

DOI: 10.21821/2309-5180-2024-16-1-55-63

## ASSESSMENT OF THE MESHED SCREENS OPERABILITY TO REDUCE DUST EMISSIONS OF BULK CARGO FROM THE PORTS OPEN WAREHOUSES

**D. N. Kostyunichev, N. S. Otdelkin**

Volzhsky State University of Water Transport, N. Novgorod, Russian Federation

*Currently, the coal terminals of sea and river ports have a significant negative impact on the environment through their activities. The operation of the terminals technological equipment leads to high concentrations of dust in the air and dust emissions of bulk cargo. The main sources of dust emissions and dust removal are open coal storage warehouses. Recently, dust screens have been used to combat dusting in open coal warehouses and port terminals. However, the processes of wind flows interaction with stacks of port open slads and meshed screens have not been studied enough. In this regard, the purpose of this work is to evaluate in laboratory conditions the operability of meshed screens to reduce the dustiness of the air and the dust emission of bulk cargo during its storage in port open warehouses. During laboratory studies, models of open warehouses stacks are carried out at a certain scale, which allows you to use the full-scale bulk cargo and real meshed screens. The main results of these studies are the following conclusions: meshed screens are workable and effective devices for reducing the speed of wind flow inside the perimeter of the screen; the shape of the stack cross-section does not affect the screen performance; the level of the meshed screen performance to reduce the air dustiness and the amount of dust emission from the warehouses stacks with the different shape of the cross-section depends on the direction and speed of the wind flow. The use of soft meshed screens located along the perimeter of the open coal warehouse stack makes it possible to reduce air dustiness and dust emission at a wind speed of 5 m/s by an average of 1.8 times, and at a wind speed of 10 m/s by an average of 2.5 times.*

*Keywords: coal terminal, dust emission, dustiness, open warehouse, meshed screen, stack model, methodology, research.*

**For citation:**

Kostyunichev, Denis N., and Nikolay S. Otdelkin. "Assessment of the meshed screens operability to reduce dust emissions of bulk cargo from the ports open warehouses." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 16.1 (2024): 55–63. DOI: 10.21821/2309-5180-2024-16-1-55-63.

УДК 628.511.001.57:656.62.073.28

## ОЦЕНКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ СЕТЧАТЫХ ЭКРАНОВ ПО СНИЖЕНИЮ ПЫЛЕВЫБРОСОВ СЫПУЧИХ ГРУЗОВ С ОТКРЫТЫХ СКЛАДОВ ПОРТОВ

**Д. Н. Костюничев, Н. С. Отделкин**

ФГБОУ ВО «Волжский государственных университет водного транспорта»,  
Нижний Новгород, Российская Федерация

*Темой работы является исследование отрицательного воздействия на окружающую среду угольных терминалов морских и речных портов в результате их деятельности. Отмечается, что работа технологического оборудования терминалов приводит к высоким концентрациям запыленности воздуха и пылевыбросам сыпучего груза. Основными источниками пылевыбросов и пылеуноса являются открытые склады хранения угля. В течение последних 8–10 лет для борьбы с пылением на открытых угольных складах и портовых терминалах получили применение пылезащитные экраны, однако процессы взаимодействия ветровых потоков со штабелями портовых открытых складов и сетчатыми экранами изучены недостаточно. В связи с указанными обстоятельствами целью настоящей работы является оценка в лабораторных условиях работоспособности сетчатых экранов по снижению запыленности воздуха и пылевыброса сыпучего груза при его хранении на портовых открытых складах. В процессе проведенного лабораторного исследования модели штабелей открытых складов выполнялись в определенном масштабе, что позволило использовать натуральный сыпучий груз и реальные сетчатые экраны. В работе представлены результаты исследований*

*работоспособности мягких сетчатых экранов по снижению пылевых выбросов с открытых портовых складов при хранении сыпучих грузов с учетом направлений и скорости ветровых потоков на штабели этих складов с различными формами поперечных сечений штабелей. В ходе проведения исследований были получены результаты, свидетельствующие о том, что сетчатые экраны являются эффективными устройствами, снижающими скорость ветрового потока внутри периметра экрана. При этом форма поперечного сечения штабеля не оказывает влияния на их работоспособность, а уровень работоспособности сетчатых экранов по уменьшению запыленности воздуха и размера выброса со штабелей складов с различной формой поперечного сечения зависит от направления и скорости ветрового потока. Применение мягких сетчатых экранов, расположенных по периметру штабеля открытого склада с углем, позволяет значительно уменьшить запыленность воздуха и пылевых выброс при воздействии ветра.*

