© Мануэль Вега, А.К. Николаев, П.Ю. Ланков, С.Ю. Авксентьев, 2006

УДК 622.799.5

Мануэль Вега, А.К. Николаев, П.Ю. Ланков, С.Ю. Авксентьев

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЛИМОНИТОВОЙ ГИДРОСМЕСИ

Семинар № 19

Республика Куба входит в число лидеров по запасам никелевой руды. В настоящее время в провинции Ольгин работают три завода по производству никелевого концентрата. Два металлургических завода работают по сухой технологии обогащения и один им. Педро Сото Альба – по мокрой технологии обогащения. В связи с острой проблемой нехватки энергоресурсов на Кубе, очень остро встают вопросы их экономии. Особенно это касается горного транспорта на открытых карьерах.

В табл. 1 приводится расчет себестоимости транспортирования одной тонны серпентинитовой мягкой руды различными видами транспорта на карьерах Моа-Никаро [1].

Руда с карьеров в Никаро до завода перевозится железнодорожным транспортом. В табл. 2. [2] приводится анализ себестоимости перевозки угля железнодорожным транспортом и гидротранспортом.

Как видно из приведенного анализа в табл. 1 и табл. 2 наиболее эффективным и экологически чистым является гидротранспорт.

Выполненные предварительные исследования показали возможность использования при добыче лимонитовой руды гидромеханизации, которая в системе с добычным экскаватором или самостоятельно позволит обеспечить высокую производительность и эффективность за счет полной механизации и непрерывности процесса.

Анализ гранулометрического состава лимонитовой руды карьера Моа-Восточный показал, что она характеризуется высоким (до 90 %) содержанием мельчайших частиц – размером меньше 0,044 мм.

Наличие мелких классов в объеме жидкости определяет качественные и количественные характеристики гидросмеси. Это проявляется в том, что гидросмесь при определенном содер-жании твердой фазы приобретает свойства неньютоновской жидкости, вязкость которой играет большую роль при определении параметров гидротранспортирования.

Исследования реологических свойств лимонитовой гидросмеси проводились на ротационном вискозиметре. Реологические кривые гидросмеси с массовой долей твердого в диапазоне 36-49,5 % представлены на рис. 1 и описываются уравнением Шведова-Бингама:

$$\tau = \tau_0 + \eta \dot{\gamma},$$

где τ - касательное напряжение сдвига в произвольный момент времени, Па; τ_0 – начальное напряжение сдвига, Па; η - структурная вязкость гидросмеси, Па·с; $\dot{\gamma}$- градиент скорости по сечению потока, $с^{-1}$.

Таблица 1

Себестоимость транспортирования серпентинитовой мягкой руды различными видами транспорта на карьерах Моа-Никаро

Объем перевозок, млн.т/год	Расстояние транспортирования, км	Конвейерный транспорт, $/т	Автомобильный транспорт, $/т	Гидротранспорт, $/т
1,4	2,1	0,24	0,30	0,12
2,5	2,1	0,22	0,30	0,10

Таблица 2

Сравнительный анализ эффективности перевозки угля железнодорожным и гидравлическим транспортом

Объем перевозок угля, млн.т/год	Железнодорожный транспорт			Гидравлический транспорт		
	Удельные затраты, у.е/т	Затраты металла, кг/10т	Число рабочих, чел./10000т	Удельные затраты, у.е/т	Затраты металла, кг/10т	Число рабочих, чел/10000т
23	2,1-2,5	5,3-5,6	6,4-6,7	3,1-3,2	3,9-4,1	1,1-1,2
37,6	2,3-2,9	6,0-6,5	6,9-7,9	2,5-2,6	3,1-3,3	0,7-0,9
52,2	2,4-3,1	5,7-6,0	7,2-7,7	2,1-2,5	2,6-3,0	0,4-0,5

Структурная вязкость определялась как тангенс угла наклона прямой зависимости $\tau = f(\dot{\gamma})$ для гидросмеси определенной концентрации к оси абцисс. Анализ зависимостей $\eta = f(S)$ свидетельствует о том, что, начиная с некоторой критической концентрации, появляется участок повышенной вязкости.

