

Код МРНТИ 55.35.33

Б. С. Бейсенов<sup>1</sup>, \*Н. К. Танатаров<sup>1</sup>, И. Б. Бертолеев<sup>1</sup>, Йонас Матейошюс<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Satbayev University (г. Алматы, Казахстан),

<sup>2</sup>Институт механических наук Вильнюсского технического университета им. Гедиминаса (г. Вильнюс, Литва)

## МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ОБРУШЕНИЯ СВОДОВ ЗАВИСШЕГО МАТЕРИАЛА В БУНКЕРАХ С ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКИМ УДАРНЫМ ПРИВОДОМ НА БАЗЕ ГЕНЕРАТОРА ИМПУЛЬСНЫХ ТОКОВ

**Аннотация.** В статье рассмотрена модернизированная система обрушения сводов зависшего сыпучего материала в бункерах горнодобывающих и перерабатывающих предприятий, обеспечивающая повышение эффективности технологических процессов разгрузки. Рабочее воздействие в системе формируется за счет электрогидравлического ударного эффекта, создаваемого при импульсном разряде в жидкой среде, при этом в качестве источника импульсного питания используется генератор импульсных токов, заимствованный из магнитно-импульсных систем и адаптированный под условия промышленной эксплуатации. Приведены конструктивная схема системы, принцип ее действия, а также результаты экспериментальных и расчетных исследований, подтверждающие работоспособность и устойчивость параметров. Показано существенное повышение эффективности разрушения сводов, снижение удельных энергозатрат и увеличение надежности оборудования по сравнению с традиционными методами механического и вибрационного воздействия.

**Ключевые слова:** бункер, зависший материал, сводообразование, обрушение сводов, электрогидравлический ударный эффект, генератор импульсных токов.

**Импульстік ток генератор негізінде электрогидравликалық соққы жетегімен бункерлердегі аспалы материалдардағы тоғыстарды қирату жүйесін жаңғырту**

**Аннотация.** Мақалада тау-кен өндіру және қайта өңдеу кәсіпорындарының бункерлеріндегі ілініп қалған сусымалы материал күмбездерін бұзуға арналған жаңғыртылған жүйе қарастырылған, ол түсіру процестерінің тиімділігін арттыруды қамтамасыз етеді. Жүйедегі жұмыс әсері сұйық ортада импульстік разряд кезінде пайда болатын электрогидравликалық соққы әсері есебінен қалыптасады, ал импульстік коректену көзі ретінде магниттік-импульстік жүйелерден алынған және өндірістік пайдалану жағдайларына бейімделген импульстік ток генераторы қолданылады. Жүйенің конструктивтік сұлбасы, жұмыс істеу принципі, сондай-ақ оның жұмысқа қабілеттілігі мен параметрлерінің тұрақтылығын растайтын эксперименттік және есептік зерттеулердің нәтижелері келтірілген. Дәстүрлі механикалық және вибрациялық әсер ету әдістерімен салыстырғанда күмбездерді бұзу тиімділігінің едәуір артқаны, меншікті энергия шығындарының төмендегені және жабдықтың сенімділігінің артқаны көрсетілген.

**Түйінді сөздер:** бункер, аспалы материал, тоғыстың пайда болуы, тоғысты қирату, электрогидравликалық соққы әсері, импульстік ток генераторы.

**Modernization of the system for collapsing vaults of suspended material in bunkers with an electro-hydraulic impact drive based on a pulse current generator**

**Abstract.** The article considers a modernized system for collapsing arches of bulk materials formed in bunkers at mining and processing enterprises, aimed at improving the efficiency of unloading processes. The working impact in the system is generated by an electrohydraulic shock effect occurring during a pulsed discharge in a liquid medium, while a pulse current generator borrowed from magnetic pulse systems and adapted for industrial operating conditions is used as a power source. The paper presents the structural scheme of the system, its operating principle, as well as the results of experimental and computational studies confirming its operability and parameter stability. A significant increase in the efficiency of arch destruction, a reduction in specific energy consumption, and an improvement in equipment reliability compared to traditional mechanical and vibrational methods are demonstrated.

