

# ТРАНСПОРТНОЕ, ГОРНОЕ И СТРОИТЕЛЬНОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 621.928.26

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЖЕЛОБООБРАЗНОЙ ВАЛКОВОЙ СОРТИРОВКИ С ПОДВИЖНЫМИ ФАРТУКАМИ

А.В. КОНДРАТЬЕВ, д-р техн. наук, С.М. КОЧКАНЯН, канд. техн. наук,  
Т.И. ЛЫСЕНКО, ст. преподаватель

Тверской государственный технический университет,  
170026, Тверь, наб. Аф. Никитина, 22, e-mail: avkondr@ya.ru

© Кондратьев А.В., Кочканян С.М., Лысенко Т.И., 2022

Представлены результаты исследований влияния конструктивных, кинематических и технологических параметров на эффективность и время процесса грохочения гравия на валковой желобообразной сортировке с подвижными фартуками. Получены зависимости эффективности и времени процесса просеивания гравия от углов наклона желобообразной поверхности сита, частоты вращения валов с дисками, скорости движения фартуков и шага их расстановки. Выполнено многофакторное планирование эксперимента и определены рациональные параметры желобообразной валковой сортировки, обеспечивающие высокую результативность процесса грохочения каменных материалов.

*Ключевые слова:* желобообразная валковая сортировка, фартуки, подвижные фартуки, продольный и поперечный углы наклона сита, частота вращения валов с дисками, скорость движения фартуков, подача материала, эффективность и время грохочения, гравий.

**DOI: 10.46573/2658-5030-2022-2-47-56**

### ВВЕДЕНИЕ

Одной из основных операций в технологии добычи и переработки нерудных строительных материалов является разделение каменного материала на классы по крупности. Процессы фракционирования гравия и щебня в основном осуществляются на вибрационных и барабанных сортировках, исследования по модернизации которых продолжаются и по сей день [1–3]. С этой же целью проводятся изыскания по созданию новых конструкций разделительных устройств, в частности валковых грохотов, обеспечивающих более высокую производительность, а также эффективность классификации материала [4, 5].

Одним из вариантов подобных устройств является желобообразная валковая сортировка с подвижными фартуками [6–9]. Исследования были направлены на определение ее рациональных параметров на основе высокой результативности процесса фракционирования каменного материала. В экспериментальных исследованиях решались две задачи:

проведение однофакторных исследований на экспериментальном стенде желобообразной валковой сортировки с целью выявления самых значимых факторов,

оказывающих наиболее существенное влияние на результативность процесса грохочения каменных материалов;

многофакторное планирование экспериментальных исследований по определению рациональных параметров разделительного устройства с подвижными фартуками.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Конструктивная схема экспериментального стенда желобообразной сортировки с подвижными фартуками представлена на рис. 1. Разделительное устройство состоит из ряда параллельных валов 1 с закрепленными на них в шахматном порядке многогранными дисками 2. Валы с дисками образуют желобообразную поверхность сита. Над дисками вдоль валов установлены подвижные фартуки 3. К нижнему валу примыкает боковая вертикальная стенка 4. Нижняя часть стенки выполнена в виде гребенки, зубья которой расположены в промежутках между дисками. Валы установлены с наклоном к горизонту под углом  $\gamma$  в сторону движения материала.

Устройство работает следующим образом. С торца желоба на вращающиеся диски подается исходный материал, который подхватывается подвижными фартуками и транспортируется вдоль валов желобообразной поверхности в сторону выгрузки. Одновременно вращающимися дисками зерна материала постоянно поднимаются вверх и скатываются вниз по стороне желоба, распределяясь по поверхности сита и обеспечивая тем самым беспрепятственное просеивание мелкой фракции между дисками. При этом боковая вертикальная стенка останавливает скатывающийся материал, который транспортируется фартуками в сторону разгрузки. Частицы материала верхнего класса выгружаются с устройства в конце желоба.