Рассмотрение зависимостей $\tau = f(\dot{\gamma})$ показывает, что гидросмеси с массовой долей твердого до 39 % при течении в зазоре вискозиметра проявляют свой-ства ньютоновских гидросмесей. При массовой доле твердого 39 % и более течение гидросмеси начинается только после приложения определенной нагрузки, характеризующей начальное напряжение сдвига, что присуще неньютоновским жидкостям.

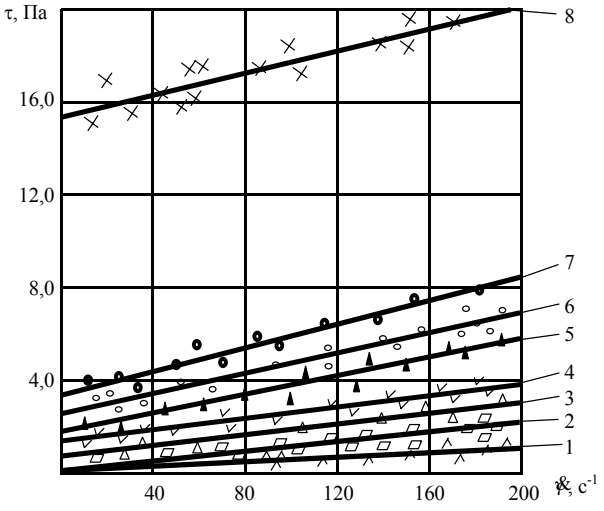


Рис. 1. Реологические кривые гидросмеси в зависимости от массовой концентрации: *1 – S* = 32 %; *2 – S* = 36 %; *3 – S* = 39 %; *4 – S* = 42,5 %; *5 – S* = 45 %; *6 – S* = 47 %; *7 – S* = 47,9 %; *8 – S* = 49,5 %

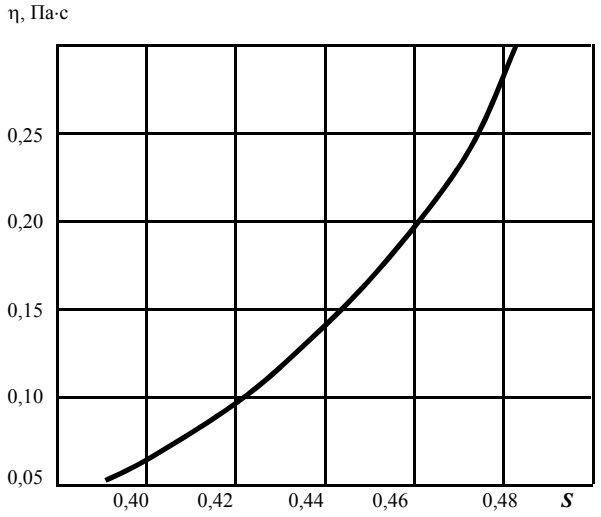


Рис. 2. Зависимость структурной вязкости от массовой концентрации гидросмеси

Для установления зависимости $\eta = f(S)$ была проведена обработка реологических кривых (рис. 1) методом регрессионного анализа и полученная формула для определения структурной вязкости гидросмеси имеет вид

$$\eta = 5{,}1 \cdot 10^{-5}\, e^{17{,}98S}$$

На рис. 2 представлена кривая зависимости $\eta = f(S)$.

Полученные данные по реологическим свойствам лимонитовой руды позволяют производить расчет потерь напора при проектировании системы гидротранспорта с карьера Моа-Восточный до металлургического завода им. Педро Сото Альба.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Feliu M.S.* Determinacion de los parametros de hidroen cienciastecnicas transporte de las pulpas del mineral serpentinitio. Tesis enopeion al grado cientidico de doctor en cienciastecnicas., Cuba, Moa, 1998.

2. *Докукин В.П.* Повышение эффективности эксплуатации систем трубопроводного транспорта, СПГГИ(ТУ), 2005.

Коротко об авторах

Мануэль Вега - магистр, ректор высшего горно-металлургического института в г Моа, Куба,

Николаев Александр Константинович - профессор, доктор технических наук, кафедры горных транспортных машин СПГГИ (ТУ), Санкт-Петербург,

Ланков Павел Юрьевич - ассистент, кандидат технических наук кафедры горных транспортных машин СПГГИ (ТУ), Санкт-Петербург,

Авксентьев Сергей Юрьевич - аспирант кафедры горных транспортных машин СПГГИ (ТУ), Санкт-Петербург.

