

Канд. техн. наук А.В. Мельник,
д-р техн. наук В.М. Грабовый,
д-р техн. наук А.В. Иванов
(ИИПТ НАН Украины, Николаев)

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНОГО
ГЕНЕРАТОРА УПРУГИХ КОЛЕБАНИЙ
ДЛЯ ЭЛЕКТРОГИДРОИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ
МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ**

За результатами чисельних та експериментальних досліджень проведено систематизацію і описано конструктивні особливості електророзрядного генератора пружних коливань, визначено їхній взаємозв'язок з ефективністю дії. Запропоновано рекомендації щодо подальшого удосконалення електророзрядного генератора пружних коливань.

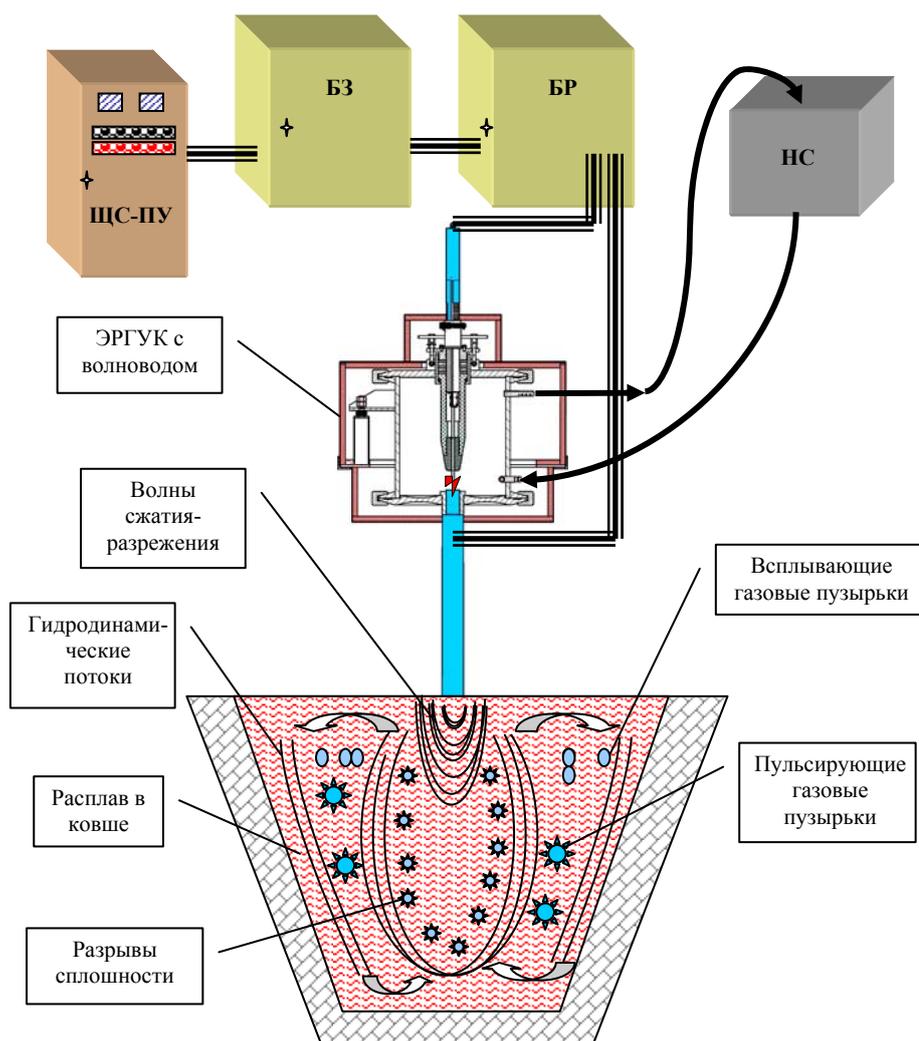
**TECHNOLOGICAL POSSIBILITIES OF ELECTRO-DISCHARGE
GENERATOR OF ELASTIC OSCILLATIONS FOR
ELECTROHYDROPULSE TREATMENT OF METALS AND ALLOYS**

Upon the results of numerical and experimental research the systematization is compiled and design features of electro-discharge generator of elastic oscillations are described; their interconnection with the influence efficiency is ascertained. Recommendations are offered for further improvement of electro-discharge generator of elastic oscillations.