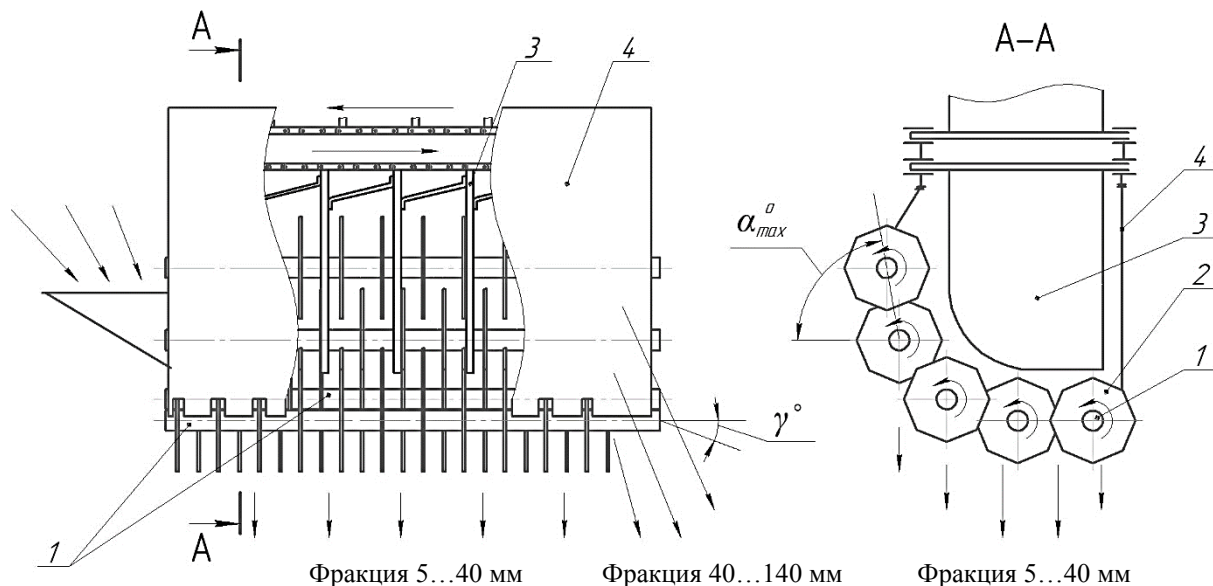


Рис. 1. Схема желобообразной сортировки с подвижными фартуками

Техническая характеристика стендового оборудования:

количество валов 5; длина вала 600 мм; диаметр вала 50 мм; расстояние между осями соседних валов 240 мм; форма дисков восьмигранная; диаметр дисков 340 мм; толщина дисков 8 мм; промежуток между соседними дисками вала 40 мм; ширина просеивающей поверхности 900 мм. Продольный угол наклона желоба (угол наклона

валов) по ходу движения материала  $\gamma = 0^\circ \dots -8^\circ$ ; поперечный угол установки верхнего вала по отношению к предыдущему (наибольшая крутизна поверхности желоба)  $\alpha_{\max} = 55^\circ \dots 70^\circ$ ; шаг расстановки фартуков – 150 и 300 мм; частота вращения валов с дисками  $n = 70 \dots 141$  об/мин; скорость движения фартуков  $v_f = 0,2 \dots 0,7$  м/с. Исходный материал для просеивания состоял из зерен гравия нижнего класса на 60 % (5...40 мм) и верхнего класса на 40 % (40...140 мм). Подача гравийной смеси  $q$  на валковое сито изменялась в интервале 90...630 кг/мин. Материал подавался на грохот с ленточного транспортера со следующими техническими характеристиками: длина ленточного конвейера 1,3 м; ширина ленты 0,2 м; скорость ленты 0,17 м/с.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Вначале изучали влияние углов наклона валкового сита на эффективность процесса грохочения гравия. В табл. 1 отображено влияние поперечного угла наклона стороны желоба на интенсивность просеивания материала. Из представленных данных можно заключить, что самый высокий показатель эффективности ( $E = 98,87\%$ ) получен при  $\alpha_{\max} = 60^\circ$ . Увеличение времени процесса с ростом  $\alpha_{\max}$  объясняется уменьшением распределения материала по ширине желоба, вследствие чего скорость его перемещения по устройству снижается.