**Key words:** bunker, hanging material, arching, electrohydraulic effect, pulse current generator.

### Введение

Бункерные устройства широко применяются в горнодобывающей и перерабатывающей промышленности для накопления, хранения и дозированной подачи сыпучих материалов [1, 2]. Надежность работы бункеров в значительной степени определяется устойчивостью процесса истечения материала [3–4]. Одной из наиболее распространенных и трудноустраняемых проблем является образование устойчивых сводов зависшего материала, приводящее к нарушению технологического режима, снижению производительности оборудования и увеличению простоев [4–5].

Для разрушения сводов применяются различные методы воздействия, включая механические, вибрационные и пневматические способы. Однако практика эксплуатации показывает, что указанные методы обладают рядом существенных недостатков: ограниченной эффективностью при работе с трудносыпучими и слеживающимися материалами, высоким уровнем энергопотребления и ускоренным износом оборудования [6].

Перспективным направлением является использование импульсных методов воздействия высокой интенсивности, обеспечивающих разрушение сводообразных струк-

тур без длительного механического нагружения конструктивных элементов бункера. Среди таких методов особое место занимает электрогидравлический эффект, впервые открытый и экспериментально обоснованный Л. А. Юткиным [7, 8]. Данный эффект основан на преобразовании энергии кратковременного электрического разряда в жидкой среде в интенсивное ударно-волновое воздействие [9–10]. Дальнейшее развитие данного эффекта позволило расширить область его практического применения, в том числе для разрушения прочных структур и уплотненных массивов материалов.

Вместе с тем реализация электрогидравлического воздействия требует надежных и управляемых источников импульсного питания, обеспечивающих воспроизводимость энергетических параметров разрядов. В этой связи актуальной является задача модернизации систем обрушения сводов зависшего материала за счет применения электрогидравлического ударного привода с импульсным источником питания на базе генератора импульсных токов [11–12].

Научная новизна работы заключается в обосновании и реализации способа импульсного воздействия на своды зависшего материала, при котором электрогидравлический эффект

используется в замкнутом объеме, стенки которого находятся в непосредственном контакте со стенками бункера, что обеспечивает передачу ударно-волнового импульса по площади контакта и позволяет отказаться от применения электродинамических сил и металлических ударных пластин, характерных для магнитно-импульсных систем [11–12].

Теоретическое обоснование предлагаемого способа базируется на положениях электрогидравлического эффекта, заключающегося в преобразовании энергии электрического разряда в жидкой среде в энергию ударной волны. При импульсном пробое межэлектродного промежутка формируется плазменный канал с высокой температурой и давлением, что приводит к возникновению сферически распространяющейся ударной волны.

Давление в зоне разряда определяется запасенной электрической энергией и условиями ее преобразования, а разрушение сводообразных структур происходит за счет кратковременных импульсных напряжений, превышающих силы внутреннего трения и сцепления частиц сыпучего материала.

В отличие от вибрационных и статических методов, эффективность воздействия определяется не столько величиной энергии, сколько скоростью ее высвобождения и импульсным характером нагрузки.

### Материалы и методы

Модернизированная система обрушения сводообразных завесаний предназначена для разрушения устойчивых арочных структур сыпучего материала, формирующихся в бункерах и рудоспусках. Конструктивно система включает электрогидравлический ударный привод, исполнительный элемент передачи импульса, узел крепления к стенке бункера и импульсный источник питания – генератор импульсных токов.

Электрогидравлический ударный привод выполнен в виде герметичной камеры, заполненной жидкой рабочей средой, внутри которой размещены разрядные электроды. Электроды подключены к генератору импульсных токов и предназначены для формирования высоковольтного импульсного разряда. Камера электрогидравлического воздействия установлена с внешней стороны бункера и находится в непосредственном механическом контакте со стенкой бункера либо соединена с ней через специальный передающий элемент.

При подаче импульсного напряжения между электродами в рабочей среде возникает электрический разряд, сопровождающийся образованием плазменного канала и резким локальным ростом давления. Данный процесс реализует электрогидравлический эффект и приводит к формированию кратковременного импульса давления и ударной волны, распространяющейся в жидкости и воздействующей на стенки камеры.

Передача импульса давления на стенку бункера осуществляется по всей площади контакта камеры, что принципиально отличает рассматриваемую систему от магнитно-импульсных устройств, в которых воздействие формируется электродинамическими силами, локализованными в зоне действия индуктора или ударной пластины. Площадной характер нагрузки обеспечивает более

равномерное распределение напряжений в стенке бункера и возбуждение упругих волн, распространяющихся в массиве зависшего материала.