В современных условиях металлургического передела проблема повышения качества литого металла решается путем активной электрогидроимпульсной обработки (ЭГИО) расплава металлов и сплавов при использовании электрогидравлических модульных установок [1–3]. Важнейшим технологическим узлом таких установок является электроразрядный генератор упругих колебаний (ЭРГУК). Принцип работы ЭРГУК основан на использовании эффектов, проявляющихся при высоковольтном электрическом разряде в воде. В общем случае ЭРГУК представляет собой разрядную камеру мембранного типа, заполненную рабочей жидкостью. Разрядная камера выполнена в виде толстостенного цилиндра с верхним жестким и нижним упругим основаниями. Между электродом, расположенным на оси камеры, и упругим основанием происходит электрический разряд. При этом в рабочей жидкости камеры возникает волна давления, которая деформирует нижнее основание. В свою очередь, нижнее основание передает энергию волноводу, погруженному в ковш с расплавом. Таким образом, возмущения от волновода генерируют в жидком металле нестационарное поле давлений, которое инициирует в расплаве физические процессы, оказывающие положительное воздействие на качество структуры отливок. Общая схема обработки изображена на рис.1. Фотография установки модели УВ12 для ЭГИО пяти тонн расплава представлена на рис. 2.

Ударно-волновое воздействие при ЭГИО – это эффективный способ создания экстремальных состояний исходного вещества, в результате которого существенно изменяется структура и свойства расплава, что обеспечивает получение новых свойств материалов в литом изделии. Конечный результат ЭГИО в значительной степени определяется условиями протекания высоковольтного разряда в ЭРГУК, которые зависят от его конструкции. Вместе с тем, научных результатов, отражающих современный уровень разработок ЭРГУК, опублико-

вано мало. Целью работы является систематизация конструктивных особенностей ЭРГУК и их взаимосвязи с эффективностью воздействия.



ЩС-ПУ – щит силовой-пульт управления; БЗ – блок зарядный на основе высоковольтного трансформатора-выпрямителя; БР – блок разрядный на основе высоковольтных импульсных конденсаторов и разрядника; НС – насосная станция для прокачки ЭРГУК водой

Рис. 1. – Общая схема электрогидроимпульсной обработки.

Как показывает практический опыт эксплуатации ЭРГУК для обработки расплава, основными факторами, влияющими на внешние, формирующие структуру, параметры, являются: геометрические размеры, форма элементов разрядной камеры; характеристики разрядного контура; свойства рабочей жидкости, заполняющей разрядную камеру; система и режим прокачки жидкости в разрядной камере; наличие объема воздуха в верхней части разрядной камеры; наличие и конструкция упругой подвески. Таким образом, дальнейшее совершенствование ЭРГУК, способствующее повышению эффективности функциональных возможностей ЭГИО, следует проводить за счет рационального подбора соответствующих перечисленных выше факторов и доработки как каждого элемента в отдельности, так и в комплексе, составляющих единый технологический модуль.



Рис. 2. – Установка УВ12 в литейном цехе

Эффективная реализация процесса ЭГИО зависит от перечисленных выше характеристик, т.е. за счет их варьирования в определенных диапазонах можно регулировать параметры нагружения и управлять механизмом воздействия на обрабатываемый металл. На рис. 3 приведены варианты управления работой ЭРГУК. Рассмотрим их более детально.

Влияние объема воздушной полости в верхней части ЭРГУК. Экспериментальные исследования (напряжение $U_0=50$ кВ; запасаемая энергия $W_0=1,25$ кДж; частота следования разрядов – 1 Гц; время работы ЭРГУК – 30 с; относительный объем воздушной полости – 17 % от объема разрядной камеры) показали, что максимальная амплитуда колебаний торца волновода составила: с воздушной полостью и с прокачкой воды ~ 2,5 мм; с воздушной полостью и без прокачки ~ 2 мм; без воздушной полости и с прокачкой ~ 1,5 мм; без воздушной полости и без прокачки ~ 1 мм. Численным моделированием установлено, что наличие воздушной полости с относительным объемом от 1,5 до 6 % способствует максимальному повышению размаха колебаний [4, 5]. Таким образом, наличие воздушной полости и прокачки жидкости положительно влияет на увеличение амплитуды перемещения торца волновода ЭРГУК.