*Ключевые слова: угольный терминал, пылевых выброс, запыленность, открытый склад, сетчатый экран, модель штабеля, методика, исследование.*

**Для цитирования:**

*Костюничев Д. Н. Оценка работоспособности сетчатых экранов по снижению пылевых выбросов сыпучих грузов с открытых складов портов / Д. Н. Костюничев, Н. С. Отделкин // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2024. — Т. 16. — № 1. — С. 55–63. DOI: 10.21821/2309-5180-2024-16-1-55-63.*

### **Введение (Introduction)**

Экологические вопросы природопользования и задачи инженерной экологии за последние десятилетия приобрели особую актуальность. Ужесточение экологических требований законодательными и нормативными актами как Российской Федерации, так и международных организаций предусматривают необходимость разработки конструкций и оборудования, обеспечивающих сокращение выбросов вредных веществ в акваторию порта, близлежащую территорию, прилегающую к порту, и окружающую среду в целом.

Основными источниками пылевыделения при действующих технологических способах хранения сыпучих грузов на сегодняшний день в портах являются открытые склады, как накопительные, так и оперативные. Результаты, полученные в работах [1]–[3], показывают, что объем загрязнений атмосферного воздуха и пылевых выбросов значительно превышает допустимые значения.

В настоящее время в портах доминируют угольные терминалы открытого типа. По данным работы [4], крупные порты Приморского края (Восточный, Находка, Владивосток, Посыет) ежегодно перегружают около 40 млн. т угля. Большинство из них эффективно функционируют, оказывая при этом приемлемое влияние на окружающую среду благодаря проведению мероприятий, направленных на снижение пыления. К таким мероприятиям относятся системы аспирации с фильтрами различных типов, применение устройств орошения и снеготенерации, а также технологий, основанных на смачивании угля с использованием специальных средств для обработки пылящего груза на транспорте, в узлах пересыпки и в местах хранения, при этом все они имеют свои достоинства и недостатки [5], [6]. Вместе с тем при высокой концентрации терминалов на относительно небольшой территории и постоянном росте объемов перевалки эти мероприятия могут оказаться неэффективными, и в этом случае возникает вопрос о более радикальном решении проблемы с угольной пылью.

В настоящее время для борьбы с пылением на угольных складах и портовых терминалах применяются пылезащитные экраны как мягкого, так и жесткого типа, которые получили определенное распространение в ряде российских портов Приморского края и за рубежом (Канаде, Китае). Причем, согласно исследованиям [7], [8], эффективность жестких пылеподавляющих экранов достигает 80 %, но при этом в работах [2] и [3] отмечается, что эффективность данных экранов не превышает 20 %.

В зависимости от расположения относительно ветра экран может выполнять ветрозащитную и пылезащитную функции. Уменьшение запыленности воздуха и пылевых выбросов частиц груза со штабеля открытого склада обусловлено снижением скорости ветрового потока при его взаимодействии с сетчатым экраном. Однако процессы взаимодействия ветровых потоков со штабелями портовых открытых складов и сетчатыми экранами изучены недостаточно. Исследования в этом направлении в основном проводятся в натуральных условиях, что связано с высокими материальными

затратами и технологическими трудностями. В связи с этим целью данной работы является оценка в лабораторных условиях работоспособности сетчатых экранов по снижению запыленности воздуха и пылевывброса сыпучего груза при его хранении на портовых открытых складах.

### Методы и материалы (Methods and Materials)

Исследования проводились на моделях штабелей с поперечными сечениями в форме призмы и обелиска с использованием натурального сыпучего груза. Методологически проведение исследований на моделях портового оборудования, включая открытые склады с натурным сыпучим грузом обосновано в работах [7], [8], в соответствии с которыми были определены размеры модельных штабелей открытых складов.

Исследования проводились в два этапа:

I этап — определение изменений скорости ветрового потока при обтекании им различной формы сечения штабелей с сетчатыми экранами;

II этап — исследование влияния скорости и направления ветровых потоков на процесс пылеуноса и запыленность воздуха при применении мягкого сетчатого экрана.

Рассмотрим этапы исследований более подробно.

*Определение изменений скорости ветрового потока при обтекании им различной формы сечения штабелей с сетчатыми экранами.*

Целью исследований I этапа являлась оценка снижения скорости ветрового потока при его взаимодействии со штабелем открытого склада и сетчатым экраном.