© Ю.Д. Тарасов, Д.Е. Лунев, 2006

УДК 621.876.2

Ю.Д. Тарасов, Д.Е. Лунев

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ КОНВЕЙЕРА С ПОДВЕСНОЙ ЛЕНТОЙ

Семинар № 19

В последние годы рядом организаций, в том числе Санкт-Петербургским горным институтом (техническим университетом) ведутся работы по созданию нового поколения ленточных конвейеров с подвесной лентой, которые являются альтернативными в определенных условиях производства конвейерам с опиранием ленты на стационарные роликоопоры, размещенные на грузонесущей и нерабочей ветвях.

При этом разрабатываются конвейеры со следующими вариантами опирания ленты:

1) на сдвоенные ходовые катки с возможностью их перемещения по трубчатым направляющим; 2) на одинарные ходовые катки в сочетании с контрольными упорами; 3) на одинарные катки с их перемещением по желобчатым направляющим; 4) на стационарные дисковые ролики, взаимодействующие с бортами ленты и другие способы опирания подвесной ленты.

Конвейеры с подвесной лентой по сравнению с традиционными ленточными конвейерами обладают рядом существенных преимуществ, главные из которых следующие [1]. Лента с грузом движется по направляющим, в результате чего исключен поперечный сход ленты и просыпь транспортируемого груза, имеется возможность обеспечить любую желобчатость ленты (при этом ширина ленты используется наиболее полно) и малый радиус поворота конвейера в горизонтальной плоскости. В конвейере с подвесной лентой существенно уменьшены сопротивления движению ленты, что существенно снижает общую энергоемкость транспортирования и позволяет уменьшить требуемое натяжение ленты, благодаря чему повышается ресурс ленты, снижается нагрузка на натяжную и приводную станции и обеспечивается возможность установки ленты с меньшим разрывным усилием.

Причем конвейеры с подвесной лентой и опиранием на стационарные ролики по сравнению с конвейерами, оборудованными ходовыми катками, обладают дополнительными преимуществами:

- используются традиционные устройства натяжения и привода ленты;
- скорость ленты и длина конвейера могут быть такие же, как у конвейеров на роликовых опорах;
- имеется возможность отказа от ловителей ленты, так как возможность улавливания обеих ветвей оборвавшейся ленты заложена в самой конструкции конвейера;
- уменьшена трудоемкость и время проведения работ, связанных с ремонтом и стыковкой ленты и обслуживанием опорных элементов (дисковых роликов) за счет того, что эти элементы между собой конструктивно не связаны;

