

УДК 535.332, 53.082.533

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ 0,660 И 0,850 МКМ С КРИСТАЛЛАМИ АЛМАЗОВ И ИМИТАТОРАМИ ДЛЯ ЛАЗЕРНО-ТРАНСМИССИОННОГО МЕТОДА ОБОГАЩЕНИЯ АЛМАЗНОГО СЫРЬЯ**

**Пихота Н.С.** (Национальный исследовательский университет ИТМО), **Жогин И.Л.** (АО «Инновационный центр «Буревестник»), **Романовская Т.Е.** (АО «Инновационный центр «Буревестник»)

**Научный руководитель – к.т.н., доцент Чертов А.Н.**  
(Национальный исследовательский университет ИТМО)

В ходе работы были изучены теоретические основы взаимодействия УФ, видимого и ИК диапазонов излучения с кристаллами алмазов, что позволило выбрать рабочие длины волн излучателя для реализации лазерно-трансмиссионного метода обогащения алмазной руды. Для проведения экспериментальных исследований использовался макет сепаратора с двумя лазерными модулями, излучающими на длинах волн 0,660 и 0,850 мкм, и 3D-камера. Полученные результаты показали надежную регистрацию алмазов и имитаторов.

**Введение.** Основными технологическими процессами извлечения алмазов из руды во всем мире являются рентгенолюминесцентный и рентгенографический методы сепарации. Рентгеновские методы сепарации обладают высокими показателями селективности (позволяют выделять до 99% алмазов) и производительности (35-100 т/ч на основных и 0,3-8 т/ч на доводочных сепараторах). Однако существенные недостатки заключаются в высоком энергопотреблении рентгеновской трубки (около 5 кВт), существенном повышении себестоимости аппарата из-за необходимости применения рентгенозащитных экранов и имеющейся опасности работы с рентгеновским излучением для оператора. Также для алмазов класса крупности -2 мм применяется сложная технологическая схема, которая состоит из винтового и флотационного этапов обогащения, что существенно повышает экологическую нагрузку из-за необходимости использования больших объемов технической воды (на обработку 1 тонны алмазосодержащей руды расходуется 0,4 м<sup>3</sup> воды).

Таким образом в области обогащения алмазосодержащих руд необходимо проведение исследований, направленных на разработку неразрушающего, бесконтактного метода, который будет обладать сопоставимыми показателями производительности по сравнению с рентгеновской сепарацией при меньших энергозатратах и экологической нагрузке.

**Основная часть.** Одним из перспективных направлений таких исследований является разработка метода лазерно-трансмиссионной сепарации алмазного сырья. Преимущество использования лазерных источников при обогащении минерального сырья состоит в возможности создания мощного пучка света малого диаметра, что позволит анализировать руду крупностью, соизмеримой с выходным диаметром лазерного пучка, и выделять не только мономинеральные зерна, но и сростки. Также применение лазерного метода обогащения алмазного сырья позволит добиться высокой производительности, благодаря простоте процесса обнаружения алмазов, уменьшить энергопотребление и сократить использование рентгеновских методов обогащения алмазного сырья.

В основе метода лазерно-трансмиссионной сепарации лежит высокая направленность лазерного излучения и различия в спектрах пропускания алмазов и пустой породы. Идеальный алмаз обладает чрезвычайно широким окном оптического пропускания: от фундаментального края ( $\lambda=0,225$  мкм) вплоть до радиоволн, за исключением умеренного поглощения в диапазоне от 2,6 до 6,2 мкм. В кристаллах с примесью азота дополнительно появляется поглощение в интервале 0,23-0,28 мкм с максимумом на длине волны 0,25 мкм. В видимой области спектра совершенный беспримесный алмаз не имеет поглощения. Однако некоторые дефекты решетки избирательно поглощают свет в видимом и ИК диапазонах электромагнитного спектра. Анализ всевозможных дефектов решетки алмаза показал преимущественно высокую

прозрачность алмазов в красном видимом и ближнем ИК диапазонах. Для проведения экспериментальных исследований в качестве рабочих длин волн были выбраны 0,660 мкм и 0,850 мкм. Стоит отметить, что отражение Френеля на каждой границе алмаз-воздух составляет около 17%.

Для оценки взаимодействия излучения 0,660 и 0,850 мкм с кристаллами алмазов и имитаторами для разрабатываемого лазерно-трансмиссионного метода обогащения алмазного сырья были проведены экспериментальные исследования на базе АО «ИЦ «Буревестник». Подача алмазосодержащей руды в зону регистрации сепаратора осуществлялась при помощи ленточного транспортера. Для перекрытия всей ширины потока материала использовались два лазерных модуля серии FP-MVsq-15-FIX компании Laser Components, которые имеют квадратное сечение выходного пучка 15x15 мм. Ширина линии в месте регистрации составляет ~0,15 мм. Модули генерируют излучение с углом расходимости 20°, длина волны первого лазера 0,660 мкм, второго – 0,850 мкм, мощность излучения 30 и 40 мВт соответственно.

Регистрация прошедшего излучения происходила после схода исследуемого материала с транспортера. Для регистрации использовалась 3D-камера C2-649-GigE компании Automation Technology с объективом LM12JCM-V-2/3" компании Kowa. Квантовая эффективность камеры при длине волны излучения источника 0,660 мкм составляет 70%, при длине волны 0,850 мкм – 25%. Для выявления алмаза регистрировалось пятно света на дальней от лазера поверхности минерала. В качестве тестовых объектов использовались имитаторы из оргстекла и полиуретана, с размерами 3 и 8 мм, и зерна алмазного шлифпорошка А8, с размерами 2-3 мм.

**Выводы.** В ходе проведения эксперимента была продемонстрирована надежная регистрация прозрачных и полупрозрачных объектов при использовании лазерных модулей с длинами волн 0,660 и 0,850 мкм. Предпочтительность использования излучения с длиной волны в 0,850 мкм заключается в возможности уменьшить уровень шума, создаваемый из-за рассеяния на пыли. Было определено, что разрабатываемый метод требует значительно меньшего энергопотребления по сравнению с рентгеновскими методами сепарации, так как лазерный модуль потребляет не более 6 Вт.

Стоит отметить, что лазерно-трансмиссионный метод также будет регистрировать другие сопутствующие минералы, прозрачные при облучении выбранными длинами волн. Таким образом внедрение в технологическую схему обогащения алмазного сырья лазерно-трансмиссионного метода позволит использовать его в качестве первичного обогащения. На этом этапе прозрачные минералы будут отделены от пустой породы. После этого на этапе окончательной доводки потребуется лишь отделить алмазы от сопутствующих прозрачных минералов, процент которых в кимберлите достаточно мал.