Исследования проводились на моделях штабелей с поперечными сечениями в форме призмы и обелиска без сыпучего груза, которые были выполнены из плотного картона в масштабе 1 : 100. Обоснование данного решения приведено в работах [9], [10]. Все схемы и фото оборудования в работе приведены в оригинальном исполнении. Размеры моделей штабелей без груза и схемы расположения точек замеров скоростей ветровых потоков представлены на рис. 1. Необходимо отметить, что угол наклона боковых граней модельных штабелей соответствовал углу естественного откоса такого сыпучего груза, как уголь марки АШ, т. е.  $42^\circ$ .

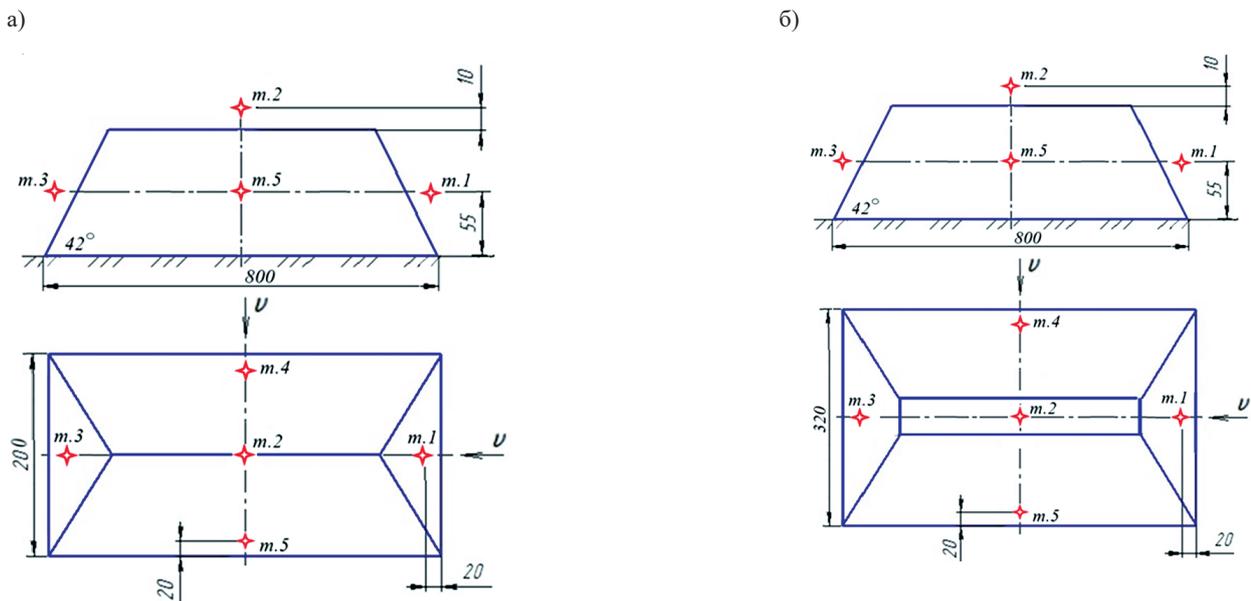


Рис. 1. Размеры моделей штабелей без груза и схемы расположения точек замеров скоростей ветровых потоков, обтекающих штабели:  
 а — поперечное сечение в форме призмы; б — поперечное сечение в форме обелиска

Оборудование, использованное для проведения исследований I и II этапов исследований, представлено на рис. 2.

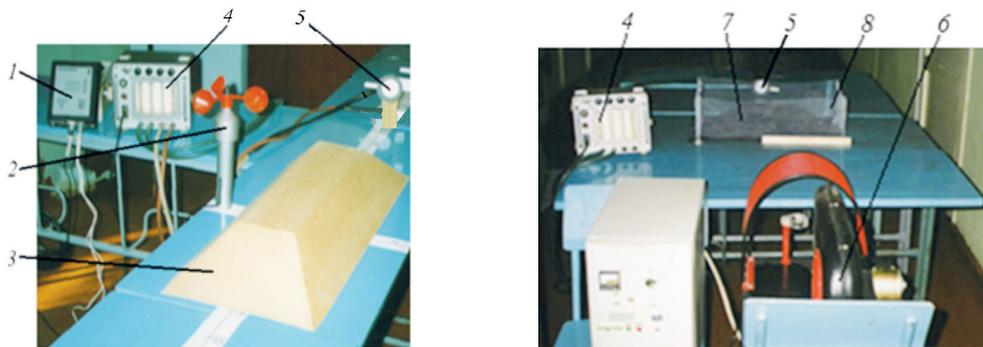


Рис. 2. Оборудование, использованное для проведения исследований I и II этапов:  
1 — анемометр цифровой АСЦ-3; 2 — датчик анемометра; 3 — модель штабеля без груза;  
4 — аспиратор В-822; 5 — фильтры АФА-В-10; 6 — воздуходувка СКМ-АС2;  
7 — модель штабеля с грузом; 8 — сетчатый экран