В результате кратковременного импульсного воздействия в теле свода возникают инерционные силы и напряжения, превышающие силы сцепления и внутреннего трения между частицами материала, что приводит к разрушению сводообразной структуры и переходу материала в текучее состояние. Существенным преимуществом системы является отсутствие длительного вибрационного нагружения конструкции бункера, что снижает динамическое воздействие на элементы оборудования и уменьшает удельные энергозатраты.

Источником питания электрогидравлического привода служит генератор импульсных токов, конструктивно и схематехнически заимствованный из магнитно-импульсных систем. В рассматриваемой системе генератор используется исключительно для формирования электрических импульсов заданной энергии и длительности и не участвует в создании магнитно-импульсного воздействия.

Регулирование режима работы системы осуществляется изменением параметров импульсного питания, включая энергию разряда, длительность импульса и частоту их следования. Это позволяет адаптировать систему к различным физико-механическим свойствам сыпучих материалов, в том числе к материалам с повышенной влажностью и склонностью к слеживанию, а также к различным геометрическим и эксплуатационным условиям бункеров.

Таким образом, предложенная конструкция сочетает преимущества электрогидравлического ударного эффекта и импульсного источника питания, обеспечивая эффективное разрушение устойчивых сводов зависшего материала при сравнительно низких энергозатратах, высокой надежности и расширенной области рационального применения по сравнению с традиционными вибрационными и магнитно-импульсными системами.

Экспериментальные исследования проводились на лабораторной установке (рис. 1–3), моделирующей процесс электрогидравлического воздействия в замкнутом объеме жидкости.

*Состав установки:*

- генератор импульсных токов (ГИТ);
- конденсаторная батарея емкостью  $C = 0,4$  мкФ;
- высоковольтный разрядник;
- разрядная камера объемом  $V = (5–20) \cdot 10^{-6}$  м<sup>3</sup>;
- система измерения давления;
- регистрирующая аппаратура.

*Принцип работы установки.* Конденсаторная батарея заряжается до заданного напряжения (до  $U = 50$  кВ); при срабатывании разрядника происходит пробой межэлектродного промежутка; в жидкости формируется плазменный канал; возникает ударная волна, распространяющаяся в объеме камеры; давление регистрируется датчиком и фиксируется измерительной системой;

*Характеристики используемых приборов:*

- генератор импульсных токов: напряжение до 50 кВ, длительность импульса  $\sim 10^{-6}–10^{-5}$  с;

- датчик давления (манометр): диапазон измерений до 10 МПа, погрешность не более  $\pm 5\%$ ;
- осциллограф: полоса пропускания не менее 100 МГц;
- система регистрации: цифровая, с временным разрешением до 1 мкс.

Регулирование параметров эксперимента осуществлялось изменением напряжения заряда, емкости и межэлектродного зазора.



**Рис. 1. Общий вид установки.**  
**Сурет 1. Орнатудың жалпы көрінісі.**  
**Figure 1. General view of the installation.**



**Рис. 2. Разрядная камера установки.**  
**Сурет 2. Орнатудың шығару камерасы.**  
**Figure 2. Discharge chamber of the installation.**

Расчет энергии разряда создаваемой ГИТ лабораторной установки при емкости конденсаторов 0,4 мкФ и зарядного напряжения 50 кВ.

Энергия, запасаемая в конденсаторной батарее, определяется формулой 1:

$$E_{\text{эд}} = \frac{1}{2} CU^2, \quad (1)$$

где,  $E_{\text{эл}}$  – электрическая энергия, Дж;  
 $C$  – емкость конденсатора, Ф;  
 $U$  – напряжение, В.

Подстановка численных значений:

$$E_{\text{эл}} = 0,5 \cdot 0,4 \cdot 10^{-6} \cdot (5 \cdot 10^4)^2 \approx 500 \text{ Дж.}$$

С учетом коэффициента преобразования энергии (формула 2):

$$E_{\text{имп}} = \eta \cdot E_{\text{эд}}, \quad (2)$$

где,  $E_{\text{имп}}$  – энергия ударного импульса, Дж;  
 $\eta$  – коэффициент преобразования (0,01–0,05).