Таблица 1. Результативность процесса грохочения

Показатели	Поперечный угол наклона поверхности желоба $\alpha_{\max}$			
	55°	60°	65°	70°
Эффективность грохочения $E$ , %	97,84	98,87	98,31	97,40
Время грохочения $t$ , с	8,42	9,06	9,11	9,35

Показатели эффективности и время процесса фракционирования в зависимости от продольного угла наклона желоба представлены в табл. 2. Полученные результаты показывают, что с увеличением наклона сита сначала происходит повышение  $E$ , а затем снижение. Наибольшее значение эффективности грохочения соответствует углу  $\gamma = -6^\circ$ . С увеличением наклона сита по ходу выполнения технологического процесса скорость движения материала увеличивается, поэтому время его просеивания сокращается.

Таблица 2. Результативность процесса грохочения

Показатели	Продольный угол наклона поверхности желоба $\gamma$				
	0°	-2°	-4°	-6°	-8°
Эффективность грохочения $E$ , %	98,29	98,59	99,08	99,31	97,70
Время грохочения $t$ , с	9,12	8,98	8,82	8,46	7,93

Затем изучали влияние частоты вращения валов с дисками на эффективность процесса грохочения (рис. 2).



Рис. 2. Зависимость эффективности грохочения от частоты вращения дисков

Результаты экспериментальной работы показывают, что с ростом  $n$  сначала происходит повышение эффективности грохочения, а затем (после 106 об/мин) снижение. Наилучшие показатели просеиваемости материала при  $n = 100...106$  об/мин обусловлены равномерным распределением материала по ширине желоба, когда более крупные зерна, находясь в нижней части желоба, не препятствуют просеиванию мелкой фракции, находящейся в верхней части. При меньших значениях частоты вращения дисков большая доля материала скапливалась в нижней части желоба и крупные зерна, перекрывая отверстия в сите, препятствовали прохождению мелких частиц сквозь сито, что и вызывало снижение эффективности грохочения. С увеличением частоты вращения валов с дисками относительно указанного интервала происходило смещение большего количества материала в зону верхних валов желоба, что также отрицательно сказывалось на эффективности грохочения.

Зависимости эффективности грохочения от скорости движения фартуков и частоты их расстановки представлены на рис. 3. Из графического материала можно наблюдать, что с увеличением  $v_f$  от 0,22 до 0,46 м/с происходит рост  $E$ , а последующее повышение скорости до 0,7 м/с приводит к снижению эффективности грохочения. Таким образом, скорость движения фартуков  $v_f = 0,46$  м/с можно считать наиболее предпочтительной. При этом расстояние между фартуками 150 мм является наилучшим, поскольку эффективность грохочения в среднем была на 2 % выше, если сравнивать с промежутком между фартуками 300 мм во всем диапазоне изменения скоростей движения фартуков.

Представленная на рис. 4 зависимость времени процесса грохочения от скорости  $v_f$  полностью подтверждает преимущество промежутка между фартуками 150 мм (в сравнении с шагом расстановки фартуков 300 мм), когда время процесса было в среднем на 11 % меньше.