Была принята следующая методика проведения исследований I этапа. Вначале воздуходувка марки СКМ-АС2 устанавливалась таким образом, чтобы ось ее выходного сопла совпадала с горизонтальной продольной или поперечной осью исследуемого штабеля. Затем при расположении воздуходувки вдоль продольной оси штабеля ею создавался ветровой поток со скоростью 5 м/с и 10 м/с в ближайшей точке от воздуходувки (точка 1 на рис. 1). После этого с помощью цифрового анемометра измерялись скорости ветрового потока в точках 2 и 3. При расположении воздуходувки поперек продольной оси штабеля в ближайшей от нее точке (точка 4 на рис. 1) создавался ветровой поток со скоростью 5 м/с и 10 м/с, после чего с помощью цифрового анемометра АСЦ-3 измерялись скорости ветрового потока в точках 2 и 5. Затем аналогичные замеры проводились на моделях штабелей без груза, но снабженных сетчатыми экранами. Причем расположение точек замера скоростей ветровых потоков оставалось неизменным, а сетчатый экран относительно исследуемого штабеля устанавливался так, как это показано на рис. 3.

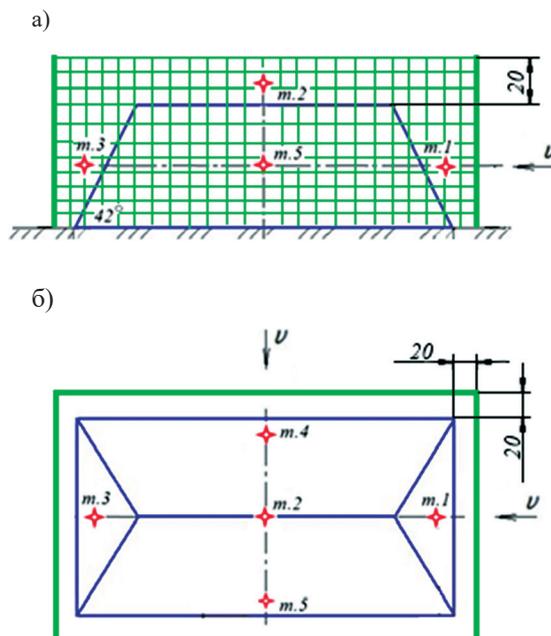


Рис. 3. Установка сетчатого экрана относительно исследуемого штабеля:  
а — вид сбоку; б — вид в плане

В качестве сетчатых экранов применялась синтетическая сетка, имеющая коэффициент скважности, равный 0,56. Структура сетки состояла из цилиндрических волокон с размером

ячеек  $4 \times 4$  мм, что соответствовало реальному сетчатому экрану, применяемому в реальных условиях порта. Продолжительность каждого замера составляла 2 мин. Повторяемость каждой серии замеров — пятикратная.

*Исследования влияния скорости и направления ветровых потоков на процесс пылевыброса и запыленность воздуха при применении мягкого сетчатого экрана.*

Целью исследований II этапа являлась оценка работоспособности мягкого сетчатого экрана по снижению пылевыброса сыпучего груза с поверхности открытого склада. В качестве сыпучего груза использовался уголь марки АШ с влажностью 0,5–1,0 %, из которого были сформированы модельные штабелы с поперечными сечениями в форме призмы и обелиска. При этом геометрические размеры модельных штабелей с углем соответствовали размерам моделей штабелей, выполненных из картона.

Была принята следующая методика проведения исследований. Сначала воздуходувка марки СКМ-АС2 устанавливалась таким образом, чтобы ось ее выходного сопла совпадала с горизонтальной продольной или поперечной осью исследуемого штабеля. При расположении воздуходувки вдоль продольной оси штабеля воздуходувкой создавался набегающий на штабель с углом ветровой поток со скоростью 5 м/с и 10 м/с (точка 6 на рис. 4). Затем с помощью аспиратора В-822 в точке 8 определялась весовым методом запыленность воздуха как отношение массы пыли на фильтре к объему прошедшего через него запыленного воздуха.

