

ТРАНСПОРТНОЕ, ГОРНОЕ И СТРОИТЕЛЬНОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 621.928.26

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЖЕЛОБООБРАЗНЫХ ВАЛКОВЫХ СОРТИРОВОК

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

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

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

Представлены результаты сравнительных исследований эффективности работы желобообразной сортировки с двумя видами интенсифицирующих устройств – подвижных фартуков и шнекового интенсификатора. Оценка эффективности работы валковых сортировок проводилась на основе многофакторного планирования эксперимента для рациональных параметров рассматриваемых вариантов разделительных устройств при фракционировании гравийной смеси.

Ключевые слова: желобообразная валковая сортировка, подвижные фартуки, шнековый интенсификатор, частота вращения шнека, частота вращения дисков, скорость движения фартуков, подача материала, эффективность грохочения, гравий.

DOI: 10.46573/2658-5030-2022-3-50-57

ВВЕДЕНИЕ

Фракционирование гравия и щебня – одна из важнейших операций в технологической цепочке добычи и переработки нерудных строительных материалов для дорожного, промышленного и гражданского строительства. От качественных и количественных показателей эффективности проведения этих операций во многом зависит себестоимость конечной продукции: автомобильных дорог, зданий и сооружений (мостов, тоннелей, эстакад и т.д.). Поэтому актуальной задачей является совершенствование существующих и создание новых сортирующих устройств, обеспечивающих высокую результативность работы. С этой позиции несомненный интерес представляют валковые сортировки, эффективность и производительность которых при разделении сыпучих смесей может быть существенно выше по сравнению с другими сепарирующими устройствами [1, 2]. В данной статье приводятся результаты сравнительных испытаний работоспособности желобообразных валковых сортировок с различными интенсифицирующими устройствами.

Отличительной особенностью желобообразного разделительного устройства является зигзагообразное движение материала по просеивающей поверхности, что значительно увеличивает величину пути частицы с одновременным распределением зерен по ширине желоба в зависимости от их крупности, что, в свою очередь, способствует ускоренному прохождению мелких частиц в отверстиях валкового сита [3, 4].

В ходе проводимых исследований планировалось решение следующих вопросов:

1) анализ многофакторного эксперимента на стенде желобообразной валковой сортировки с подвижными фартуками и со шнековым интенсификатором для определения рациональных параметров разделительных устройств;

2) сравнительная оценка эффективности работы желобообразной валковой сортировки и рассматриваемых вариантов интенсифицирующих устройств, используемых при грохочении гравийной смеси.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Схемы экспериментальных установок желобообразной валковой сортировки со шнековым интенсификатором и с подвижными фартуками представлены на рис. 1.