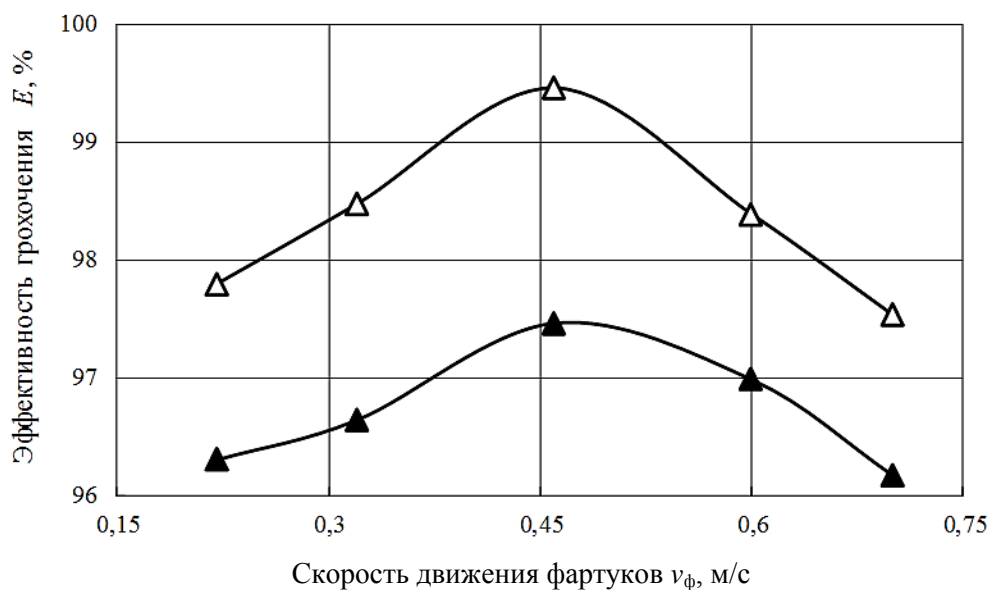


Рис. 3. Зависимость эффективности грохочения от скорости движения фартуков:  
 $\Delta$  – шаг фартуков 150 мм;  $\blacktriangle$  – шаг фартуков 300 мм

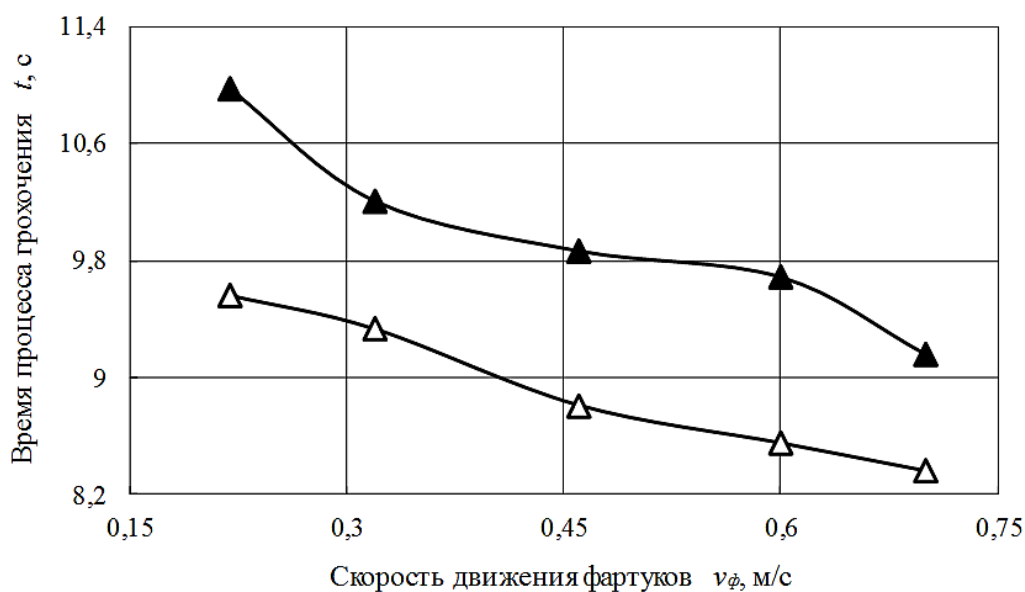


Рис. 4. Зависимость времени грохочения от скорости движения фартуков:  
 $\Delta$  – шаг фартуков 150 мм;  $\blacktriangle$  – шаг фартуков 300 мм

На основе результатов проведенных исследований и при учете ранее выполненных изысканий были выбраны наиболее значимые факторы, максимально влияющие на эффективность грохочения каменных материалов: частота вращения дисков, скорость движения фартуков и подача материала на желобообразную валковую сортировку. Было решено провести трехфакторное планирование эксперимента для определения рациональных параметров желобообразного просеивающего устройства при следующих конструктивных характеристиках устройства:  $\alpha_{\max} = 60^\circ$ ;  $\gamma = -6^\circ$ ; шаг фартуков 150 мм. Были выбраны основные уровни и интервалы варьирования для трех главных факторов (табл. 3).

