

К ВОПРОСУ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И ПРОСЕИВАНИЯ ГРАВИА ПО ПОВЕРХНОСТИ ЖЕЛОБООБРАЗНОГО ВАЛКОВОГО СИТА

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

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

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

Представлены результаты исследований движения и распределения зерен гравия в зависимости от их крупности по наклонной поверхности желобообразного валкового сита. Изучен процесс просеивания мелкой фракции гравия по ширине желоба со шнековым интенсификатором. Получены параметры разделительного устройства, обеспечивающие наибольшую эффективность грохочения каменного материала за счет рационального распределения фракций материала по валковому сити.

Ключевые слова: желобообразное валковое сито, поверхность желоба, угол подъема, крупность камня, шнековый интенсификатор, частота вращения шнека, частота вращения дисков, распределение зерен гравия, подача материала, эффективность грохочения.

DOI: 10.46573/2658-5030-2022-4-46-53

ВВЕДЕНИЕ

Результативность процессов грохочения гравия и щебня во многом определяется интенсивностью распределения компонентов смеси по поверхности сита, когда толщина разделяемого материала становится минимальной, вследствие чего все зерна (крупные и мелкие) находятся непосредственно на поверхности решета, что создает наиболее благоприятные условия для просеивания мелких частиц. На применяемых грохотах, например барабанных и вибрационных, ускоренное распределение материала по просеивающей поверхности достигается за счет повышения скорости его транспортирования. Однако известно, что повышение скорости движения материала по сити неизбежно вызывает снижение вероятности попадания в просеивающие отверстия мелких частиц, которые их проскакивают, что, в свою очередь, снижает эффективность грохочения каменной массы [1]. Для разрешения данного противоречия была предложена конструкция разделительного устройства в виде желобообразного валкового сита, движение материала на котором происходит по зигзагообразной линии, когда частицы материала поднимаются по стороне желоба (по вращающимся дискам) и скатываются вниз, одновременно продвигаясь вдоль валов в сторону разгрузки [2–4]. При этом валы с дисками образуют сторону желоба с постепенным увеличением ее крутизны, что должно обеспечивать разную высоту подъема зерен материала по стороне желоба в зависимости от их массы (размера). Такая конструкция способствует интенсификации процесса распределения частиц по поверхности сита, когда крупные частицы находятся в нижней части желоба, а мелкие – в верхней зоне просеивающей поверхности. В связи с этим качественные показатели просеивания зерен нижнего класса на желобообразном валковом сите должны быть достаточно высокими. С целью подтверждения выдвинутой гипотезы необходимо было провести ряд экспери-

ментальных исследований по изучению влияния распределения компонентов разделяемой смеси по желобообразной поверхности на эффективность грохочения материала.

Планируемые экспериментальные исследования были направлены на решение задач:

установление зависимости угла подъема камня по стороне желоба от его размера (массы) и влияние крупности материала на его продольную скорость движения вдоль валов желоба;

исследование просеиваемости гравия по ширине желоба в зависимости от кинематических параметров вращения валов с дисками и шнекового интенсификатора;

определение влияния кинематических параметров желобообразного валкового сита на эффективность грохочения каменного материала.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для проведения первого этапа исследований по изучению движения отдельных камней использовалась свободная поверхность валкового желоба, состоящая из шести валов с дисками шестигранной формы. Схема желобообразного валкового сита представлена на рис. 1. Угол наклона просеивающей поверхности стороны желоба α изменялся от 25° внизу и до 65° вверх.

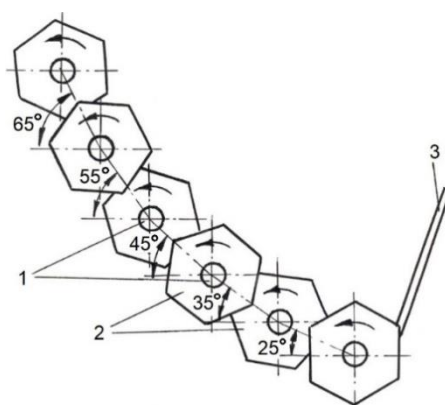


Рис. 1. Схема желобообразного валкового сита:
1 – валы; 2 – диски; 3 – боковина

Параметры лабораторного стенда: длина валов 600 мм; межосевое расстояние между валами 240 мм; диаметр дисков 340 мм; толщина дисков 8 мм; промежуток между смежными дисками вала 30 мм; продольный угол наклона валов желоба по ходу движения материала $\gamma = -5^\circ$; частота вращения валов с дисками $n = 105$ об/мин. В качестве материала использовались отдельные каменные включения, средний размер которых и масса представлены в таблице.