Вес фильтров до и после отбора проб воздуха определялся на аналитических весах марки ВЛА-200М, которые имеют погрешность  $\pm 0,1$  мг. Причем аспиратор и воздуходувка включались одновременно. При расположении воздуходувки поперек продольной оси штабеля ею создавался набегающий на штабель с углом ветровой поток со скоростью 5 м/с и 10 м/с (точка 7 на рис. 4). После этого с помощью аспиратора В-822 в точке 9 определялась запыленность воздуха. Затем аналогичные замеры проводились на моделях штабелей с углем, снабженных мягкими сетчатыми экранами. Причем расположение точек замера запыленности воздуха оставалось неизменным, а сетчатый экран относительно исследуемого штабеля устанавливался так, как показано на рис. 4. В качестве сетчатых экранов применялась такая же синтетическая сетка, как и в исследованиях I этапа. Продолжительность каждого замера составляла 2 мин, повторяемость каждой серии замеров — пятикратная.

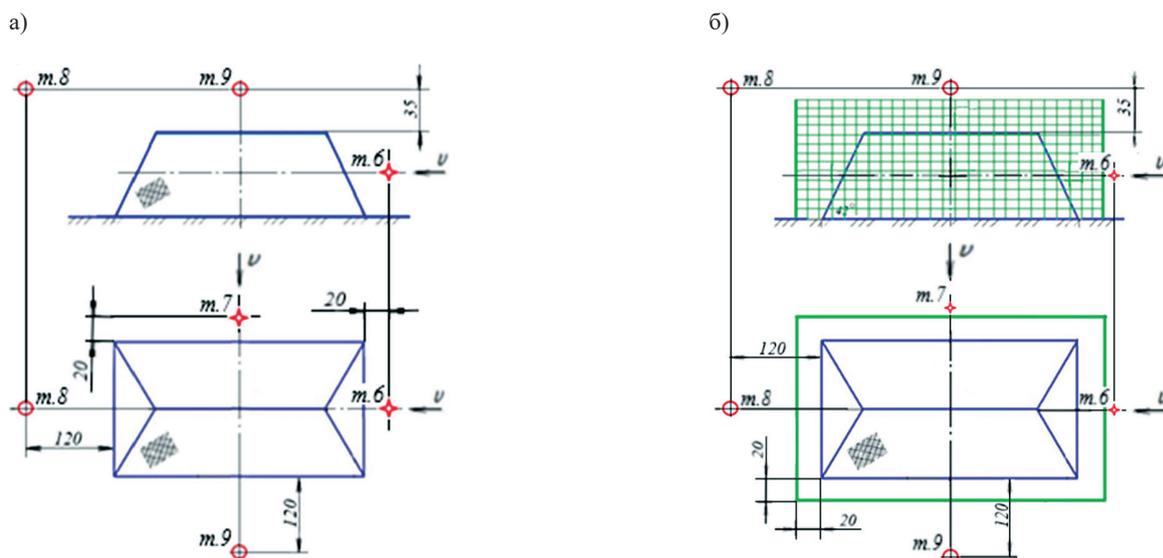


Рис. 4. Схемы расположения точек замера запыленности воздуха при воздействии ветровых потоков на модели исследуемых штабелей с углем: а — штабель без сетчатого экрана; б — штабель с сетчатым экраном

На рис. 5 приведены фото модельных штабелей с углем без сетчатого экрана и с сетчатым экраном.

а)



б)

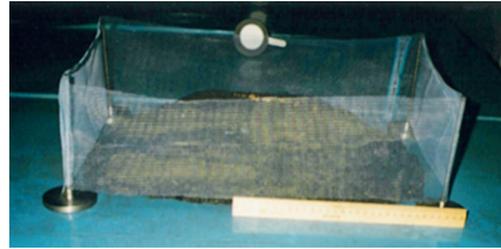


Рис. 5. Фото модельных штабелей с углем:  
а — без сетчатого экрана; б — с сетчатым экраном

Таким образом, предлагаемая методика позволяет оценить эффективность работоспособности мягкого сетчатого экрана по снижению скорости ветрового потока и пылевывоса сыпучего груза с поверхности открытого склада с помощью коэффициента снижения скорости ветра —  $k_i$  и коэффициента снижения запыленности —  $k$  (см. табл. 1 и табл. 2).

### Результаты (Results)

Результаты исследований скорости ветрового потока при обтекании им штабелей различной формы сечения без сетчатых экранов и с сетчатыми экранами при скорости ветрового потока, соответственно, 5 м/с и 10 м/с приведены в табл. 1, составленной авторами работы на основании проведенного исследования.