Таблица 3. Уровни и интервалы варьирования факторов

Факторы	Кодовое обозначение	Интервалы варьирования	Натуральные уровни факторов				
			+1,682	+1	0	-1	-1,682
$n$ – частота вращения дисков, об/мин	$X_1$	21	141	126,7	105,7	84,7	70,4
$v_\phi$ – скорость движения фартуков, м/с	$X_2$	0,15	0,70	0,60	0,45	0,30	0,20
$q$ – подача материала, кг/мин	$X_3$	160	630	520	360	200	90

В ходе экспериментирования был реализован центральный композиционный ротатабельный план второго порядка для трех факторов, включающий восемь опытов плана полного факторного эксперимента  $2^3$ , шесть опытов в «звездных точках» и шесть опытов в центре плана.

После проведения и обработки результатов экспериментов получили уравнение регрессии в закодированной форме:

$$Y = 99,75 - 0,363X_1 - 0,123X_2 - 0,899X_3 - 0,745X_1^2 - 0,687X_2^2 - 0,37X_3^2.$$

Перейдя от кодированных факторов к натуральным, получили уравнение следующего вида:

$$E_p = 77,049 + 0,34n + 26,66v_\phi + 0,0044q - 0,0017n^2 - 30,533v_\phi^2 - 0,0000144q^2.$$

При использовании данного уравнения были построены расчетные графические зависимости влияния частоты вращения валов с дисками на эффективность грохочения гравия для всех значений подачи материала при  $v_\phi = 0,45$  м/с (рис. 5). Представленные кривые показывают, что диапазон изменения частоты вращения валов с дисками 95...115 об/мин можно считать наиболее рациональным для подач материала 90...360 кг/мин при критерии оптимизации  $E > 99$  %.

Кроме того, были получены практически аналогичные расчетные графические зависимости, отображающие влияние скорости движения фартуков на эффективность просеивания гравия при  $n = 105$  об/мин (рис. 6). На основании полученных данных можно заключить, что интервал скоростей фартуков 0,35...0,55 м/с является наиболее предпочтительным для  $q = 90...360$  кг/мин, когда значения эффективности грохочения составляли более 99 %. Представленные графические зависимости на рис. 5 и 6 показывают, что увеличение подачи гравийной смеси на желобообразную валковую сортировку (с 90 до 200 кг/мин) практически не влияет на показатели эффективности грохочения в интервалах изменения  $n$  и  $v_\phi$  (линии 1, 2).

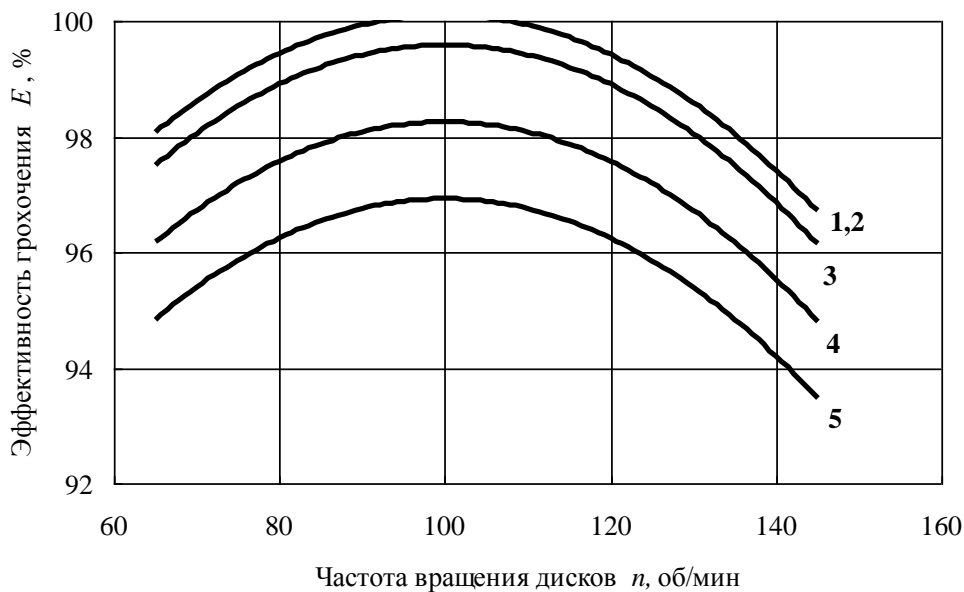


Рис. 5. Влияние  $n$  на  $E$  при  $q$ , кг/мин: 1 – 90; 2 – 200; 3 – 360; 4 – 520; 5 – 630