Зависимость веса камня от его среднего размера

Средний размер камня, мм	30	65	95	125	155	185
Масса камня, кг	0,05	0,31	0,94	3,21	5,62	9,23

Методика проведения экспериментов заключалась в подаче отдельных каменных включений на желобообразную поверхность. Камни по зигзагообразной траектории двигались вдоль валов 1 (см. рис. 1), постоянно поднимаясь и скатываясь по

вращающимся диском 2 стороны желоба. При этом боковина 3 останавливала скатывающиеся камни, которые затем опять поднимались по стороне желоба. В процессе экспериментирования фиксировались высота подъема камня по стороне желоба и время его движения вдоль валов устройства.

Общий вид лабораторного стенда желобообразного валкового сита показан на рис. 2.

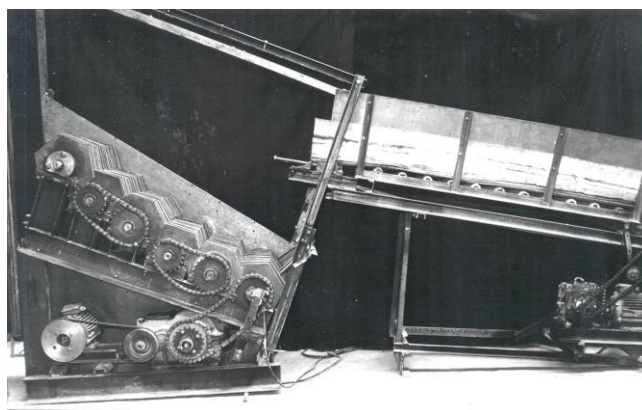


Рис. 2. Общий вид стенда желобообразного валкового сита

Для выполнения исследований по изучению распределения количественного показателя просеиваемости материала по ширине боковой поверхности желоба использовалась схема желобообразного валкового сита со шнековым интенсификатором (рис. 3) [5–7]. Шнек выполнял дополнительные функции распределения материала как по ширине желоба, так и вдоль желобообразной поверхности. Лопастей шнека были выполнены из транспортной ленты: диаметр лопастей 920 мм; шаг навивки лопастей 230 мм. Кинематические параметры стенда изменялись в конкретных пределах: частота вращения валов с дисками $n = 70 \dots 141$ об/мин; частота вращения шнека $n_{\text{шн}} = 31 \dots 51$ об/мин. Под просеивающей поверхностью по всей ширине стороны желоба размещались контейнеры (ящики) для сбора нижнего класса каменного материала. В качестве материала использовалась гравийная смесь с фракционным составом: нижний класс 10...30 мм – 50%; верхний класс 30...70 мм – 50%. Подача материала на желобообразное валковое сито составляла 90...360 кг/мин.