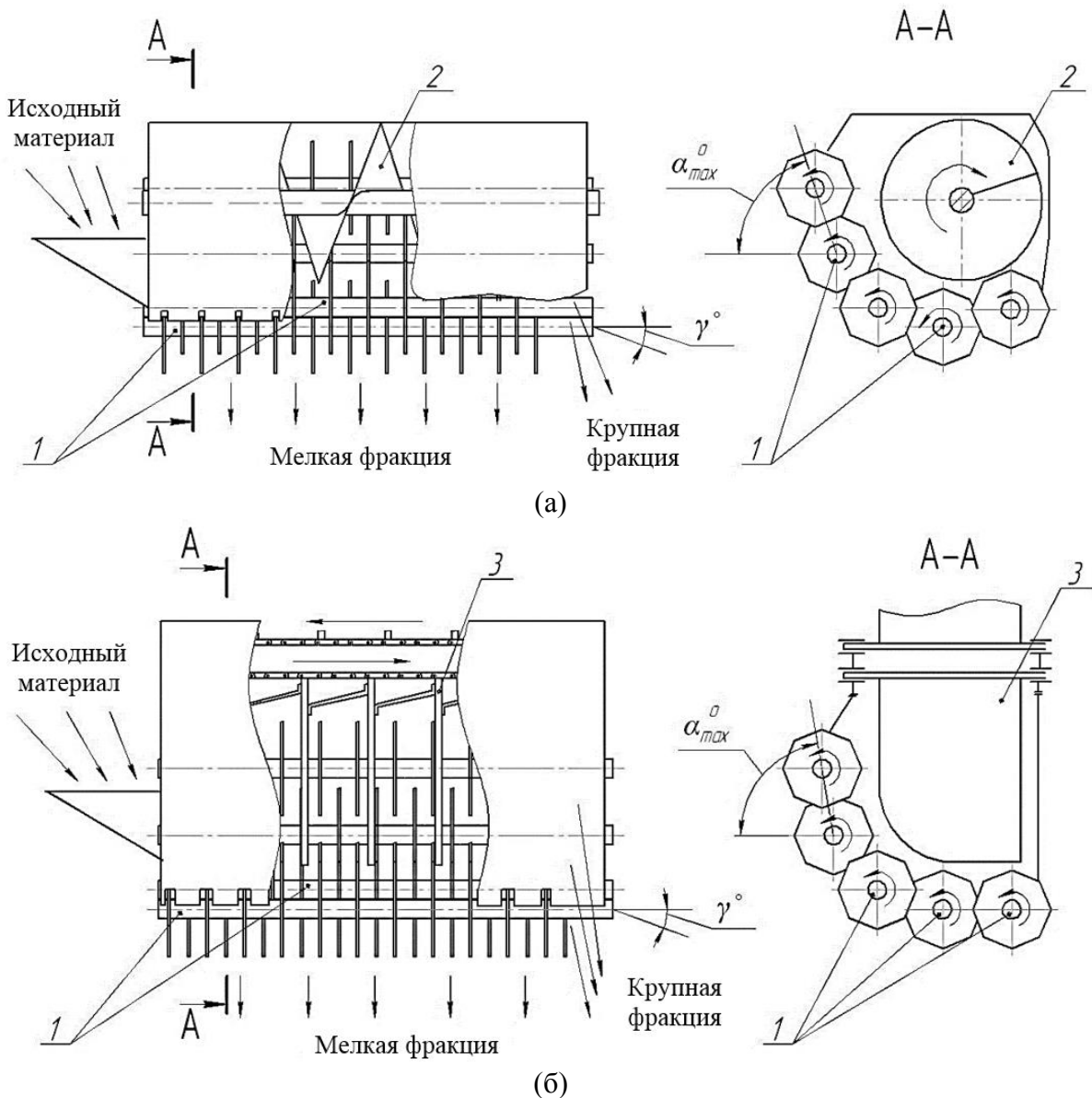


Рис. 1. Схемы желобообразной сортировки: со шнековым интенсификатором (а); с подвижными фартуками (б)

Каждая валковая сортировка состоит из ряда параллельных валов 1 с многогранными дисками, поверхность которых образует желоб. При этом вдоль валов с дисками установлен шнековый интенсификатор 2 (см. рис. 1а) и подвижные фартуки 3 (см. рис. 1б). В первом варианте (см. рис. 1а) материал, перемещаемый в сторону выгрузки одновременно вращающимися дисками и шнеком 2, распределяется по ширине желоба, двигаясь вдоль валов. Во втором варианте (см. рис. 1б) материал передвигается в сторону выгрузки за счет подвижных фартуков, а его распределение по ширине желобообразной поверхности осуществляется только посредством вращающихся дисков.

Ранее выполненные исследования позволили определить некоторые рациональные параметры для сортировок со шнековым интенсификатором и с подвижными фартуками [5–7]. Так, например, для устройства схемы (а) продольный угол наклона валов желоба $\gamma = -4^\circ$, а максимальный угол наклона желобообразной поверхности $\alpha_{\max} = 65^\circ$. Аналогичные параметры для сортировки (б) были следующие: $\gamma = -6^\circ$, $\alpha_{\max} = 60^\circ$. Экспериментально было выявлено по три основных фактора для каждой схемы: частота вращения дисков n , подача материала на желоб q , частота вращения шнека $n_{\text{шн}}$ (схема а), скорость движения фартуков $v_{\text{ф}}$ (схема б). Интервалы варьирования выбранных основных факторов для трехфакторного эксперимента приведены в таблице.

В качестве просеивающего материала использовали гравийную смесь с процентным соотношением зерен верхнего класса к нижнему 40:60. Величина просеивающего промежутка между дисками составляла 40 мм.