Таблица 1

#### Результаты исследований скоростей ветрового потока при обтекании штабелей с различной формой сечения без сетчатых экранов и с сетчатыми экранами при скорости ветрового потока 5 м/с и 10 м/с

Скорость ветрового потока, м/с	Точка замера скорости ветра	Ветровой поток вдоль продольной оси штабеля			Точка замера скорости ветра	Ветровой поток поперек продольной оси штабеля		
		Скорость ветра в точке замера, м/с		Коэффициент снижения скорости ветра ( $k_i$ ), $k_i = v_i / v_i^0$		Скорость ветра в точке замера, м/с		Коэффициент снижения скорости ветра ( $k_i$ ), $k_i = v_i / v_i^0$
		$v_i$ экрана нет	$v_i^0$ экран есть			$v_i$ экрана нет	$v_i^0$ экран есть	
Штабель с поперечным сечением в форме призмы								
5	1	5,0	3,1	1,61	4	5,0	2,9	1,72
	2	1,9	0,1	19,0	2	1,1	0,2	5,5
	3	0,6	0,4	1,5	5	0,4	0,2	2,0
10	1	10	5,2	1,92	4	10	4,5	2,22
	2	3,5	1,9	1,84	2	4,2	0,7	6,0
	3	4,0	0,9	4,4	5	2,3	0,6	3,83
Штабель с поперечным сечением в форме обелиска								
5	1	5	3,0	1,67	4	5,0	2,8	1,79
	2	2	0,2	10,0	2	2,2	0,2	11,0
	3	0,5	0,3	1,67	5	0,7	0,3	2,33
10	1	10	5,5	1,82	4	10	4,4	2,27
	2	3,7	2,0	1,85	2	6,0	0,8	7,50
	3	4,2	1,0	4,2	5	2,6	0,9	2,89

Результаты исследований работоспособности мягкого сетчатого экрана по снижению запыленности воздуха при пылевывосе угля со штабелей с различной формой сечения при скорости ветрового потока, соответственно, 5 м/с и 10 м/с приведены в табл. 2, составленной авторами работы на основании проведенного исследования.

Таблица 2

**Результаты исследований работоспособности мягкого сетчатого экрана по снижению запыленности воздуха при пылевывбросе угля со штабелей с различной формой сечения при скорости ветрового потока 5 м/с и 10 м/с**

Скорость ветрового потока, м/с	Точка замера запыленности воздуха	Ветровой поток вдоль продольной оси штабеля			Точка замера запыленности воздуха	Ветровой поток поперек продольной оси штабеля		
		Запыленность воздуха в точке замера, мг/м <sup>3</sup>		Коэффициент снижения запыленности (k), $k = q_i / q_i^{\circ}$		Запыленность воздуха в точке замера, мг/м <sup>3</sup>		Коэффициент снижения скорости (k), $k = q_i / q_i^{\circ}$
		$q_i$ экрана нет	$q_i^{\circ}$ экран есть			$q_i$ экрана нет	$q_i^{\circ}$ экран есть	
Штабель с поперечным сечением в форме призмы								
5	8	80	42	1,9	9	26	15	1,7
10	8	308	134	2,3	9	91	35	2,6
Штабель с поперечным сечением в форме обелиска								
5	8	25	14	1,8	9	95	50	1,9
10	8	1960	726	2,7	9	588	235	2,5

Результат обработки данных показывает, что эффективность мягких сетчатых экранов по снижению скорости ветра и уменьшению запыленности воздуха существенным образом зависит от направлений и скоростей ветровых воздействий на штабеля портовых открытых складов.

**Обсуждение (Discussion)**

Анализ результатов I этапа исследований (см. табл. 1) позволяет утверждать следующее:

– при продольном воздействии ветрового потока 5 м/с на модели штабелей с сетчатым экраном скорости ветра внутри периметра экрана у боковых сторон штабеля снижаются в 1,5–1,67 раз, а над штабелем — в 10–19 раз;

– при поперечном воздействии ветрового потока 5 м/с на модели штабелей с сетчатым экраном скорости ветра внутри периметра экрана у торцевых сторон штабеля снижаются в 1,72–2,33 раза, а над штабелем — в 5,5–11 раз;

– при продольном воздействии ветрового потока 10 м/с на модели штабелей с сетчатым экраном скорости ветра внутри периметра экрана у боковых сторон штабеля снижаются в 1,8–4,4 раз, а над штабелем — в 1,84–1,85 раз;

– при поперечном воздействии ветрового потока 10 м/с на модели штабелей с сетчатым экраном скорости ветра внутри периметра экрана у торцевых сторон штабеля снижаются в 2,22–3,83 раза, а над штабелем — в 6,0–7,5 раз;

– с увеличением скорости ветрового потока с 5 м/с до 10 м/с работоспособность сетчатых экранов по снижению скоростей ветра внутри периметра экрана возрастает на 1,2–2,6 раз при продольном направлении ветрового потока и при поперечном направлении потока на 1,3–1,6 раз;

– форма поперечного сечения штабеля практически не оказывает влияния на работоспособность мягкого сетчатого экрана по снижению скорости ветра внутри периметра экрана.

