5], которые могут использоваться при разработке золотосодержащих россыпных и рудных месторождений. Анализ известных способов термического разрушения горных пород лазерным излучением с дополнительной подачей в зону нагрева породы газов, вступающих во взаимодействие с соединениями, входящими в состав пород, позволил сделать вывод о низкой интенсив-

ности протекающих процессов [6, 7]. В способе разрушения горных пород лазерным излучением с разогревом породы и подачей газообразного вещества для образования SiH_2 моносилана и SiO_2 перевод в летучее состояние SiO_2 происходит при температуре (1419°C), которая превышает температуру плавления золота (1067°C), поэтому данный способ имеет ограниченную область применения [8]. В способе разрушения горных пород лазерным излучением, согласно которому монохроматический световой луч с длиной волны, выбранной таким образом, что большая часть энергии излучения поглощается породой, направляют на нее, при этом в зону нагрева и испарения породы подают поток газа для удаления образующихся продуктов разрушения процесс разрушения породы происходит в узком диапазоне энергии излучения [9]. Это не обеспечивает эффективное выделение фракций ценных компонентов. Для эффективного выделения фракций ценных компонентов в разработанном в ИГД ДВО РАН способе [5] после воздействия на породу интенсивностью излучения, обеспечивающей переход сульфидных соединений с низкой энергией атомизации, посредством термического разложения, в летучее состояние, и предварительного сканирования поверхностей минеральных включений, производят периодические чередования генерации сдвиговых и продольных волн в минеральных составляющих вмещающих пород путем изменения ориентации оптических осей лазерных излучений к плоскостям, сначала минералов пониженных прочностных свойств, затем - минералов повышенных прочностных свойств - от нормального - к углу 45° . Излучения

иницируются заданной интенсивности и временного интервала для разрушения структурных связей и последующего разделения минералов по плотности в потоке инертного к породам газа и отвода летучих соединений. На основе способа направленного изменения свойств горных пород посредством лазерного излучения создана принципиальная схема геотехнологического комплекса с лазерным иницированием. Комплекс содержит источник лазерного излучения и систему подачи газа. Модули источника лазерного излучения с управляемым спектром генерации выполнены с возможностью перемещения в вертикальных и горизонтальных плоскостях не зависимо друг от друга. Источник лазерного излучения снабжен системой сканирования физико-механических параметров пород, рис. 5. Система подачи газа установлена с возможностью двухстороннего воздействия для разделения породы и минералов по плотности и снабжена направляющими для тяжелой фракции и направляющей для легкой фракции. Модули комплекса выполнены с возможностью перемещения в вертикальных и горизонтальных плоскостях не зависимо друг от друга с помощью приводов и реверсивных опор. Система сканирования физико-механических параметров пород связана с системой управления процессом лазерного излучения и системой управления подачей газа. Система подачи газа установлена с возможностью двухстороннего воздействия на продукты разрушения в зоне разделения минералов по плотности и снабжена направляющей для легкой фракции и направляющими для тяжелой фракции, и поддоном.

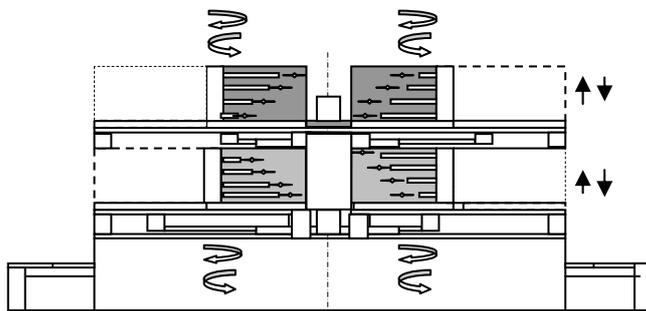


Рис. 5. Геотехнологический комплекс с лазерным иницированием [5]

Направляющая для легкой фракции выполнена под наклоном в сторону става для забора легкой фракции. Для удаления летучих соединений, в том числе сульфидов (антимонита (Sb_2S_3), арсенипирита ($FeAsS$), борнита (Cu_5FeS_4)), установлен став для летучих соединений. В рабочем режиме определяются величины углов между поверхностями стенок камеры и горизонтальной осью источника лазерного излучения. Сканируются физико-механические параметры пород. После обработки полученной информации подается команда на систему управления процессом лазерного излучения в режиме интенсивности излучения, обеспечивающей переход высокотоксичных сульфидных соединений с низкой энергией атомизации ($t_{пл.} = 350 - 700 \text{ } ^\circ\text{C}$) в летучее состояние. Происходит процесс предварительного термического разложения сульфидов с удалением их с поверхности доступного слоя породы через став летучих соединений. После выделения соединений с низкой энергией атомизации осуществляется обработка информации о состоянии поверхностей стенок. Посредством системы сканирования физико-механических параметров пород поступает команда на ориентацию оптических осей лазерных излучений к плоскостям минералов пониженных прочностных свойств. Подается команда на приводы и реверсивные опоры. Модули устанавливаются в ис-