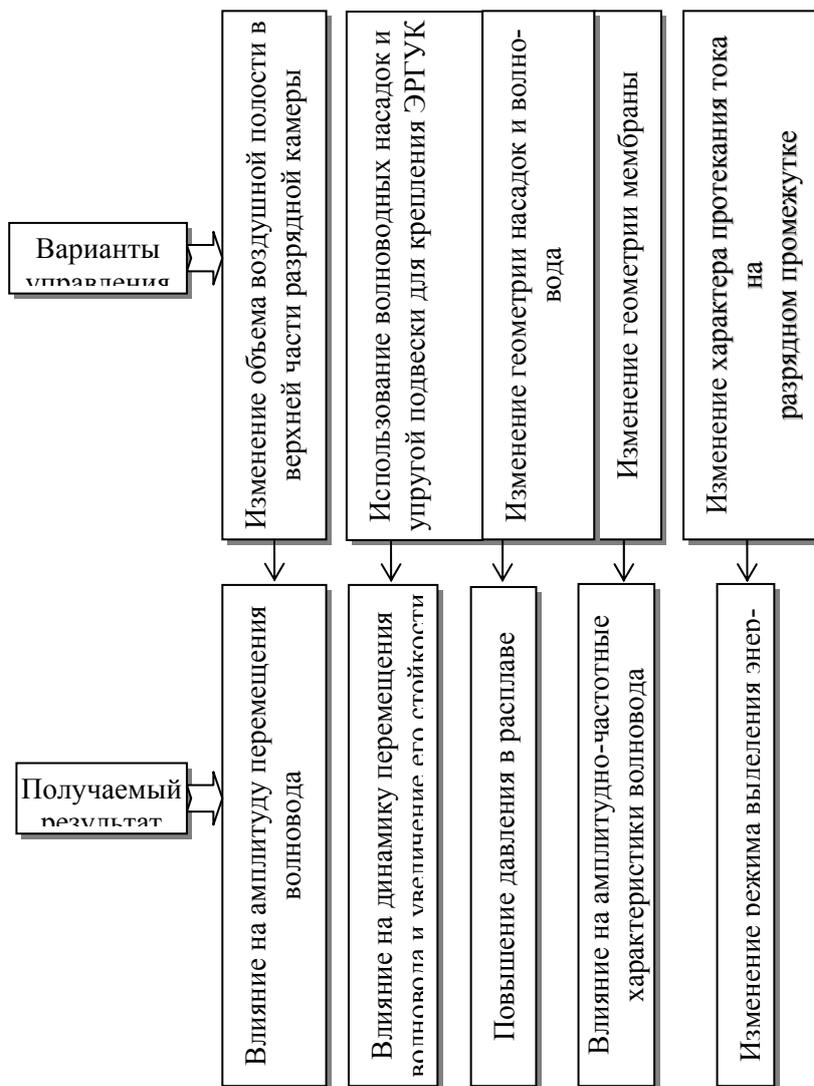


Рис. 3. – Управление параметрами воздействия

Использование упругой подвески ЭРГУК и волноводных насадок. В работах [6-8] приведены результаты теоретических исследований динамики волновода ЭРГУК с упруго заземленной системой крепления при ЭГИО расплава *Al*. Движение торца волновода представляет собой затухающие гармонические колебания. Чем ближе значение отношения жесткости упругих элементов к жесткости мембраны, тем больше частота колебаний волновода, но величина амплитуды при этом значительно уменьшается. В технических приложениях одним из основных технологических параметров ЭГИО является частота следования импульсов, которая находится в пределах от 0,5 до 20 Гц, поэтому, регулируя жесткость упругих элементов и размеры демпфера (насадки), можно обеспечивать условия нагружения с паузой или без паузы. В первом случае получим более активную дегазацию металла, т.к. в паузах нагружения пузырьки газа успеют покинуть зону обработки. Во втором случае обеспечивается более интенсивное перемешивание расплава и изменение его структуры.