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
$n_{\text{шн}}$ – частота вращения шнека, об/мин	X_2 (схема а)	6	51	47	41	35	31
$v_{\text{ф}}$ – скорость движения фартуков, м/с	X_2 (схема б)	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

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

По результатам проведенного эксперимента путем реализации композиционного ротатабельного плана второго порядка для каждой схемы желобообразной валковой сортировки были получены следующие уравнения регрессии, отображающие влияние основных факторов на эффективность грохочения гравия:

для сортировки со шнековым интенсификатором

$$E_p = 101,344\,434\,25 - 0,007\,077\,9\,n - 0,041\,230\,78\,n_{\text{шн}} - 0,001\,639\,82\,q; \quad (1)$$

для сортировки с подвижными фартуками

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

С использованием уравнений (1) и (2) были получены зависимости эффективности E грохочения гравия во всем диапазоне изменения частоты n вращения валов с дисками для сортировки со шнековым интенсификатором и для устройства с подвижными фартуками (рис. 2). Графические зависимости определяли при достаточно высокой подаче материала на валковое желобообразное сито ($q = 520$ кг/мин). При этом кинематические параметры интенсификаторов имели следующие значения: $n_{\text{шн}} = 31$ об/мин; $v_\phi = 0,45$ м/с. Представленные на рис. 2 данные показывают, что на сортировке со шнековым интенсификатором происходит незначительное снижение эффективности E от 98,7 до 98,2 % с увеличением частоты вращения валов с дисками (линия 1). На сортировке же с подвижными фартуками с повышением n сначала наблюдался рост эффективности E от 96,8 до 98,2 %, а затем, после увеличения частоты вращения дисков до 113 об/мин и более, происходило постепенное уменьшение E до 95,4 % (линия 2). Поэтому можно отметить более результативную работу сортировки со шнековым интенсификатором во всем интервале изменения n по сравнению с устройством с подвижными фартуками.

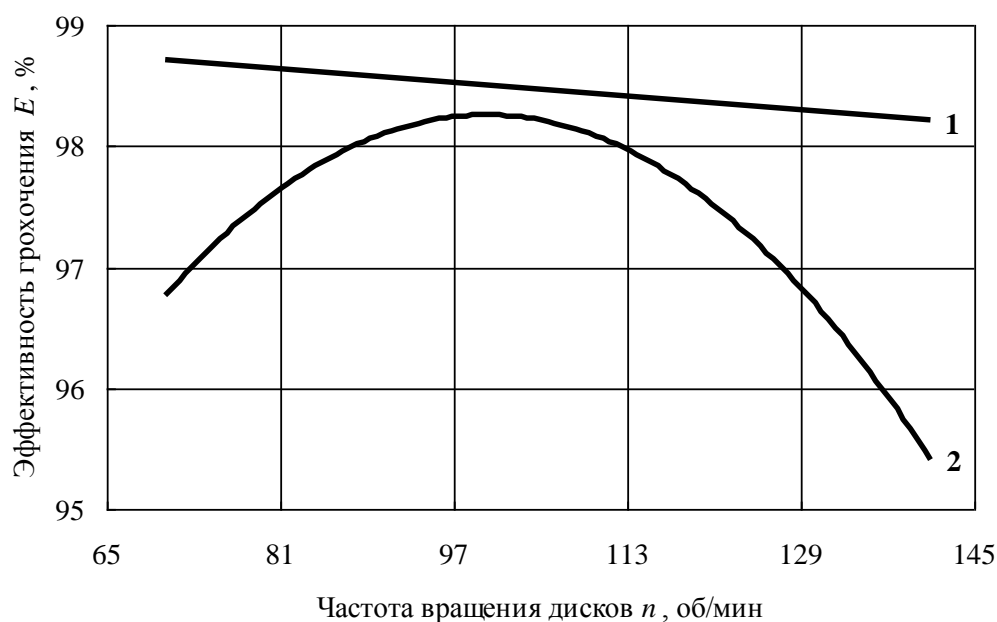


Рис. 2. Зависимость эффективности грохочения гравия от частоты вращения валов с дисками на сортировках: 1 – со шнеком; 2 – с фартуками

Следующие исследования касались изучения влияния кинематических параметров интенсификаторов на эффективность грохочения гравия.