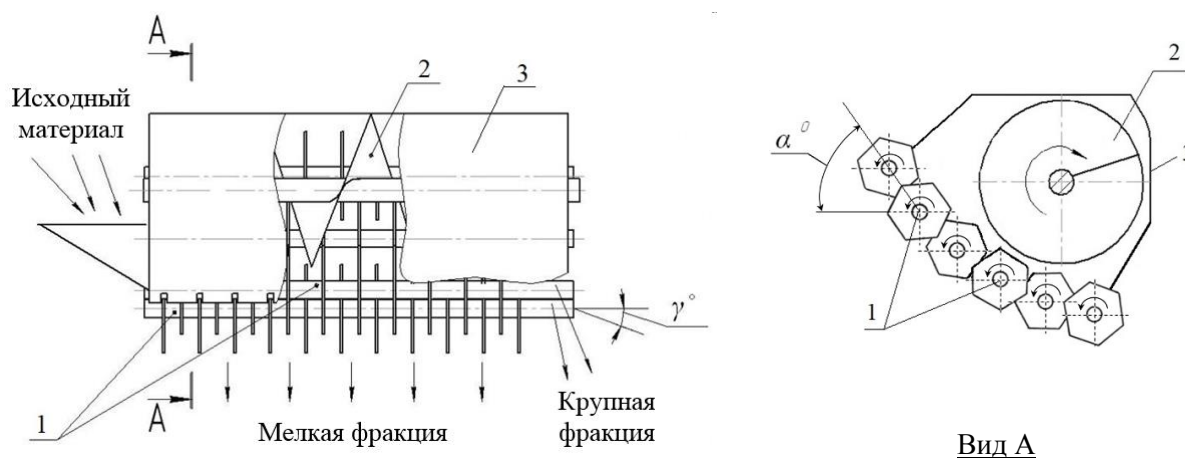


Рис. 3. Схема желобообразного валкового сита со шнековым интенсификатором:
1 – валы с дисками; 2 – шнек; 3 – боковая стенка

Материал подавался с ленточного транспортера в лоток, а затем в нижнюю часть желобообразного валкового сита. Гравий подхватывался вращающимися дисками 1 (см. рис. 3) и лопастями шнека 2, которые распределяли его в зависимости от крупности зерен на соответствующую высоту (угол подъема) стороны желобообразной поверхности. Затем камни скатывались вниз, где останавливались боковой стенкой 3, одновременно с этим материал перемещался вдоль валов 1 устройства. Далее такой цикл движения материала повторялся. При этом мелкие зерна гравия просеивались в промежутках между дисками и попадали в соответствующие контейнеры. После прохождения материала по грохоту содержимое контейнеров взвешивалось, а также оценивалось количественное распределение просеянного материала по ширине желоба. В процессе экспериментирования определялась и эффективность грохочения гравия в зависимости от изменения кинематических параметров разделительного устройства.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование отдельных каменных включений по поверхности валкового сита показало, что чем меньше был размер (масса) камня, тем он выше поднимался по стороне желоба (рис. 4). Так, например, самый маленький камень со средним размером 30 мм (0,05 кг) поднялся по стороне желоба до угла $\alpha = 35^\circ$, а самый большой камень со средним размером 185 мм (9,23 кг) поднялся только до угла $\alpha = 23^\circ$. Можно заключить, что чем меньше средний размер камня, тем больше амплитуда его движения по ширине желоба. Это, в свою очередь, создает условия для распределения по ширине поверхности желоба частиц материала в зависимости от величины его размера, что должно способствовать более результативному просеиванию каменной массы.

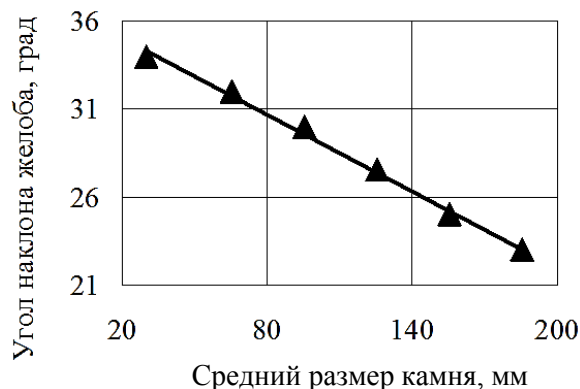


Рис. 4. Зависимость угла подъема камня от его среднего размера

Другим важным обстоятельством, характеризующим движение отдельных каменных включений по ситам, является ускоренное продвижение крупной фракции материала вдоль валов желоба, причем чем больше был размер (вес) камня, тем он быстрее перемещался (рис. 5). Графическая зависимость показывает почти четырехкратное увеличение продольной скорости движения камня размером 185 мм по сравнению с самым маленьким камнем, размер которого составлял 30 мм. Принимая во внимание существенно большее время нахождения на желобообразном разделительном устройстве мелких частиц в сравнении с крупными включениями, можно прогнозировать повышение вероятности просеивания нижнего класса гравия.