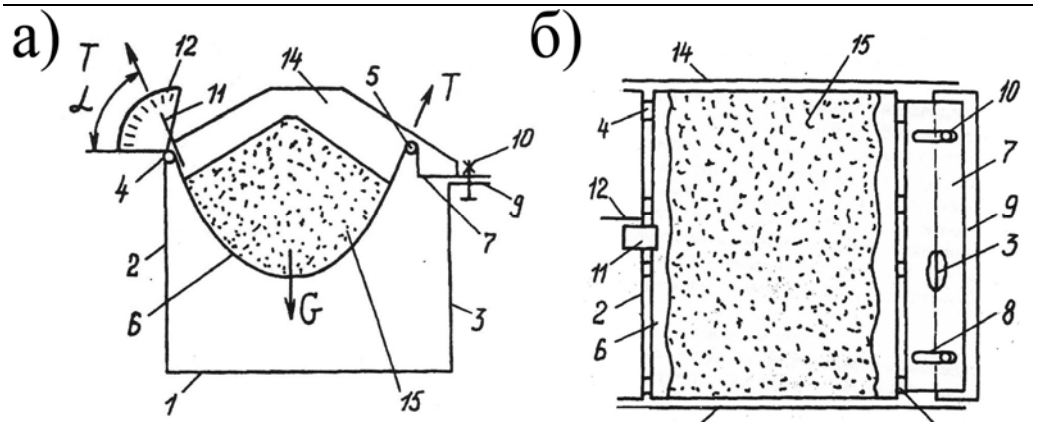


Рис. 1. Схема экспериментального стенда: а – поперечный разрез, б – план

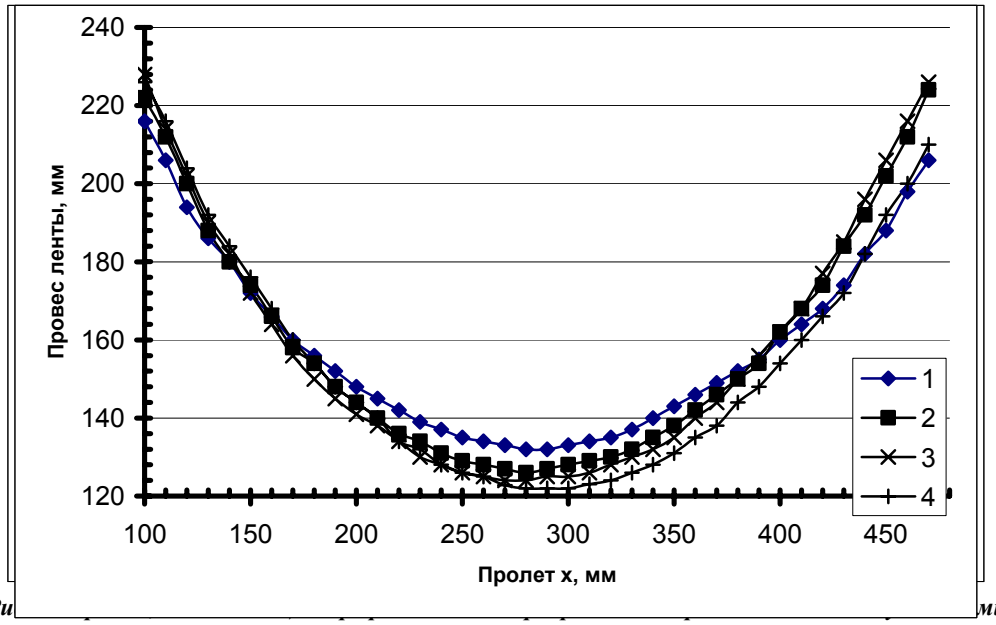
- повышена безопасность конвейера за счет отсутствия поступательно движущихся по направляющим катков;
- возможность быстрого ввода конвейера в эксплуатацию за счет использования в его конструкции значительного количества стандартных элементов.

Вместе с тем, для расчета и обоснованного выбора параметров ленточных конвейеров с подвесной лентой при различных вариантах опирания бортов ленты необходимо знать профиль грузонесущей ветви ленты при различном ее заполнении транспортируемым грузом и его физико-механических свойствах (насыпной плотности, угле естественного откоса и др.).

Для решения этой задачи на кафедре горных транспортных машин СПГГИ (ТУ) проведены соответствующие экспериментальные исследования на стенде [2], позволяющем исследовать форму лотка грузонесущей ветви ленты заданной ширины при различной желобчатости лотка, линейной нагрузке от транспортируемого груза и упругих свойствах ленты. Стенд (рис. 1) состоит из рамы *1*, на стойках *2* и *3* которой на шарнирах *4, 5* подвешен за свои борта отрезок конвейерной ленты *6*. При этом один из шарниров (5) закреплен на ползуне *7* с возможностью его смещения своими прорезями *8* по горизонтальной направляющей *9* стойки *3* и фиксации на направляющей *9* с помощью болтов *10*. На противоположном борту на стойке *2* рамы *1* – экран *12* со шкалой, градуированной в угловых единицах с возможностью фиксации пластиной-указателем *11* угла α наклона борта ленты 6 к горизонтальной плоскости.

Торцевые кромки ленты 6 свободно размещены между прозрачными вертикальными стенками *13* и *14* с возможностью примыкания к ним и размещения на ленте *6* и взаимодействия со стенками *13, 14* пробы транспортируемого груза *15*. G – вес пробы транспортируемого груза, T – поперечное натяжение ленты.

Стенд действует следующим образом. Смещением ползуна *7* и его фиксацией на направляющей *9* задается положение шарнира *5*, определяющее прогиб лотка незагруженной ленты *6*. С помощью пластины-указателя *11* фиксируется угол α наклона бортов ленты к горизонтальной плоскости.