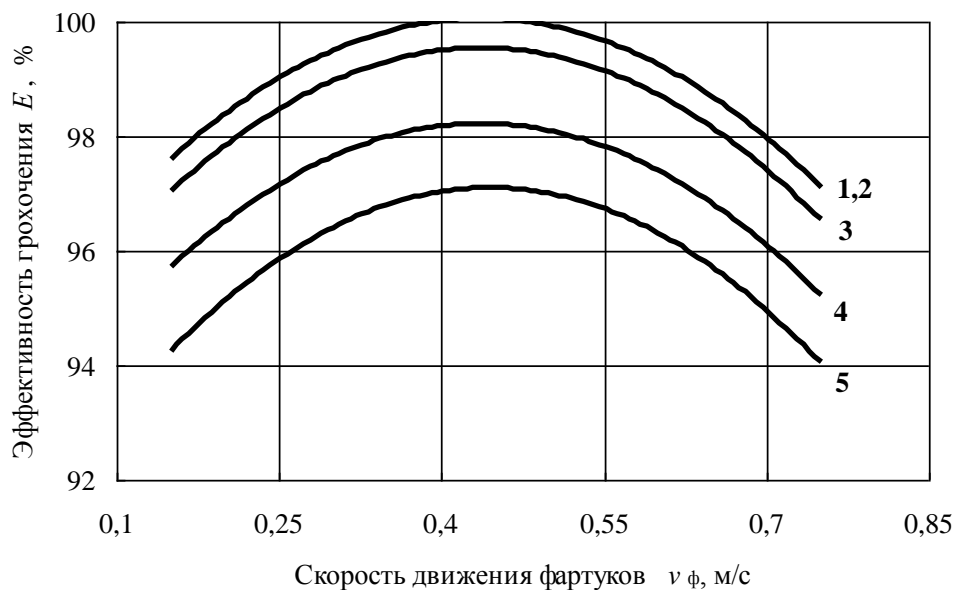


Рис. 6. Влияние  $v_f$  на  $E$  при  $q$ , кг/мин: 1 – 90; 2 – 200; 3 – 360; 4 – 520; 5 – 630

Для рациональных численных значений частоты вращения дисков и скорости движения фартуков построили расчетные зависимости влияния подачи материала на эффективность грохочения гравия (рис. 7).

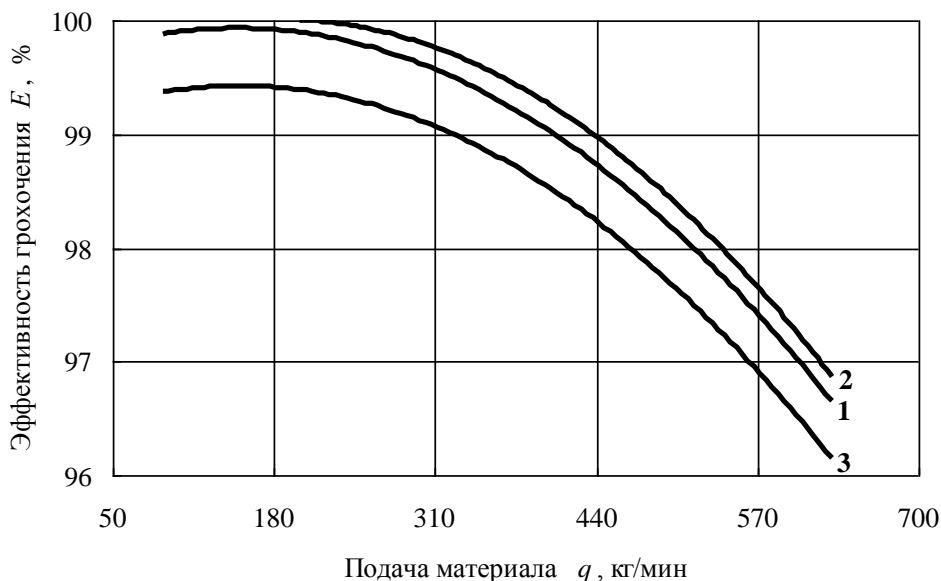


Рис. 7. Влияние подачи  $q$  на эффективность  $E$ : 1 –  $n = 95$  об/мин,  $v_{\phi} = 0,35$  м/с; 2 –  $n = 105$  об/мин,  $v_{\phi} = 0,45$  м/с; 3 –  $n = 115$  об/мин,  $v_{\phi} = 0,55$  м/с