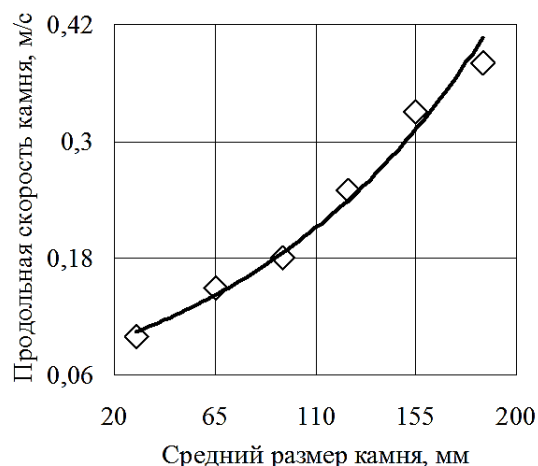


Рис. 5. Влияние размера камня на его продольную скорость

Просеивание мелкой фракции материала по ширине желоба изучали на желобообразном валковом сите со шнековым интенсификатором (рис. 6). Вначале эксперименты проводили с варьированием частоты вращения шнекового интенсификатора от 31 до 51 об/мин. При этом подача гравийной смеси на сито составляла 360 кг/мин, а частота вращения валов с дисками – 129 об/мин. Полученные зависимости представлены на рис. 6. Можно наблюдать наибольшую интенсивность просеивания материала в средней части стороны желоба в интервале значений углов наклона α от 30 до 50° при всех значениях $n_{\text{шн}}$. Так, например, при $n_{\text{шн}} = 31$ об/мин доля прошедших в отверстиях сита частиц нижнего класса составила 76,7 % (кривая 1) от всего просеянного материала, при $n_{\text{шн}} = 41$ об/мин – 75,5 % (кривая 2), а при $n_{\text{шн}} = 51$ об/мин – 67,8 % (кривая 3). В то же время следует отметить, что при $n_{\text{шн}} = 41$ об/мин происходило более равномерное распределение частиц нижнего класса по стороне желоба, а эффективность грохочения была на 2...7 % выше по сравнению с другими вариантами.

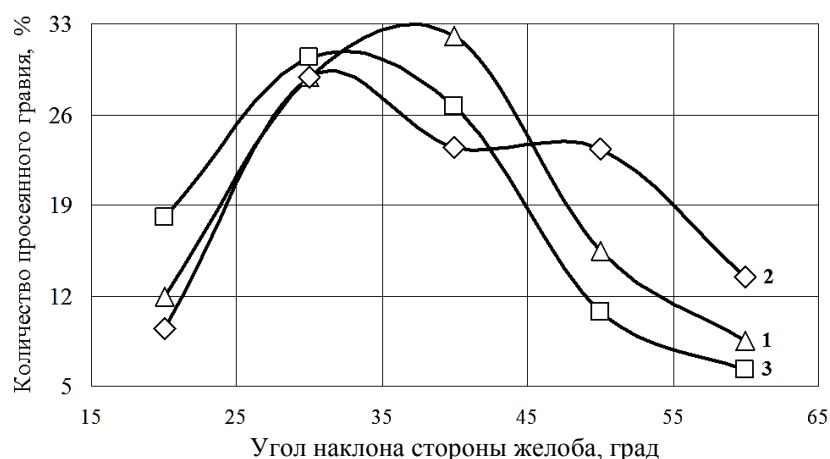


Рис. 6. Зависимость просеивания гравия по ширине желоба при частоте вращения шнека, об/мин: 1 – 31; 2 – 41; 3 – 51

Распределение просеянного материала по ширине желобообразной поверхности в зависимости от вращения валов с дисками исследовали при подаче гравия 90 кг/мин и $n_{\text{шн}} = 41$ об/мин (рис. 7). Изменение скорости вращения дисков, так же как и частоты