Тогда:

$$E_{\text{имп}} \approx 5\text{--}25 \text{ Дж.}$$

Максимальное давление определяется формулой 3:

$$p_{\text{max}} = \frac{E_{\text{имп}}}{V}, \quad (3)$$

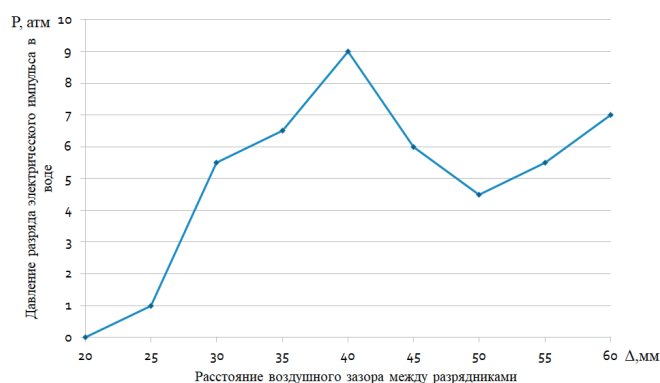
где,  $p_{\text{max}}$  – максимальное давление, Па;

$V$  – объем камеры, м<sup>3</sup>.

При  $V = (5\text{--}20) \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$ :

$p_{\text{max}} \approx 0,25\text{--}5 \text{ МПа.}$

При принятых параметрах ЭГУ было достигнуто давление порядка 0,9 МПа (рис. 3).



**Рис. 3. Зависимость давления, образовавшегося в результате разряда электрического импульса в воде от расстояния воздушного зазора в высоковольтном разряднике.**

**Сурет 3. Судағы электр импульсінің разрядталуы нәтижесінде пайда болған қысымның жоғары вольтты разрядтағы ауа саңылауының қашықтығына тәуелділігі.**

**Figure 3. Dependence of the pressure formed as a result of the discharge of an electric pulse in water on the distance of the air gap in a high-voltage arrester.**

Полученные значения согласуются с расчетами импульсного воздействия и подтверждают эффективность ЭГУ для разрушения своеобразных зависимостей сыпучего материала.

Разрушение свода в данном случае будет обусловлено высокой скоростью нарастания давления и импульсным характером нагрузки, а не величиной суммарной энергии, что принципиально отличает ЭГУ от статических и вибрационных методов воздействия.

Увеличение площади контакта  $S$  при заданной энергии импульса повышает эффективность передачи механического воздействия и снижает локальные напряжения в конструкции бункера.

### Обсуждение результатов

Проведенные расчетные исследования были направлены на анализ параметров ударной волны, формируемой в результате электрогидравлического разряда, а также на оценку импульса давления, передаваемого массиву зависшего сыпучего материала. Расчеты выполнялись на основе моделей распространения ударных волн в жидкой среде с учетом их отражения и затухания при взаимодействии со стенками бункера. Полученные расчетные значения уровня давления и длительности импульса показали удовлетворительное согласование с результатами экспериментальных исследований.

Анализ энергетических показателей показал, что применение генератора импульсных токов в качестве источника питания электрогидравлического привода позволяет существенно снизить удельные энергозатраты на разрушение сводообразных завесаний по сравнению с непрерывными методами воздействия. Это обусловлено высокой концентрацией энергии в коротком временном интервале и отсутствием необходимости длительного нагружения конструкции бункера.

В ходе экспериментальных испытаний была подтверждена возможность регулирования режимов работы системы за счет изменения параметров импульсного питания. Данный подход обеспечивает адаптацию электрогидравлического устройства к различным условиям эксплуатации и типам сыпучих материалов, включая материалы с повышенной влажностью и склонностью к слеживанию.

Установлено, что при энергии импульса в диапазоне 1–3 кДж обеспечивается надежное разрушение устойчивых сводов. Расчетные оценки параметров ударной волны в указанном энергетическом диапазоне находятся в удовлетворительном соответствии с экспериментальными данными по максимальному давлению и длительности импульса.

Результаты экспериментов показали, что применение электрогидравлического ударного привода обеспечивает разрушение сформированных сводов при существенно меньшем времени воздействия по сравнению с традиционными вибрационными методами. При этом эффективность обрушения определяется не только энергией импульса, но и расстоянием от зоны разряда до поверхности взаимодействия с массивом материала. Импульсный характер нагрузки способствует локальному разрушению

сводообразных структур без формирования остаточных уплотнений в прилегающих зонах.