Вначале при помощи уравнения (1) при $n = 70,4$ об/мин получили линейную зависимость E от частоты вращения шнека (рис. 3). Повышение частоты вращения шнека приводило к уменьшению эффективности грохочения от 98,7 до

97,9 %. Это, в свою очередь, показывает, что минимальная частота вращения шнека ($n_{\text{шн}} = 31$ об/мин) так же, как и минимальная частота вращения валов с дисками ($n = 70,4$ об/мин), на сортировке со шнековым интенсификатором наиболее рациональна в интервале величин, представленных в таблице.

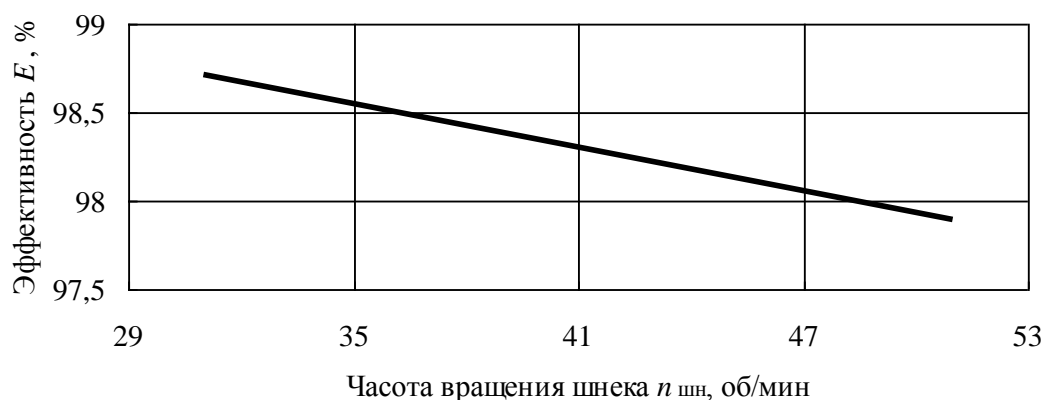


Рис. 3. Зависимость эффективности грохочения от частоты вращения шнека

Затем с помощью уравнения (2) при $n = 105$ об/мин был установлен характер влияния скорости движения фартуков на эффективность грохочения каменного материала на сортировке с подвижными фартуками (рис. 4). Полученная зависимость показывает наибольшую эффективность $E = 98,2$ % при $v_{\text{ф}} = 0,45$ м/с, т.е. согласно численному значению скорости фартуков в центре интервала табличных показателей $v_{\text{ф}}$. Уменьшение или увеличение скорости фартуков относительно этого значения приводит к снижению эффективности грохочения гравия.

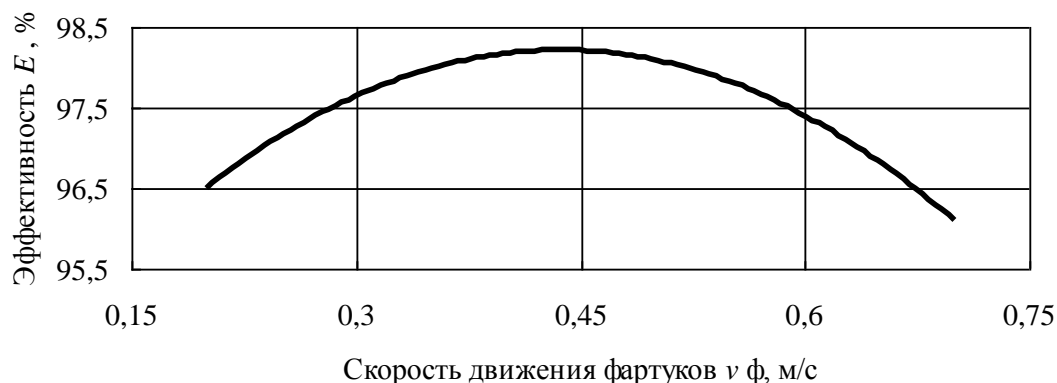


Рис. 4. Зависимость эффективности грохочения от скорости движения фартуков

На заключительном этапе исследований были получены закономерности влияния на эффективность грохочения величины подачи каменного материала на желобообразную валковую сортировку с рассматриваемыми вариантами интенсифицирующих устройств (рис. 5).