Наличие цилиндрических насадок на торце волновода способствует более интенсивному затуханию колебаний [6], например, при диаметре насадки $d_n=30$ мм колебания затухают практически после 200 мс, с увеличением d_n до 70 мм

амплитуда падает до нуля уже после 40 мс. В связи с этим рассмотрим роль диссипативных свойств колебательной системы волновод–расплав. В качестве её характеристики используется логарифмический декремент колебаний. С другой стороны, отношение рассеянной энергии за один цикл к средней энергии цикла характеризует быстроту затухания колебательного процесса и представляет собой коэффициент поглощения ψ , который при умеренном затухании вдвое больше логарифмического декремента. Оценки значения коэффициента поглощения в предположении умеренного затухания колебаний волновода показали, что при использовании волновода с насадкой $d_n=30$ мм значение ψ увеличивается приблизительно в 2,3 раза. С повышением d_n колебания волновода гасятся более интенсивно, а ψ значительно возрастает. Анализ полученных результатов показывает, что применение волноводных насадок при ЭГИО расплава способствует быстрому затуханию колебаний, т.е. существенной диссипации затраченной энергии в зависимости от свойств обрабатываемого металла. До недавнего времени вкладом доли энергии диссипации в формировании новой структуры объекта обработки исследователи пренебрегали. Вместе с тем, как показано в [9, 10], роль диссипированной в материале энергии может выступать определяющей в формировании структуры нового качества. Таким образом, оптимальный подбор жесткости упругих элементов и геометрических размеров волноводных насадок позволит обеспечить более активную дегазацию, интенсивное перемешивание и изменение структуры литого металла.

Влияние геометрии волновода, насадок и мембраны ЭРГУК. Численный эксперимент показал [11], что для ЭРГУК с геометрическими характеристиками, соответствующими реальным установкам промышленного назначения, с увеличением толщины мембраны (в 2 раза) ее амплитуда уменьшается почти на порядок, появляются высокочастотные составляющие в основном перемещении мембраны, а частота затухающих колебаний увеличивается (в 2,8 раза). При увеличении диаметра мембраны (в 4 раза) амплитуда колебаний волновода повышается на два порядка, сокращается длительность основного перемещения и значительно (на 70 %) падает частота затухающих колебаний. Увеличение диаметра волновода в 2 раза снижает амплитуду основного перемещения в 1,25 раза и частоту затухающих колебаний в 1,5 раза. Следовательно, при проектировании ЭРГУК, варьируя геометрическими характеристиками его элементов, можно регулировать параметры нагружения и управлять механизмом воздействия на обрабатываемый металл.

Влияние характеристик разрядного контура. Исследован наиболее оптимальный для ЭГИО режим разряда (доля выделившейся в первый полупериод разрядного тока энергии изменяется от $\eta=0,3$ до $\eta=0,55$), определяемый управляемыми параметрами разрядного контура – запасаемым напряжением U_0 , индуктивностью L , емкостью конденсаторной батареи C , величиной разрядного промежутка l_p . В качестве объекта обработки использовался литейный алюминиевый сплав АК5М2. Эксперименты проведены при ЭГИО расплава с параметрами – $C=1$ мкФ, $L=10$ мкГн, $U_0=50$ кВ, $W_0=1,25$ кДж, $l_p = 30$ мм при частоте следования разрядных импульсов – 1, 3, 5, 7 Гц. Микроструктура литого металла, полученного при различных частотах следования разрядных импульсов,

приведена на рис. 4. Изменение частоты следования разрядов от 1 до 7 Гц не приводит к однозначному уменьшению размеров микрзерна. Внутризеренное упрочнение достигнуто только при частоте 3 Гц, что подтверждается уровнем прочности и пластичности. Полученные результаты свидетельствуют о возможном действии двух механизмов измельчения структурных составляющих и упрочнения литого металла после ЭГИО расплава. Во-первых – это зернограничное упрочнение, связанное с изменениями на макроуровне, во-вторых – внутризеренное упрочнение на микроуровне.

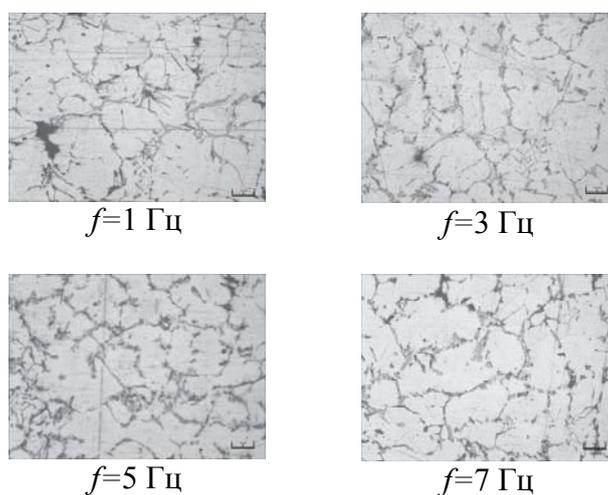


Рис. 4. Влияние частоты следования разрядов на микроструктуру образцов исследуемого сплава, $\times 250$.