Сравнительный анализ показал, что по отношению к вибрационным методам удельные энергозатраты на разрушение сводов снижаются на 25–30 %, что обусловлено высокой плотностью энергии и кратковременностью импульсного воздействия.

Полученные результаты согласуются с фундаментальными представлениями об электрогидравлическом эффекте, сформулированными Л. А. Юткиным, и подтверждают его эффективность при решении задач разрушения сводообразных завесаний в бункерах и рудоспусках.

Следует отметить, что рассматриваемый подход не предъявляет требований к электропроводности и материалу стенок бункера, что позволяет эффективно применять электрогидравлические системы в конструкциях с металлическими, футерованными и комбинированными стенками. Тем самым устраняются принципиальные ограничения, характерные для магнитно-импульсных систем, и расширяется область рационального применения импульсных методов обрушения сводообразных структур.

Полученные зависимости подтверждают, что ключевым фактором разрушения сводообразных структур является высокая скорость нарастания давления (градиент давления), а не только его максимальное значение. Это согласуется с теорией импульсного разрушения, согласно которой кратковременные динамические напряжения более эффективно преодолевают силы сцепления частиц по сравнению с квазистатическими нагрузками.

### Заключение

1. Обоснована целесообразность применения электрогидравлического ударного эффекта для разрушения сводов зависшего материала в бункерах.
2. Разработана модернизированная система обрушения сводов с электрогидравлическим ударным приводом и импульсным источником питания.
3. Показано, что использование генератора импульсных токов обеспечивает устойчивость и воспроизводимость энергетических параметров разрядов.
4. Экспериментально подтверждено снижение удельных энергозатрат по сравнению с традиционными методами.
5. Система может быть рекомендована для модернизации действующих бункеров горнодобывающих предприятий.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Спиваковский А. О., Дьячков В. К. Механизация и автоматизация перегрузочных процессов в горной промышленности. – М.: Недра, 1985. – 368 с. (на русском языке)
2. Зенков Р. Л., Ивлев И. И. Бункерные устройства и питатели сыпучих материалов. – М.: Машиностроение, 1990. – 320 с. (на русском языке)
3. Метод оптимизации формы бункера с улучшением структуры массового потока и снижением сегрегации частиц / X. Huang [и др.] // *Chemical Engineering Science*. – 2022. – Т. 253. – Ст. 117579 (на английском языке)
4. Колобов Л. Н., Пертен Ю. А. Анализ причин сводообразования в бункерах горных предприятий // *Горный журнал*. – 2008. – № 6. – С. 42–46 (на русском языке)
5. Течение и сводообразование частиц биомассы в клиновидных бункерах / Y. Lu [и др.] // *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*. – 2021. – Т. 9. – № 45. – С. 15267–15278 (на английском языке)

6. Баклицкий В. А., Савельев С. А. Применение импульсных методов для интенсификации истечения сыпучих материалов // Известия вузов. Горный журнал. – 2012. – № 4. – С. 55–60 (на русском языке)
7. Юткин Л. А. Электрогидравлический эффект. – М.–Л.: Госэнергоиздат, 1955. – 212 с. (на русском языке)
8. Юткин Л. А. Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности. – Л.: Машиностроение, 1960. – 278 с. (на русском языке)
9. Численное моделирование процессов распространения трещин и накопления повреждений в угольном пласте при воздействии контролируемых высокоэнергетических ударных волн / S. Wan [и др.] // Applied Sciences. – 2025. – Т. 15. – № 22. – Ст. 12279 (на английском языке)
10. Брагинский В. Б., Розенфельд Л. М. Электрогидравлический эффект и его технические применения. – М.: Энергия, 1971. – 256 с. (на русском языке)
11. Юдин В. А., Куликов С. В. Электрогидравлические ударные устройства в технологических процессах. // Техника и технология горного производства. – 2015. – № 2. – С. 18–24 (на русском языке)
12. Михайлов А. Н. Использование генераторов импульсных токов в импульсных энергетических установках // Электротехника. – 2010. – № 9. – С. 12–17 (на русском языке)

#### ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Спиваковский А. О., Дьячков В. К. Тау-кен өнеркәсібіндегі тиеу-түсіру процестерін механикаландыру және автоматтандыру. – Мәскеу: Недра, 1985. – 368 б. (орыс тілінде)
2. Зенков Р. Л., Ивлев И. И. Үйінді материалдарға арналған бункерлік құрылғылар мен қоректендіргіштер. – Мәскеу: Машиностроение, 1990. – 320 б. (орыс тілінде)
3. Массалық ағын құрылымын жақсарту және бөлшектер сегрегациясын азайту арқылы бункер пішінін оңтайландыру әдісі / X. Huang [және т. б.] // Chemical Engineering Science. – 2022. – Т. 253. – 117579 (ағылшын тілінде)
4. Колобов Л. Н., Пертен Ю. А. Тау-кен кәсіпорындарының бункерлерінде күмбез түзілу себептерін талдау. // Тау-кен журналы. – 2008. – № 6. – Б. 42–46 (орыс тілінде)
5. Сына тәрізді бункерлердегі биомасса бөлшектерінің ағуы және күмбез түзілуі / Y. Lu [және т. б.] // ACS Sustainable Chemistry & Engineering. – 2021. – Т. 9. – № 5. – Б. 15267–15278 (ағылшын тілінде)
6. Баклицкий В. А., Савельев С. А. Үйінді материалдардың ағуын қарқындату үшін импульстік әдістерді қолдану // ЖОО хабаршысы. Тау-кен журналы. – 2012. – № 4. – Б. 55–60 (орыс тілінде)
7. Юткин Л. А. Электрогидравликалық эффект. – Мәскеу; Ленинград: Госэнергоиздат, 1955. – 212 б. (орыс тілінде)
8. Юткин Л. А. Электрогидравликалық эффект және оның өнеркәсіпте қолданылуы. – Ленинград: Машиностроение, 1960. – 278 б. (орыс тілінде)
9. Басқарылатын жоғары энергиялы соққы толқындары әсеріндегі көмір қабатындағы жарықшақтардың таралуы мен бұзылу эволюциясын сандық модельдеу / S. Wang [және т. б.] // Applied Sciences. – 2025. – Т. 15. – № 22. – 12279 (ағылшын тілінде)
10. Брагинский В. Б., Розенфельд Л. М. Электрогидравликалық эффект және оның техникалық қолданылуы. – Мәскеу: Энергия, 1971. – 256 б. (орыс тілінде)
11. Юдин В. А., Куликов С. В. Технологиялық процестердегі электрогидравликалық соққы құрылғылары // Тау-кен өндірісінің техникасы мен технологиясы. – 2015. – № 2. – Б. 18–24 (орыс тілінде)
12. Михайлов А. Н. Импульстік энергетикалық қондырғыларда импульстік ток генераторларын пайдалану // Электротехника. – 2010. – № 9. – Б. 12–17 (орыс тілінде)

#### REFERENCES

1. Spivakovsky A. O., Dyachkov V. K. Mekhanizatsiya i avtomatizatsiya peregruzochnykh protsessov v gornoy promyshlennosti [Mechanization and automation of loading and unloading processes in mining industry]. – Moscow: Nedra, 1985. – 368 p. (in Russian)
2. Zenkov R. L., Ivlev I. I. Bunkernye ustroystva i pitateli sypuchikh materialov [Bunker devices and feeders of bulk materials]. – Moscow: Mashinostroenie, 1990. – 320 p. (in Russian)
3. A design method of hopper shape optimization with improved mass flow pattern and reduced particle segregation / X. Huang et al. // Chemical Engineering Science. – 2022. – Vol. 253. – Article 117579 (in English)
4. Kolobov L. N., Perten Yu. A. Analiz prichin svodoobrazovaniya v bunkerah gornyykh predpriyatiy [Analysis of arch formation causes in bunkers of mining enterprises] // Gornyy zhurnal [Mining Journal]. – 2008. – No. 6. – P. 42–46 (in Russian)
5. Flow and arching of biomass particles in wedge-shaped hoppers / Y. Lu et al. // ACS Sustainable Chemistry & Engineering. – 2021. – Vol. 9. – No. 45. – P. 15267–15278 (in English)