Представленные на рис. 5 зависимости, рассчитанные по уравнениям (1) и (2), соответствуют следующим исходным данным:

$n = 70,4$ об/мин, $n_{\text{шн}} = 31$ об/мин – для сортировки со шнековым интенсификатором;

$n = 115$ об/мин, $v_{\text{ф}} = 0,45$ м/с – для сортировки с подвижными фартуками.

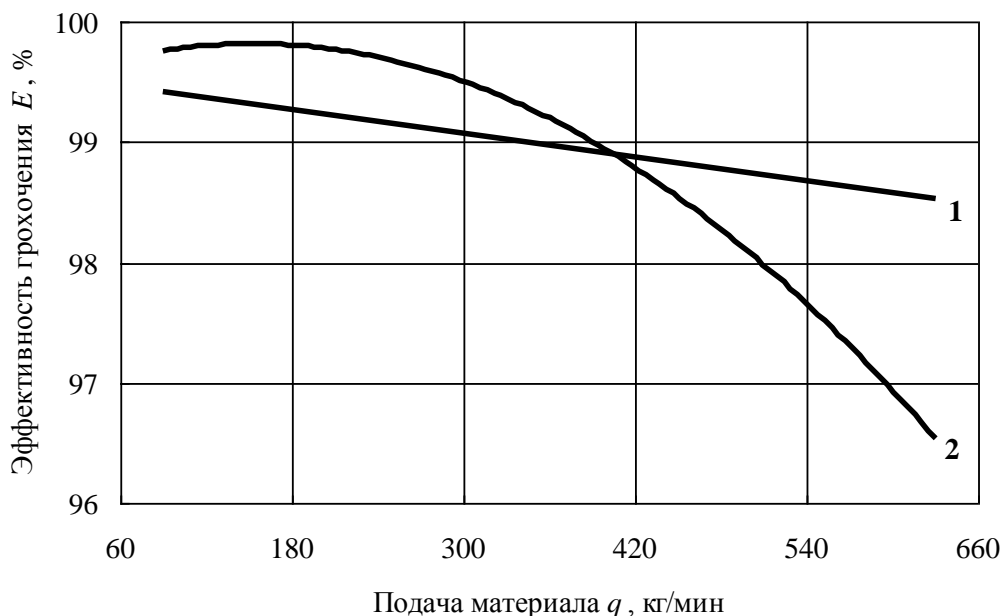


Рис. 5. Влияние подачи материала на эффективность его просеивания на сортировках: 1 – со шнеком; 2 – с фартуками

Анализируя характер зависимости E от q , следует отметить более стабильную работу желобообразной сортировки со шнековым интенсификатором (линия 1), когда эффективность грохочения гравия во всем интервале подач материала варьировалась в пределах всего одного процента, не опускаясь ниже 98,5 %. В случае использования на сортировке подвижных фартуков варьирование эффективности грохочения составило уже 3 % и наименьший показатель $E = 96,5$ % соответствовал наибольшей подаче материала ($q = 630$ кг/мин) на валковое сито. Поэтому, ориентируясь на максимальную производительность разделительного устройства при высоких показателях эффективности ($E > 98$ %) грохочения каменных материалов, следует отдать предпочтение желобообразной сортировке со шнековым интенсификатором.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В целом сравнительное исследование сортировок показало достаточно результативную их работу с рассматриваемыми видами интенсифицирующих устройств, поскольку эффективность грохочения гравия во всех экспериментах была выше 95 %. Некоторое преимущество использования на валковом сите шнекового интенсификатора объясняется более активным распределением просеиваемого материала по стороне желоба, которое осуществляется как за счет вращающихся дисков, так и за счет шнековых лопастей. Проведение дальнейших исследований по совершенствованию желобообразных валковых сортировок с активными интенсификаторами позволит окончательно оптимизировать параметры