вращения шнека, способствовало просеиванию большей части гравия в средней части стороны желоба: при $n = 70$ об/мин – 69,64 % (кривая 1); при $n = 105$ об/мин – 75,54 % (кривая 2); при $n = 141$ об/мин – 68,74 % (кривая 3). Если первоначальное увеличение скорости вращения дисков от 70 до 105 об/мин вызвало незначительное повышение эффективности грохочения всего на 1,61 %, то дальнейшее увеличение ($n = 141$ об/мин) привело к заметному спаду интенсивности просеивания гравия на 8,59 %. Такое снижение результативности грохочения при наибольшей частоте вращения дисков объясняется тем, что в этом случае диски подбрасывают материал на большую высоту над поверхностью сита, поэтому время нахождения зерен гравия непосредственно на дисках уменьшается, вследствие чего происходит снижение вероятности их просеивания. В целом лучший результат был получен при $n = 105$ об/мин, когда эффективность грохочения гравия составила 98,93 %.



Рис. 7. Зависимость просеивания гравия по ширине желоба при частоте вращения валов с дисками, об/мин: 1 – 70; 2 – 105; 3 – 141

Для определения рациональных параметров желобообразного валкового сита на основе наибольших показателей эффективности грохочения были проведены экспериментальные исследования с варьированием частоты вращения валов с дисками и скорости вращения шнека.

Численные значения эффективности грохочения гравия, в зависимости от изменения частоты вращения валов с дисками, при $n_{\text{шн}} = 41$ об/мин показаны на рис. 8.

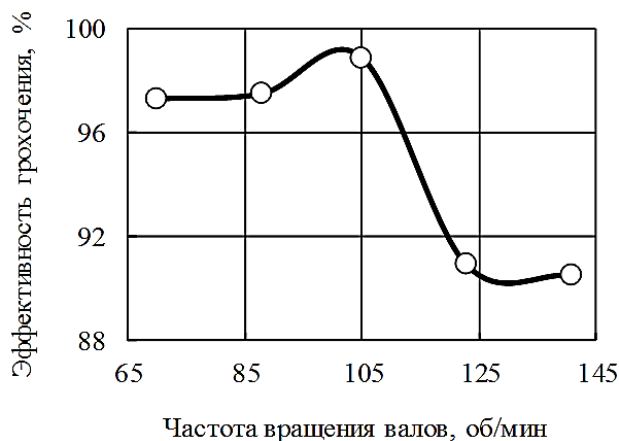


Рис. 8. Влияние частоты вращения валов на эффективность грохочения гравия

На основе представленных данных можно наблюдать постепенное повышение интенсивности просеивания гравия с возрастанием n от 70 до 105 об/мин. Затем происходило резкое падение эффективности грохочения. Это явление объясняется увеличением времени полета частиц над поверхностью сита при сравнительно высокой частоте вращения дисков, что и приводило к снижению результативности их просеивания.

Графическая зависимость эффективности грохочения гравия от частоты вращения шнекового интенсификатора в диапазоне 31...51 об/мин представлена на рис. 9. Возрастание скорости вращения шнека сначала вызывало увеличение эффективности просеивания мелкой фракции в пределах 97...99,6 %, а затем, после $n_{\text{шн}} = 105$ об/мин, происходило заметное уменьшение результативности грохочения (всего 92 %). Это говорит о том, что при сравнительно большой частоте вращения шнекового интенсификатора материал не успевает распределяться по ширине желоба, вследствие чего все большая часть частиц нижнего класса перемещается лопастями шнека вместе с компонентами верхнего класса вдоль нижних валов желоба. Таким образом, мелкая фракция гравия не успевает просеяться в промежутках между дисками.