Анализ результатов II этапа исследований (см. табл. 2) показывает следующее:

– при продольном воздействии ветрового потока 5 м/с на модели штабелей с углем сетчатый экран снижает запыленность воздуха в 1,8–1,9 раз, при поперечном воздействии — 1,7–1,9 раз;

– при продольном воздействии ветрового потока 10 м/с на модели штабелей с углем сетчатый экран снижает запыленность воздуха в 2,3–2,7 раз, при поперечном воздействии — 2,5–2,6 раз;

– с увеличением скорости ветрового потока с 5 м/с до 10 м/с работоспособность сетчатых экранов по снижению запыленности воздуха возрастает в 1,2–1,5 раз при продольном направлении ветрового потока, при поперечном направлении потока в 1,3–1,5 раз.

## Выводы (Summary)

На основании основных результатов, полученных в настоящем исследовании, можно сделать следующие выводы:

1. Сетчатые экраны являются работоспособными и эффективными устройствами по снижению скорости ветрового потока внутри периметра экрана, что обеспечивает уменьшение пылевыбросов сыпучих грузов с портовых открытых складов.

2. Форма поперечного сечения штабеля, снабженного по периметру сетчатым экраном, не оказывает влияние на уровень его работоспособности по снижению скорости ветрового потока внутри периметра экрана, а также уменьшению запыленности воздуха и размера пылевыброса.

3. Уровень работоспособности сетчатого экрана по уменьшению запыленности воздуха и размера пылевыброса со штабелей складов с различной формой поперечного сечения зависит от направления и скорости ветрового потока.

4. Применение мягких сетчатых экранов, расположенных по периметру штабеля открытого склада с углем, позволяет уменьшить запыленность воздуха и пылевыброс при скорости ветрового воздействия 5 м/с в среднем в 1,8 раз, при скорости ветрового воздействия 10 м/с — в среднем в 2,5 раз.

5. Поскольку результаты получены в лабораторных условиях на моделях в соответствии с принципом воспроизводимости научных результатов, их целесообразно проверить с помощью проведения натуральных экспериментов. Кроме того, целесообразно продолжить работы по исследованию работоспособности как мягких, так и жестких экранов с учетом их параметров: скважности, конструкции, размеров, установки относительно штабеля и т. д.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голохваст К. С. Экологическое состояние малых населенных пунктов Дальнего Востока России по данным микроразмерного загрязнения атмосферы / К. С. Голохваст, П. А. Никифоров, В. В. Чайка [и др.] // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. — 2014. — Т. 16. — № 1–3. — С. 624–627.

2. Голохваст К. С. Первые данные по вещественному составу атмосферных взвесей Владивостока / К. С. Голохваст, И. Ю. Чекрызов, А. М. Паничев [и др.] // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. — 2011. — Т. 13. — № 1–8. — С. 1853–1857.

3. Ревич Б. А. К оценке влияния деятельности ТЭК на качество окружающей среды и здоровье населения / Б. А. Ревич // Проблемы прогнозирования. — 2010. — № 4 (121). — С. 87–99.

4. Васина Д. Решение экологических проблем угольных терминалов Владивостока / Д. Васина, И. Раппорт, И. Тесленко // International journal of Professional Science. — 2021. — № 6. — С. 27–36.

5. Эпштейн С. А. Опыт применения полимерной эмульсии для снижения пыления углей при их перемещении / С. А. Эпштейн, Д. И. Гаврилова, И. Г. Завелев [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — 2019. — № 10. — С. 5–15. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-10-0-5-15.

6. Кожевникова О. М. Проблемы борьбы с пылью на морских угольных терминалах / О. М. Кожевникова, И. В. Московская, П. Е. Похил // Globus: Технические науки. — 2021. — Т. 7. — № 3 (39). — С. 25–28.

7. Балашова А. А. Особенности использования угля в Китае и возможные пути снижения негативного воздействия на окружающую среду / А. А. Балашова // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. — 2010. — Т. 6. — № 5 (62). — С. 92–96.

8. Мазуренко О. И. Оценка мирового опыта оснащения и эксплуатации экспортных перегрузочных комплексов по перевалке угля в морских портах / О. И. Мазуренко // Научное обозрение. Технические науки. — 2020. — № 5. — С. 48–57.

9. Костюничев Д. Н. Экспериментальный метод определения количественных характеристик потерь сыпучих грузов при перегрузке грейфером / Д. Н. Костюничев, Н. С. Отделкин, Д. О. Зименков // Научные проблемы водного транспорта. — 2023. — № 76. — С. 210–218. DOI: 10.37890/jwt.v76.396.