разделительных устройств и рекомендовать их для внедрения на сортировочных комплексах дорожно-строительных машин.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кондратьев А.В. Интенсификация процесса разделения сыпучих материалов на валковых сепараторах: монография. Тверь: ТвГТУ, 2012. 95 с.
2. Абдуллах А.К. Обоснование конструкции и параметров валкового грохота для сортировочных комплексов дорожно-строительных машин. Автореф. дисс... канд. техн. наук. Тверь. 2014. 19 с.
3. Патент РФ 2317864 *Устройство для грохочения сыпучих материалов* / Кондратьев А.В., Груздев С.В., Кочкянян С.М., Павлов Ю.Н., Семин А.В. Заявл. 12.09.2006. Опубл. 27.02.2008, Бюл. № 6.
4. Патент РФ 126632. *Устройство для сортировки сыпучих материалов* / Кондратьев А.В., Кочкянян С.М., Перхуров А.И., Русинкевич В.А., Вересов М.И. Заявл. 29.10.2012. Опубл. 10.04.2013, Бюл. № 10.
5. Русинкевич В.А., Кочкянян 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.
6. 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.
7. Кондратьев А.В., Кочкянян 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.

Для цитирования: Кондратьев А.В., Кочкянян С.М., Лысенко Т.И., Гусаров А.А. Сравнительная оценка эффективности работы желобообразных валковых сортировок // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки»*. 2022. № 3 (15). С. 50–57.

COMPARATIVE PERFORMANCE ASSESSMENT GROOVED ROLL SECTIONS

A.V. KONDRATYEV, Dr. Sc., S.M. KOCHKANYAN, Cand. Sc.,
T.I. LYSENKO, Senior Lecturer, A.A. GUSAROV

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

The article presents the results of comparative studies of the efficiency of trough-shaped sorting with two types of intensifying devices – movable aprons and auger intensifier. Evaluation of the efficiency of roll sorting was carried out on the basis of multifactorial planning of the experiment for the rational parameters of the considered options for separating devices when fractionating the gravel mixture.

*Вестник Тверского государственного технического университета.
Серия «Технические науки». № 3 (15), 2022*

Keywords: trough-type swath sorting, movable aprons, auger intensifier, auger speed, disc speed, apron speed, material feed, screening efficiency, gravel.

REFERENCES

1. Kondratiev A.V. Intensifikatsiya protsessa razdeleniya sypuchikh materialov na valkovykh separatorakh: monografiya [Intensification of the process of separation of bulk materials on roll separators: monograph]. Tver: TvGTU, 2012. 95 p.
2. Abdullah A.K. Substantiation of the design and parameters of the roller screen for sorting complexes of road-building machines. Cand. Author. Diss. (Engineering). Tver. 2014. 19 p.
3. Patent RF 2317864 *Ustroystvo dlya grokhocheniya sypuchikh materialov* [Device for screening bulk materials]. Kondratiev A.V., Gruzdev S.V., Kochkanyan S.M., Pavlov Yu.N., Semin A.V. Declared 12.09.2006. Published 27.02.2008, Bulletin No 6.
4. Patent RF 126632. *Ustroystvo dlya sortirovki sypuchikh materialov* [A device for sorting bulk materials]. Kondratiev A.V., Kochkanyan S.M., Perkhurov A.I., Rusinkevich V.A., Veresov M.I. Declared 29.10.2012. Published 10.04.2013, Bulletin No 10.
5. 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).
6. 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).
7. 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).

Поступила в редакцию/received: 11.05.2022; после рецензирования/revised: 10.06.2022;
принята/accepted: 15.06.2022

УДК 622.331.002.5

АНАЛИЗ СИЛ, ДЕЙСТВУЮЩИХ НА ЧАСТИЦУ ФРЕЗЕРНОГО ТОРФА В ЗОНЕ ВСАСЫВАЮЩЕГО ФАКЕЛА ПНЕВМОУБОРОЧНОЙ МАШИНЫ

А.Л. ЯБЛОНЕВ, д-р техн. наук, Д.М. ЩЕРБАКОВА, аспирант

Тверской государственной технической университет,
170026, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, 22, e-mail: alvovich@mail.ru

© Яблонев А.Л., Щербакова Д.М., 2022

Эффективность всасывания фрезерной крошки пневматическими торфоуборочными машинами во многом определяется скоростью воздушного потока, создаваемого пневмосистемой. Попытки аналитического определения данной скорости