При величинах разрядного промежутка – 10, 20, 30 мм ($C=1$ мкФ, $L=10$ мкГн, $U_0=50$ кВ, $W_0=1,25$ кДж, $t_{\text{ЭГИО}}=60$ с, $f=3$ Гц) подтверждено существенное влияние η на эффективность обработки. Максимальный эффект измельчения на макроуровне получен при $l_p=30$ мм ($\eta=0,55$). Прочность металла увеличилась от 180 до 215 МПа при неизменной пластичности. В металле, полученном при $l_p=20$ мм ($\eta=0,4$), прочность возросла на 4 %, а пластичность – в 2,5 раза. Изменяя l_p при постоянной W_0 , можно получить различные механизмы формирования структуры литого металла, например, зернограничное упрочнение или его сочетание с внутризеренным. Микроструктуры образцов сплава приведены на рис. 5. Проведенные исследования показали, что дальнейшее совершенствование технологических установок для ЭГИО расплава следует проводить в направлении комплексной модернизации всего блока с учетом взаимного влияния его энергетических и конструктивных параметров. Выбор единого критерия, связывающего параметры электрогидроимпульсного нагружения с параметрами как всего технологического модуля, так и его отдельных элементов, позволит оптимизировать проектные решения на стадии опытно-конструкторских разработок. Одним из возможных путей решения данной задачи является включение в разрядный контур автоматической системы управления [12], обеспечивающей точное выполнение заданных технологических режимов и мониторинг всего процесса ЭГИО расплава.

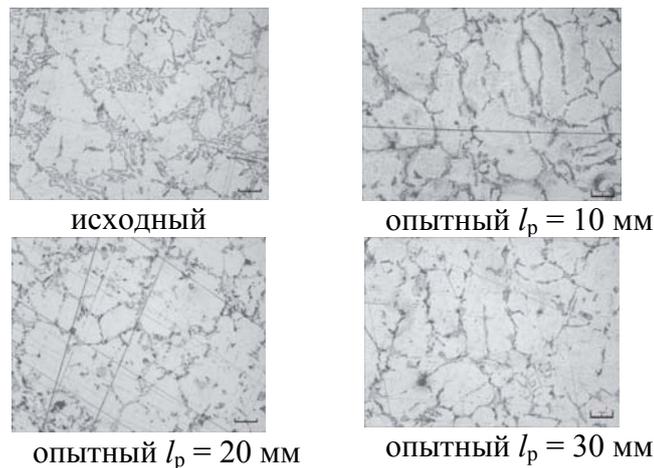


Рис. 5. Влияние величины разрядного промежутка на микроструктуру образцов исследуемого сплава, $\times 125$