Ри ***ми подвеса ленты***

Рис. 5. Профиль ленты при различной линейной нагрузке

Далее на ленте *6* размещается проба транспортируемого груза *15*. При этом профиль свободной поверхности груза *15* может формироваться по закону треугольника или по какой-либо другой кривой, соответствующей реальному профилю груза на движущейся ленте конвейера.

С помощью пластины-указателя *11* определяется угол α наклона бортов загруженной ленты *6* к горизонтальной плоскости. Через прозрачные вертикальные стенки *13* или *14* фик-сируется поперечный профиль ленты *6* и профиль свободной поверхности груза *15*. Исследования проводятся при различных прогибах ленты *6,* соответствующих выбранным положениям шарнира *5*. В каждом новом положении ползун *7* после смещения его прорезей *8* по направляющей *9* фиксируется болтами *10*.

Аналогичные исследования проводят для грузов *15* с различной насыпной плотностью и при различных профилях свободной поверхности груза *15*. По найденным значениям углов α и весу G груза *15* определяют поперечное натяжение $T=G/(2\sin\alpha)$ ленты 6, а по нему – коэффициент сопротивления движению ленты 6 в зависимости от принятой конструкции катковых опор конвейера с подвесной лентой. Данные о профиле ленты используются для оценки ее несущей способности при различных условиях работы.

При проведении исследований фиксировались координаты точек, определяющих поперечный профиль ленты при различных условиях ее нагружения и пролете между опорами. Для этого менялись такие параметры, как линейная нагрузка на ленту от транспортируемого груза, его профиль, расстояние между точками подвеса ленты, толщина ленты (число прокладок). Для ленты шириной 800 мм с шестью прокладками, нагруженной песком при линейной нагрузке 90 кг/м поперечный профиль выглядит следующим образом:

Кривые на рис. 2 пронумерованы в сторону увеличения расстояния между точками подвеса ленты. Как видно из графиков, форма ленты в поперечном сечении при таком способе подвешивания близка к параболической, которая характерна для однородной нерастяжимой тонкой нити, подвешенной за оба конца, однако несколько от нее отличается. Это в первую очередь связано с неравномерностью нагрузки по ширине ленты при любом варианте заполнения лотка транспортируемым грузом – с плоской поверхностью или по треугольнику, высота которого определяется углом естественного откоса груза, поэтому в каждой точке на оси абсцисс нагрузка на ленту существенно различается с максимумом в середине пролета.

Для иллюстрации неравномерности воздействия веса груза на ленту была проведена серия экспериментов, в которых изменялась нагрузка на ленту – от нуля до максимально возможной при заданном пролете ленты. На графиках на рис. 3 показаны профили ленты в ее средней зоне, где наиболее четко прослеживаются отклонения профиля от исходного положения (при нулевой нагрузке). Кривая *1* описывает положение ленты без нагрузки, кривая *2* – с линейной нагрузкой 20 кг/м и плоской поверхностью груза, кривая *3* – с нагрузкой 55 кг/м и плоской поверхностью груза, кривая *4* – с нагрузкой 110 кг/м и поверхностью груза, сформированной по треугольнику при естественном угле откоса груза.

На графиках видна существенная разница в формах поперечного сечения загруженной и незагруженной ленты. Экспериментальные данные аппроксимированы различными видами кривых, что в дальнейшем позволит использовать наиболее подходящую зависимость для расчетов несущей способности конвейера с подвесной лентой. Применение аппроксимации вызвано отсутствием удовлетворительной математической модели, описывающей профиль ленты в функции нагрузки на нее от транспортируемого груза.

В качестве базовых были выбраны зависимости вида:

$$y_1 = a(e^{\frac{x}{b}} + e^{\frac{x}{c}}) + d;$$

$$y_2 = ax^2 + bx + c;$$

$$y_3 = ax^4 + bx^3 + cx^2 + dx + e;$$

где *a, b, c, d, e* – коэффициенты.

Для каждой из них были подобраны коэффициенты аппроксимации и произведена оценка достоверности аппроксимации. Для зависимости y1 стандартное отклонение от фактических данных составило 0,500 мм, для зависимости y2 – 0,590, для зависимости y3 – 0,957; причем расчетная погрешность измерения в данном случае составляет ±0,28 мм.