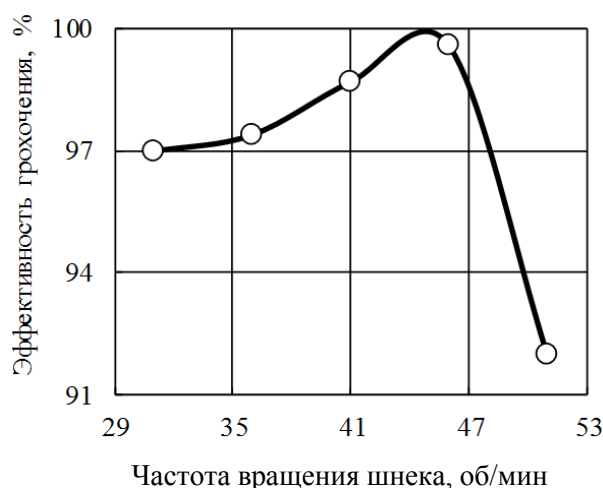


Рис. 9. Влияние частоты вращения шнека на эффективность грохочения

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведенных экспериментальных исследований было установлено, что угол подъема материала по стороне желоба и его скорость вдоль валов сита находятся практически в прямой зависимости от среднего размера (массы) камня. Чем тяжелее камень, тем на меньшую высоту он поднимается по стороне желоба и тем быстрее движется вдоль желоба. Это позволяет последовательно (в зависимости от крупности) распределять каменный материал по стороне желоба, создавая благоприятные условия для просеивания мелкой фракции. В процессе исследований были также определены рациональные параметры численных значений частоты вращения валов с дисками $n = 100...110$ об/мин и скорости вращения шнека $n_{\text{шн}} = 41...47$ об/мин, обеспечивающие эффективность грохочения гравия более 98...99 %. Полученные результаты могут служить основанием для использования желобообразного валкового сита при фракционировании гравия и щебня на сортировочных и дробильно-сортировочных комплексах дорожно-строительных машин.

ЛИТЕРАТУРА

*Вестник Тверского государственного технического университета.
Серия «Технические науки». № 4 (16), 2022*

1. Добронравов С.С., Добронравов М.С. Строительные машины и оборудование: справочник. М.: Высшая школа. 2006. 445 с.
2. Патент СССР 1192652. *Камнеуборочная машина* / Мясников А.Б., Цыганов В.И., Кондратьев А.В. Заявл. 11.04.1984. Оpubл. 23.11.1985. Бюл. № 43.
3. Кондратьев А.В. Создание высокоэффективных валковых сепараторов торфяных машин и оборудования. Дисс... докт. техн. наук. Тверь. 1998. 361 с.
4. Сортирующе-сепарирующее устройство: а.с. 1313364 СССР. № 3888792/30-15 / Кондратьев А.В., Мясников А.Б. Заявл. 25.04.85. Оpubл. 30.05.87. Бюл. № 20.
5. Патент РФ 2286214. *Устройство для грохочения сыпучих материалов* / Кондратьев А.В., Кочкян С.М., Груздев С.В., Семин А.В. Заявл. 04.04.2005. Оpubл. 27.10.06. Бюл. № 30.
6. Патент РФ 2317864. *Устройство для грохочения сыпучих материалов* / Кондратьев А.В., Груздев С.В., Кочкян С.М., Павлов Ю.Н., Семин А.В. Заявл. 12.09.2006. Оpubл. 27.02.2008. Бюл. № 6.
7. Патент РФ 126633 на полезную модель. *Устройство для грохочения сыпучих материалов* / Кондратьев А.В., Кочкян С.М., Русинкевич В.А., Ренкус Т.И. Заявл. 29.10.2012. Оpubл. 10.04.2013. Бюл. № 10.

Для цитирования: Кондратьев А.В., Кочкян С.М., Лысенко Т.И., Гусаров А.А. К вопросу распределения и просеивания гравия по поверхности желобообразного валкового сита // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки». 2022. № 4 (16). С. 46–53.

TO THE QUESTION OF THE DISTRIBUTION AND SCREENING OF GRAVEL ON THE SURFACE OF A THROUGH ROLL SIEVE

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

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

The article presents the results of the movement and distribution of gravel grains, depending on their size, along the inclined surface of a trough-shaped roller sieve. The process of screening a fine fraction of gravel along the width of a chute with an auger intensifier has been studied. The parameters of the separating device have been obtained, which ensure the highest efficiency of stone material screening due to the rational distribution of material fractions over the roller sieve.

Keywords: trough-shaped roller screen, trough surface, elevation angle, stone size, screw intensifier, screw speed, disk speed, gravel grain distribution, material supply, screening efficiency.

Поступила в редакцию/received: 01.08.2022; после рецензирования/revised: 30.08.2022;
принята/accepted: 15.09.2022