Статья подготовлена по материалам доклада IX Международной научной конференции “Импульсные процессы в механике сплошных сред” (15-19 августа 2011, г. Николаев).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грабовий В.М. Наукові і технологічні основи електрогідроімпульсної дії на структуру і властивості виливків із сплавів на основі заліза і алюмінію: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук / ФТМС НАН України. – Київ, 2007. – 42 с.
2. Волков Г.В. Особенности морфологии интерметаллидных включений в жидком алюминиевом сплаве при обработке акустическим полем // Процессы литья. – 2006. – №3. – С.8-12.
3. Цуркин В.М., Волков Г.В., Сінчук А.В. Вплив електрогідроімпульсної обробки розплаву на елементи різних структурних рівнів в металі // МОМ. – 2004. – №4. – С. 10–14.
4. Цуркин В.Н., Мельник А.В. Влияние объема воздушной полости на закон перемещения передающего элемента электроразрядного генератора упругих колебаний // Импульсные процессы в механике сплошных сред: Материалы V Международной научной школы-семинара (19-23 августа 2003). – Николаев: Атолл, 2003. – С. 30–31.
5. Цуркин В.Н., Мельник А.В. Исследование амплитуды перемещения передающего элемента электроразрядного генератора упругих колебаний // Электронная обработка материалов. – 2003. – № 6 (224). – С. 63–69.
6. Цуркин В.Н., Мельник А.В. Процессы и характер нагружения расплава электроразрядным генератором колебаний на упругих элементах. Часть I. (Динамика волновода) // Электронная обработка материалов. – 2008. – № 4 (252). – С.82–92.
7. Цуркин В.Н., Мельник А.В. Процессы и характер нагружения расплава электроразрядным генератором колебаний на упругих элементах. Часть II (Распространение возмущений) // Электронная обработка материалов. – 2009. – № 5 (259). – С.91–96.
8. Цуркин В.Н., Мельник А.В. Нестационарное поле давлений в расплаве при обработке электроразрядным генератором колебаний на упругих элементах // Импульсные процессы в механике сплошных сред: Материалы Международной научной конференции (17-21 августа 2009). – Николаев: КП “Миколаївська обласна друкарня”, 2009. – С. 105–106.
9. Семенов Б.И., Иванова В.С. Концепция и средства управления формирования кристаллического строения отливок в новых методах литья // Литейное производство. – 2001. – №5. – С.20–25.
10. Иванова В.С., Баланкин А.С., Бунин И.Ж., Оксогоев А.А. Синергетика и фракталы в материаловедении. – М.: Наука, 1994. – 382 с.
11. Цуркин В.Н., Мельник А.В. Влияние геометрических характеристик электроразрядного генератора упругих колебаний на перемещение рабочего элемента на послеразрядной стадии // Электронная обработка материалов. – 2006. – №1 (237). – С.63–69.
12. Вовк. И.Т., Друмирецкий В.Б., Кривицкий Е.В., Овчинникова Л.Е. Управление электрогидроимпульсными процессами. – К.: Наук. думка, 1984. – 188 с.

Д-р техн. наук В.П. Надутый,
асп. В.П. Левченко,
канд. техн. наук И.П. Хмеленко
(ИГТМ НАН Украины)

ПОСТРОЕНИЕ РЕГРЕССИОННОЙ ЗАВИСИМОСТИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ВЕРТИКАЛЬНОГО ВИБРАЦИОННОГО ГРОХОТА ОТ СВОЙСТВ ПЕРЕРАБАТЫВАЕМОГО МАТЕРИАЛА

У статті представлені результати ідентифікації експериментальних досліджень залежності продуктивності вертикального вібраційного грохоту від властивостей мінеральної сировини, що переробляється. Отримана узагальнена математична модель продуктивності у виді багатофакторної регресійної залежності другого порядку.

CONSTRUCTION REGRESSION DEPENDENCES OF VERTICAL VIBRATING SCREEN PRODUCTIVITY ON PROPERTIES OF A PROCESSED MATERIAL

In article results of experimental researches of dependence of vertical vibrating screen productivity from characteristics of processed mineral materials are presented. The generalised mathematical model of productivity in the form of multifactorial regression dependence of the second order is received.

Особое место при добыче и переработке полезных ископаемых занимает вибрационное грохочение, которое обеспечивает отбор товарного продукта на стадии дробления или измельчения. Таким образом, снижается нагрузка на дробильное и измельчительное оборудования, и соответственно – их энергопотребление. Так реализуется главный принцип обогатителей «Не дробить ничего лишнего!».

Несмотря на широкое разнообразие конструкций вибрационных грохотов и режимов их работы, дальнейшее совершенствование данных машин непосредственно связано с повышением технологических показателей, снижением энерго- и металлоёмкости, а также с возможностью адаптации оборудования к разнообразным условиям эксплуатации, обеспечивая тем самым универсальность конструкции.

С учетом вышеперечисленных требований, опираясь на многолетний опыт проектирования, создания и эксплуатации машин для переработки горной массы в Институте геотехнической механики НАН Украины была разработана конструкция вертикального вибрационного грохота (ВВГ) [1]. При массе машины 1,3 т и габаритных размерах – 1400x1400x1900, площадь просеивающей поверхности составила 3,2м², а мощность вибропривода всего-навсего 0,74 кВт, что в несколько раз меньше, чем у аналогичных по массе грохотов. При этом, во время работы вибровозбудителей, реализуется пространственное колебание рабочей поверхности, представляющей собой резонирующее ленточно-струнное сито (РЛСС), что в свою очередь повышает скорость протекания процессов перемешивания, сегрегации и просеивания, обеспечивая тем самым высокие технологические показатели работы грохота.