6. Baklitsky V. A., Saveliev S. A. *Primenenie impulsnykh metodov dlya intensivifikatsii istecheniya sypuchikh materialov* [Application of pulse methods for intensification of bulk material flow]. *Izvestiya vuzov. Gornyi zhurnal* [University News. Mining Journal]. – 2012. – No. 4. – P. 55–60 (in Russian)
7. Yutkin L. A. *Elektrohydraulicheskiy effect* [Electrohydraulic effect]. – Moscow; Leningrad: Gosenergoizdat, 1955. – 212 p. (in Russian)
8. Yutkin L. A. *Elektrohydraulicheskiy effekt i ego primeneniye v promyshlennosti* [Electrohydraulic effect and its industrial application]. – Leningrad: Mashinostroenie, 1960. – 278 p. (in Russian)
9. Numerical simulation of fracture propagation and damage evolution in coal seam under controlled high-energy shock wave fracturing / S. Wang et al. // *Applied Sciences*. – 2025. – Vol. 15. – No. 22. – Article 12279 (in English)
10. Braginsky V. B., Rosenfeld L. M. *Elektrohydraulicheskiy effekt i ego tekhnicheskie primeneniya* [Electrohydraulic effect and its technical applications]. – Moscow: Energiya, 1971. – 256 p. (in Russian)
11. Yudin V. A., Kulikov S. V. *Elektrohydraulicheskie udarnye ustroystva v tekhnologicheskikh protsessakh* [Electrohydraulic impact devices in technological processes]. *Tekhnika i tekhnologiya gornogo proizvodstva* [Equipment and Technology of Mining Production]. – 2015. – No. 2. – P. 18–24 (in Russian)
12. Mikhailov A. N. *Ispolzovanie generatorov impulsnykh tokov v impulsnykh energeticheskikh ustanovkakh* [Application of pulse current generators in pulsed power installations]. *Elektrotehnika* [Electrical Engineering]. – 2010. – No. 9. – P. 12–17 (in Russian)

#### Сведения об авторах:

**Бейсенов Б. С.**, к. т. н., ассоциированный профессор кафедры «Технологические машины и газотурбинные установки», Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), [b.beisenov@satbayev.university](mailto:b.beisenov@satbayev.university); <https://orcid.org/0000-0002-6501-6746>

**Танатар Н. К.**, докторант ОП «Механика и металлообработка» (Образовательная программа: Промышленное машиностроение), Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), [nursul\\_ktl@mail.ru](mailto:nursul_ktl@mail.ru); <https://orcid.org/0009-0003-4900-3587>

**Бертолеев И. Д.**, докторант ОП «Механика и металлообработка» (Образовательная программа: Цифровая инженерия машин и оборудования), Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), [i.bertoleev@satbayev.university](mailto:i.bertoleev@satbayev.university); <https://orcid.org/0009-0008-3649-4299>

**Йонас Матейошиус**, Ph.D, ассоциированный профессор, руководитель лаборатории экспериментальной механики, ведущий научный сотрудник Института механических наук Вильнюсского технического университета им. Гедиминаса (г. Вильнюс, Литва), [jonas.matijosius@vilniustech.lt](mailto:jonas.matijosius@vilniustech.lt); <https://orcid.org/0000-0001-6006-9470>

#### Авторлар туралы мәліметтер:

**Бейсенов Б. С.**, т. ғ. к., «Технологиялық машиналар және газтурбиналық қондырғылар» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

**Таңатар Н. Қ.**, «Механика және металл өңдеу» (Білім беру бағдарламасы: Өнеркәсіптік машина жасау) білім беру бағдарламасының докторанты, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

**Бертолеев И. Д.**, «Механика және металл өңдеу» ОП докторанты (Білім беру бағдарламасы: Машиналар мен жабдықтардың цифрлық инженериясы), Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

**Йонас Матейошиус**, Ph.D докторы, доцент, эксперименттік механика зертханасының меңгерушісі, Вильнюс Гедиминас техникалық университетінің механикалық ғылымдар институтының жетекші ғылыми қызметкері (Вильнюс қ., Литва)

#### Information about the authors:

**Beisenov B. S.**, Ph.D., Associate Professor of the Department of Technological machines and gas turbine installations, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

**Tangatar N. K.**, Doctoral Student of the Educational Program «Mechanics and Metalworking» (Educational program: Industrial Engineering), Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

**Bertoleev I. D.**, Doctoral Student, Mechanics and Metal Processing (Educational program: Digital Engineering of Machines and Equipment), Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

**Jonas Matijosius**, Ph.D, Associate Professor, Head of the Experimental Mechanics Laboratory, Leading Researcher at the Institute of Mechanical Sciences, Vilnius Gediminas Technical University (Vilnius, Lithuania)