Анализируя представленные зависимости, можно сделать заключение о целесообразности выбора параметров  $n = 105$  об/мин и  $v_{\phi} = 0,45$  м/с (кривая 2), исходя из максимальной подачи материала  $q = 440$  кг/мин и эффективности грохочения гравия  $E \geq 99$  %.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, выполненные экспериментальные исследования позволили достичь поставленной цели по обоснованию рациональных конструктивных, кинематических и технологических параметров, обеспечивающих эффективную работу желобообразной валковой сортировки. Дальнейшее изучение процесса грохочения каменных материалов на желобообразном разделительном устройстве позволит еще больше усовершенствовать его конструкцию и в последующем применять валковую сортировку на дорожно-строительной технике для переработки нерудных строительных материалов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Огурцов В.А., Алешина А.П., Огурцов Ал.В., Огурцов Ан.В. Кинетика многофракционного грохочения сыпучих материалов // *Сборник материалов IX Всероссийской научно-практической конференции «Надежность и долговечность машин и механизмов»*. Иваново. 2018. С. 182–185.
2. Патент РФ 193461. *Барабанный грохот* / Кондратьев А.В., Майков К.М., Разумов Е.Б., Петров А.А., Казак А.С., Пугин А.М., Хомик Ю.Н., Чагин А.И.; Заявл. 03.09.2019. Опубл. 30.10.2019. Бюл. № 31.
3. Герасимов М.Д., Алиматов Б.А., Каськов С.А., Олехнович А.М. Разработка модели вибрационного грохота с регулируемыми параметрами // *Материалы Международной научно-практической конференции «Энерго-, ресурсосберегающие машины, оборудование и экологически чистые технологии в дорожной и строительной отраслях»*. Белгород. 2018. С. 53–60.



4. Русинкевич В.А., Кочкян С.М., Кондратьев А.В. Результативность грохочения гравия в зависимости от параметров валковой желобообразной сортировки со шнековым интенсификатором // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2014. № 5. С. 188–192.

5. Кондратьев А.В., Кочкян С.М., Ренкус Т.И., Вересов М.И., Корнеев Е.А. Результаты сравнительных исследований применения активных интенсификаторов на желобообразной валковой сортировке // *Мир транспорта и технологических машин*. 2016. № 3 (54). С. 39–45.

6. Кондратьев А.В., Кочкян С.М., Перхуров А.И., Вересов М.И., Виноградов А.В. Влияние углов наклона желобообразного валкового сита на результативность грохочения // *Строительные и дорожные машины*. 2015. № 4. С. 52–54.

7. Кондратьев А.В., Павлов Ю.Н., Перхуров А.И., Ренкус Т.И. Результаты исследования процесса просеивания гравия на желобообразном валковом грохоте с активным интенсификатором // *Строительные и дорожные машины*. 2015. № 10. С. 58–60.

8. Патент РФ 111464. *Устройство для грохочения сыпучих материалов* / Кондратьев А.В., Кочкян С.М., Перхуров А.И., Русинкевич В.А., Воробьев Н.Е.; Заявл. 02.08.2011. Оpubл. 20.12.2011. Бюл. № 35.

9. Патент РФ 168817. *Устройство для разделения сыпучих материалов* / Кондратьев А.В., Кочкян С.М., Ренкус Т.И., Вересов М.И., Корнеев Е.А.; Заявл. 12.07.2016. Оpubл. 21.02.2017. Бюл. № 6.

**Для цитирования:** Кондратьев А.В., Кочкян С.М., Лысенко Т.И. Определение рациональных параметров желобообразной валковой сортировки с подвижными фартуками // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки»*. 2022. № 2 (14). С. 47–56.