10. Отделкин Н. С. Эколого-экономическое обоснование параметров открытых складов навалочных грузов путем прогнозирования процесса пылеуноса / Н. С. Отделкин, Д. Н. Костюничев // Экологические системы и приборы. — 2005. — № 1. — С. 30–32.

## REFERENCES

1. Golokhvast, K. S., P. A. Nikiforov, V. V. Chayka, N. G. Ostapenko, S. A. Razgonova, Ya. Yu. Blinovskaya, V. V. Slesarenko, Yu. S. Doroshev, N. V. Zemlyanaya, A. A. Fatkulin, and A. I. Agoshkov. "Ecological state of small settlements at Far East of Russia according to data of microdimensional pollution of the atmosphere." *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences* 16.1–3 (2014): 624–627.
2. Golokhvast, K. S., I. Y. Chekryzhov, A. M. Panichev, P. F. Kiku, N. K. Khristoforova, and A. N. Gulkov. "The first data on the material composition of atmospheric suspensions in Vladivostok city." *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences* 13.1–8 (2011): 1853–1857.
3. Revich, B. A. "Assessment of the effect produced by the fuel and energy complex on the environment and health." *Studies on Russian Economic Development* 21.4 (2010): 403–410.
4. Vasina, D., I. Rapoport, and I. Teslenko. "Solving environmental problems of open coal terminals in Vladivostok." *International Journal of Professional Science* 6 (2021): 27–36.
5. Epshtein, S. A., D. I. Gavrilova, I. G. Zavelev, S. A. Shamshin, and E. Yu. Yurin. "Application of polymer emulsion in dust emission control during coal haulage." *Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal)* 10 (2019): 5–15. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-10-0-5-15.
6. Kozhevnikova, O. M., I. V. Moskovaya, and P. E. Pohil. "Problems of dust control at the sea coal terminals." *Globus: Technical Sciences* 7.3(39) (2021): 25–28.
7. Balashova, A. A. "Osobennosti ispol'zovaniya uglya v Kitae i vozmozhnye puti snizheniya negativnogo vozdeistviya na okruzhayushchuyu sredyu." *Natsional'nye interesy: priority i bezopasnost'* 6. 5(62) (2010): 92–96.
8. Mazurenko, O. I. "World experience of equipping and operating of coal export transshipment complexes." *Scientific Review. Technical sciences* 5 (2020): 48–57.
9. Kostyunichev, D. N., N. S. Otdelkin, and D. O. Zimenkov. "Experimental method of determining bulk cargo losses quantitative characteristics during grappling overload." *Russian Journal of Water Transport* 76 (2023): 210–218. DOI: 10.37890/jwt.vi76.396/
10. Otdelkin, N. S., and D. N. Kostyunichev. "Ecological and economic substantiation of parameters of ground storages of bulk cargoes by forecasting of dust-priming process." *Ecological Systems and Devices* 1 (2005): 30–32.

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Костюничев Денис Николаевич** —  
 кандидат технических наук, доцент  
 ФГБОУ ВО «Волжский государственный  
 университет водного транспорта»  
 603950, Российская Федерация, Н. Новгород,  
 ул. Нестерова, 5  
 e-mail: [kostyunichev.dn@vsuwt.ru](mailto:kostyunichev.dn@vsuwt.ru)

**Отделкин Николай Станиславович** —  
 доктор технических наук, профессор  
 ФГБОУ ВО «Волжский государственный  
 университет водного транспорта»  
 603950, Российская Федерация, Н. Новгород,  
 ул. Нестерова, 5  
 e-mail: [otdelkin.ns@vsuwt.ru](mailto:otdelkin.ns@vsuwt.ru)

### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Kostyunichev, Denis N.** —  
 PhD, associate professor  
 Volzhsky State University  
 of Water Transport  
 5 Nesterova Str., N. Novgorod, 603950,  
 Russian Federation  
 e-mail: [kostyunichev.dn@vsuwt.ru](mailto:kostyunichev.dn@vsuwt.ru)

**Otdelkin, Nikolay S.** —  
 Dr. of Technical Sciences, professor  
 Volzhsky State University  
 of Water Transport  
 5 Nesterova Str., N. Novgorod, 603950,  
 Russian Federation.  
 e-mail: [otdelkin.ns@vsuwt.ru](mailto:otdelkin.ns@vsuwt.ru)

Статья поступила в редакцию 1 ноября 2023 г.  
 Received: November 1, 2023.