ходное положение так, чтобы излучения лазерных головок каждого из модулей в любой из фаз воздействия были частично направлены под углами 90° и частично – 45° . Линейно дисперсные лазерные излучения, модуляция интенсивности которых произведена звуковыми излучателями, ориентируются, например, на верхнюю часть поверхности стенки так, что оптические оси лазерных излучений и модуля направлены параллельно горизонтальной оси и под углами 45° к плоскостям минералов на поверхности стенки для обеспечения генерации продольных волн в минералах сначала с пониженными прочностными свойствами, а затем – с повышенными прочностными свойствами. Одновременно оптические оси лазерных излучений модуля направлены под углами 90° к плоскостям минералов на поверхности стенки и углами 45° к горизонтальной оси для генерации сдвиговых волн. В первой фазе, например, осуществляется генерация сдвиговых волн в минералах на верхней части поверхности стенки, а затем производится генерация продольных волн на верхней части поверхности стенки. Временной интервал и интенсивность воздействия чередующихся сдвиговых и продольных волн задается программным устройством системы управления процессом лазерного излучения. Все модули действуют одновременно и могут настраиваться на необходимый режим работы как по распределению плотности энергии, интенсивности, времени, так и чередованию направленных излучений под нужным углом к минералам различных прочностных свойств. В процессе

разрушения структурных связей минералов с пониженными или повышенными прочностными свойствами подается команда на систему управления подачей газа для формирования необходимого давления. Включается система подачи газа. Поступая в зону разделения минералов по плотности, легкие частицы минералов смещаются струями системы подачи газа на направляющую для легкой фракции, выполненную под наклоном в сторону става для забора легкой фракции. Частицы минералов высокой плотности опускаются на направляющие для тяжелой фракции и затем – в под-

дон. Ставом для забора тяжелой фракции частицы поднимаются на поверхность.

Способ направленного изменения свойств горных пород посредством лазерного излучения с помощью геотехнологического комплекса с лазерным иницированием интенсифицирует процесс направленного изменения свойств минералов формированием требуемого распределения плотности энергии и интенсивности излучения для разрушения структурных связей в горных породах с широким спектром прочностных свойств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хрунина Н.П., Мамаев Ю.А. Способ управления спектром генерации и формирования плотности излучения геотехнологического лазера на основе магнитно-звукового пространственно-временного модулятора и геотехнологический лазер с управляемым спектром генерации: Заявка на изобретение №2005116399/28(018725) от 30.05.05, Положительное решение от 01.06.06.
2. Патент РФ № 1530038, МКИ5Н01 S3/10, Способ синхронизации мод многочастотных лазеров, опубл. 15.06.94, Бюл. №11.
3. Технологические лазеры: Справочник: В 2т. Т. 1: Расчет, проектирование и эксплуатация / Г.А. Абильситов, В.С. Голубев, В.Г. Гонтарь и др.; Под общей ред. Г.А. Абильситова. – М.: Машиностроение, 1991, .125, рис.60-61.
4. Патент РФ № 1718313, МКИ 5 Н 01 S 3/ 10, Способ управления спектром генерации лазера и лазер с управляемым спектром генерации, опубл. 07.03.92, Бюл. № 9.
5. Хрунина Н.П., Мамаев Ю.А. Способ направленного изменения свойств горных пород посредством лазерного излучения и геотехнологический комплекс с лазерным иницированием: Заявка на изобретение №2005116388/03(018714) от 30.05.05, Положительное решение от 30.05.06.
6. Патент РФ № 958654, МКИ 3 Е 21 С 37/ 16, Способ термического разрушения горных пород лазерным излучением, опубл. 15.09.82, Бюл. №34.
7. Патент РФ № 872754, МКИ 3 Е 21 С 37/ 16, Способ термического разрушения горных пород, опубл. 15.09.82, Бюл. №34.
8. Патент РФ № 1645509, МКИ 3 Е 21 С 37/ 16, 37/18 Способ разрушения горных пород лазерным излучением, опубл. 30.04.91, Бюл. №16.
9. Экспресс-информация ВИНТИ «Горнорудная промышленность», 1976, № 43, с. 3-14, Способ разрушения горных пород лазерным излучением. **ИДБ**

Коротко об авторе

Хрунина Н.П. – научный сотрудник, Институт горного дела ДВО РАН.

Доклад рекомендован к опубликованию семинаром № 16 симпозиума «Неделя горняка-2007».
Рецензент д-р техн. наук, проф. В.С. Кузьмин.