#### **DETERMINATION OF RATIONAL PARAMETERS OF GUTTER-SHAPED SORTING CONSISTING OF SHAFTS WITH MOVABLE APRONS**

A.V. KONDRATYEV, Dr. Sc., S.M. KOCHKANYAN, Cand. Sc.,  
T.I. LYSENKO, senior lecturer

Tver State Technical University, 22, Af. Nikitin emb., 170026, Tver,  
Russian Federation, e-mail: avkondr@ya.ru

The results of studies of the influence of structural, kinematic and technological parameters on the efficiency and time of the gravel screening process on the gutter-shaped sorting consisting of shafts with movable aprons are presented. The dependences of the efficiency and time of the gravel sifting process on the angles of inclination of the gutter-shaped surface of the sieve, the rotation frequency of shafts with disks, the speed of movement of aprons and the step of their placement are obtained. Multifactorial planning of the experiment was carried out and rational parameters of the gutter-shaped sorting consisting of shafts were determined, ensuring high efficiency of the screening process of stone materials.

*Keywords:* gutter-shaped sorting consisting of shafts, factors, movable aprons, longitudinal and transverse angles of inclination of the sieve, frequency of rotation of shafts with disks, apron movement speed, filing of the material, screening efficiency and time, gravel.

## REFERENCES

1. Ogurtsov V.A., Aleshina A.P., Ogurtsov Al.V., Ogurtsov An.V. Kinetics of multi-fraction screening of bulk materials. *Collection of materials of the IX All-Russian scientific and practical conference «Reliability and durability of machines and mechanisms»*. Ivanovo. 2018, pp. 182–185. (In Russian).
2. Patent RF 193461. *Barabannyi grokhot* [Drum screen]. Kondratiev A.V., Maikov K.M., Razumov E.B., Petrov A.A., Kazak A.S., Pugin A.M., Khomik Yu.N., Chagin A.I. Declared 03.09.2019. Published 30.10.2019. Bulletin No. 31.
3. Gerasimov M.D., Alimatov B.A., Kaskov S.A., Olekhovich A.M. Development of a vibrating screen model with adjustable parameters. *Materials of the International scientific and practical Conference «Energy-, resource-saving machines, equipment and environmentally friendly technologies in the road and construction industries»*. Belgorod. 2018, pp. 53–60. (In Russian).
4. Rusinkevich V.A., Kochkanyan S.M., Kondratiev A.V. Efficiency of gravel screening depending on the parameters of the roll trough-like sorting with a screw intensifier. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten (nauchno-tekhnicheskiy zhurnal)*. 2014. No. 5, pp. 188–192. (In Russian).
5. Kondratiev A.V., Kochkanyan S.M., Renkus T.I., Veresov M.I., Korneev E.A. The results of comparative studies of the use of active intensifiers on a trough-shaped roll sorting *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*. 2016. No. 3 (54). pp. 39–45. (In Russian).
6. Kondratiev A.V., Kochkanyan S.M., Perkhurov A.I., Veresov M.I., Vinogradov A.V. Influence of tilt angles of a trough-shaped roll sieve on screening efficiency. *Stroitelnyye i dorozhnyye mashiny*. 2015. No. 4, pp. 52–54. (In Russian).
7. Kondratiev A.V., Pavlov Yu.N., Perkhurov A.I., Renkus T.I. The results of the study of the process of screening gravel on a trough-shaped roll screen with an active intensifier. *Stroitelnyye i dorozhnyye mashiny*. 2015. No. 10, pp. 58–60. (In Russian).
8. Patent RF 111464. *Ustroystvo dlya grokhocheniya sypuchikh materialov* [Device for screening bulk materials]. Kondratiev A.V., Kochkanyan S.M., Perkhurov A.I., Rusinkevich V.A., Vorobyov N.E. Declared 02.08.2011. Published 20.12.2011. Bulletin No. 35.
9. Patent RF 168817. *Ustroystvo dlya razdeleniya sypuchikh materialov* [Device for separating bulk materials]. Kondratiev A.V., Kochkanyan S.M., Renkus T.I., Veresov M.I., Korneev E.A. Declared 12.07.2016. Published 21.02.2017. Bulletin No. 6.

Поступила в редакцию/received: 23.12.2021; после рецензирования/revised: 27.12.2021;  
принята/accepted: 30.12.2021