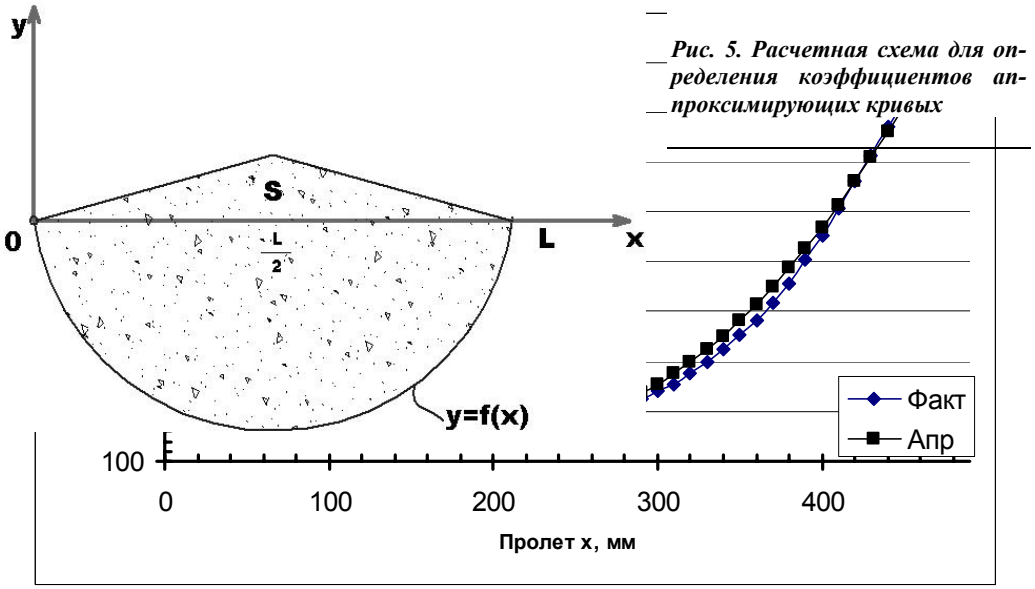


Рис. 5. Расчетная схема для определения коэффициентов аппроксимирующих кривых

Рис. 4. Фактический профиль ленты и аппроксимирующая его кривая

График на рис. 4 иллюстрирует весьма высокую близость аппроксимирующей функции y_1 к фактической кривой, формирующей профиль ленты. Таким образом, можно утверждать, что зависимость y_1 среди рассмотренных является наиболее близкой к реальной кривой.

Однако для того, чтобы использовать в дальнейшем любую из рассматриваемых зависимостей, необходимо привязать ее к реальным условиям. Для этого используем следующую расчетную схему (рис. 5):

Аппроксимирующая зависимость должна будет удовлетворять следующим граничным условиям:

$f(0) = 0; f(x) = L;$

$$f'(L/2) = 0; \quad \int_0^L f(x)dx + S = F,$$

где L – расстояние между точками подвеса ленты, м; x – линейная координата, м; $f(x)$ – аппроксимирующая зависимость; S – площадь сечения груза, расположенная выше оси абсцисс, м^2.

Решение данных уравнений для различных типов зависимостей входит в задачи дальнейших исследований; на данном их этапе можно сделать следующие промежуточные выводы:

1) кривая, описывающая профиль загруженной ленты отличается от параболы;

2) профиль загруженной ленты с высокой степенью достоверности описывается зависимостью вида

$$y = a(e^{\frac{x}{b}} + e^{\frac{x}{c}}) + d;$$

3) Использование уточненной зависимости в расчетах позволит достоверно оценивать несущую способность конвейеров с подвесной лентой и определять усилия, действующие на ходовые катки или борта ленты (в зависимости от типа конвейера с подвесной лентой).

1. *Тарасов Ю.Д.* Перспективы использования и особенности расчета конвейеров с подвесной лентой. Известия вузов. Горный журнал, №4, 2002.

2. Пат. 2266855 (РФ). Стенд для исследования параметров конвейера с подвесной лентой / Ю.Д. Тарасов, Д.Е. Лунев – Заявл. 20.05.04, № 2004113594; Опубл. 27.12.2005; МПК B 65 G 15/00, G 01 M 19/00 – Бюл. №36.

Коротко об авторах

Тарасов Ю.Д. – профессор, доктор технических наук,
Лунев Д.Е. – аспирант,

Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет).