

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТОРМОЗНЫХ УСТРОЙСТВ ШАХТНЫХ ПОДВЕСНЫХ МОНОРЕЛЬСОВЫХ ДОРОГ

Разработан стенд для экспериментальных исследований сил трения тормозных устройств шахтной подвесной монорельсовой дороги. Получены значения коэффициента трения тормозных колодок с вертикальной стенкой монорельса для сухих, влажных и загрязненных контактирующих поверхностей.

Ключевые слова: монорельс, сила трения, тормозная колодка, коэффициент трения.

Постановка проблемы

При эксплуатации монорельсового транспорта в режиме торможения возникают процессы, негативно влияющие на конструкционные элементы шахтной подвесной монорельсовой дороги (ШПМД), которые требуют детального изучения. Одним из основных элементов ШПМД, определяющим безопасность ее эксплуатации, является тормозная система. Такие параметры этой системы, как усилие прижатия тормозных колодок и их коэффициент трения с вертикальной стенкой монорельса, определяют тормозную способность ШПМД.

В настоящее время для рельсового железнодорожного и шахтного транспорта процесс реализации тормозного усилия исследован довольно подробно. Однако подвесной монорельсовый путь существенно отличается от традиционного, поскольку тормозные колодки прижимаются к вертикальной стенке монорельса и имеют специфическую форму. Поэтому выбор значений коэффициента трения является неоднозначным и довольно затруднительным, поскольку при этом необходимо учитывать как фрикционные свойства контактируемых материалов, так и состояние их поверхностей – обводненность, загрязненность, а также форму и размеры тормозных колодок.

Анализ последних исследований и публикаций

Исследованию тормозных устройств посвящено ряд работ. Статьи [1,2] направлены на повышение эффективности применения тормозных систем горных, строительных и подъемно-транспортных машин с использованием замкнутых кинематических контуров. В работах [3...5] приведены результаты исследований тормозных систем поездов шахтного транспорта, содержащих колодочно-колесные и рельсовые тормоза. Авторами обоснована область применения ло-

комотивной откатки с учетом эффективности торможения различных систем, рассмотрены особенности торможения рельсовыми тормозами шахтного поезда с тяжелым шарнирно-сочлененным локомотивом. В монографии [6] обоснованы параметры тормозной системы шахтного локомотива, обеспечивающие повышение значений реализуемой локомотивом тормозной силы и зависимость тормозных характеристик от геометрических и динамических параметров тормозных механизмов.

Исследования [7,8] посвящены построению математической модели движения вагона, идентификации параметров модели и фильтрации координат движения вагона по монорельсовой дороге. Новые подходы, обеспечивающие стабильность коэффициента трения при разных режимах торможения, предложены в статьях [9,10]. Изложенные подходы заключаются в сочетании фрикционных материалов для высокоскоростного наземного транспорта.

В работах [11...15] рассмотрены проблемы эксплуатации шахтных подвесных монорельсовых дорог. При этом исследованы вопросы повышения эффективности работы и безопасности их эксплуатации за счет оптимизации переходных процессов, возникающих во время разгона или торможения подвижного состава. Определен оптимальный режим торможения ШПМД, а также установлены зависимости между параметрами подвижного состава и тормозными усилиями, что позволяет минимизировать время торможения и повысить безопасность работы монорельсового транспорта.

Анализ последних исследований и публикаций показывает, что установленные закономерности торможения подвижного состава и значения коэффициентов сцепления колес с рельсами не учитывают специфику подвесного монорельсового транспорта, эксплуатируемого в горных выработках.

Цель (задачи) исследования

Цель работы – установить влияние условий контакта тормозных колодок с монорельсом на их коэффициент трения и тормозную способность ШПМД. Для достижения указанной цели решены следующие задачи: спроектирован стенд для определения коэффициента трения тормозных колодок с монорельсом, разработаны программа и методика испытаний, произведен выбор измерительной аппаратуры и установлены фактические значения усилий прижатия тормозных колодок и силы трения, развиваемой тормозным устройством.

Основной материал исследования

Торможение состава современных ШПМД осуществляется с помощью тормозных устройств клещевого типа, которыми оборудуются, как правило, тормозные и тяговые тележки. Схема расположения колодок тормозных устройств относительно монорельса показана на рис. 1.

Тормозные колодки прижимаются к стенке монорельса посредством рычажной системы, в результате чего возникает сила трения в системе колодка – монорельс, направленная в противоположную сторону движения состава. При этом эффективность торможения зависит от тормозной силы T , возникающей между монорельсом и парой колодок при приложении к ним прижимной силы P . Поэтому тормозное усилие определяется как $T=2\mu P$, где μ – коэффициент трения колодок с опорными поверхностями монорельса; P – усилие прижатия одной колодки к монорельсу. Как известно, коэффициент трения зависит от состояния поверхности монорельса, взаимодействующей с рабочей поверхностью тормозных колодок, и степени ее загрязнения. В подземных условиях, когда движение ШПМД происходит в запыленной и обводненной среде,

поверхность монорельса может быть сухой, влажной, а также с присутствием на его поверхности угольной пыли и смазочных материалов, используемых для эксплуатации и обслуживания узлов подвижного состава.

Для определения коэффициента трения тормозных колодок с монорельсом спроектирован и изготовлен стенд, имитирующий тормозное устройство подвижного состава ШПМД. Общий вид стенда представлен на рис. 2.

Основой стенда является универсальная испытательная машина типа ГМС-50, имеющая разрывное усилие 100 кН и скорость движения 1,7 и 4,2 мм/с. К верхнему захвату машины закрепляется отрезок монорельса, выполненный из двутавровой балки, к нижнему – кронштейны с тормозными колодками, прижимаемыми с двух сторон двуплечими рычагами, связанными между собой связями. На одной стороне рычагов устанавливается тензометрический датчик, позволяющий измерять усилие прижатия тормозных колодок к монорельсу, а на другой – сжимающее пружинное устройство, создающее усилие прижатия. Для регистрации реализуемого тормозного усилия в подвесе монорельса монтируется еще один тензометрический датчик. Общий вид измерительной аппаратуры приведен на рис. 3.

Для измерения усилия прижатия использовался тензометрический датчик, выполненный на базе тензорезисторов 2ФКПА10-10Б, а тягового усилия – тензометрический датчик KelipST-A5t. Эти датчики подключались к цифро-аналоговому преобразователю АЦП-ЦАП 16/16 Sigma USB, использующему программное обеспечение ZET Lab и программу «Тензометр», устанавливаемые на персональный компьютер. При этом источником питания для измерительной системы являлись блоки «Агат» и БСП-5.

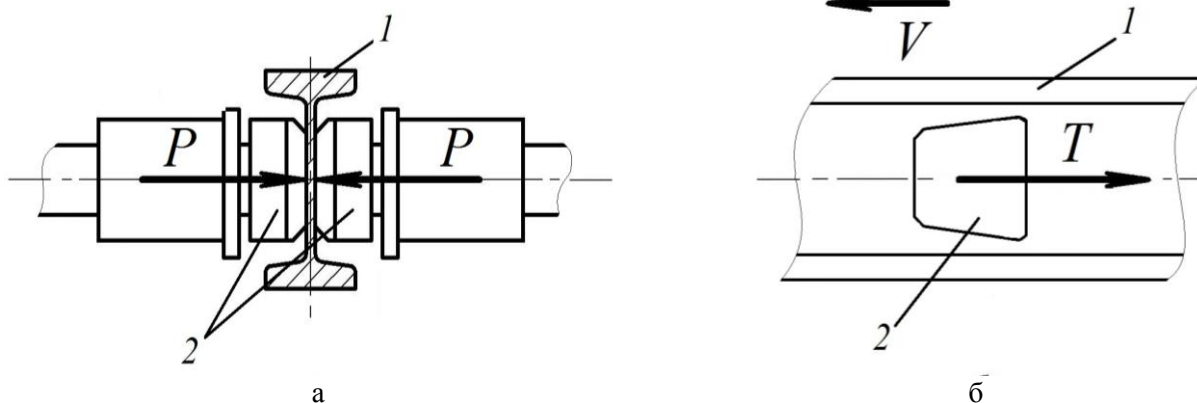
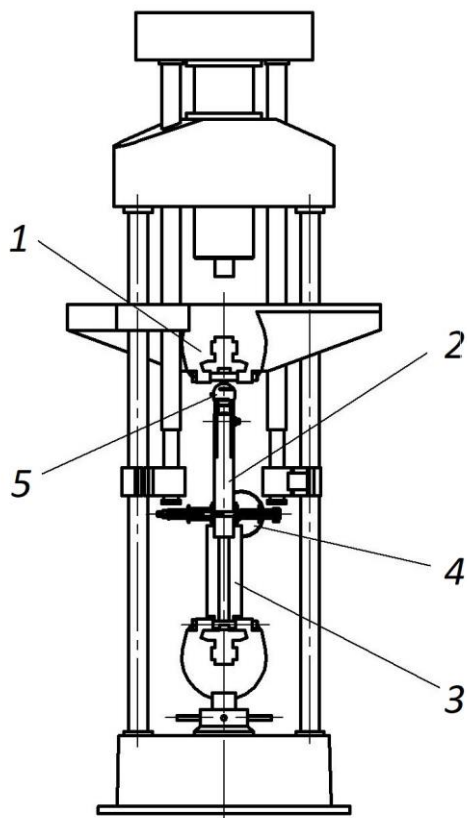


Рис. 1. Схема расположения тормозных колодок относительно монорельса: а – главный вид; б – вид сбоку; 1 – монорельс; 2 – тормозные колодки



а
б
Рис. 2. Стенд для исследования тормозных устройств и определения коэффициента трения тормозных колодок с монорельсом:

а – принципиальная схема; *б* – общий вид; 1 – испытательная машина ГМС-50; 2 – монорельс; 3 – кронштейн крепления тормозной колодки; 4, 5 – тензодинамометры для регистрации усилия прижатия тормозных колодок к монорельсу и реализуемого тормозного усилия

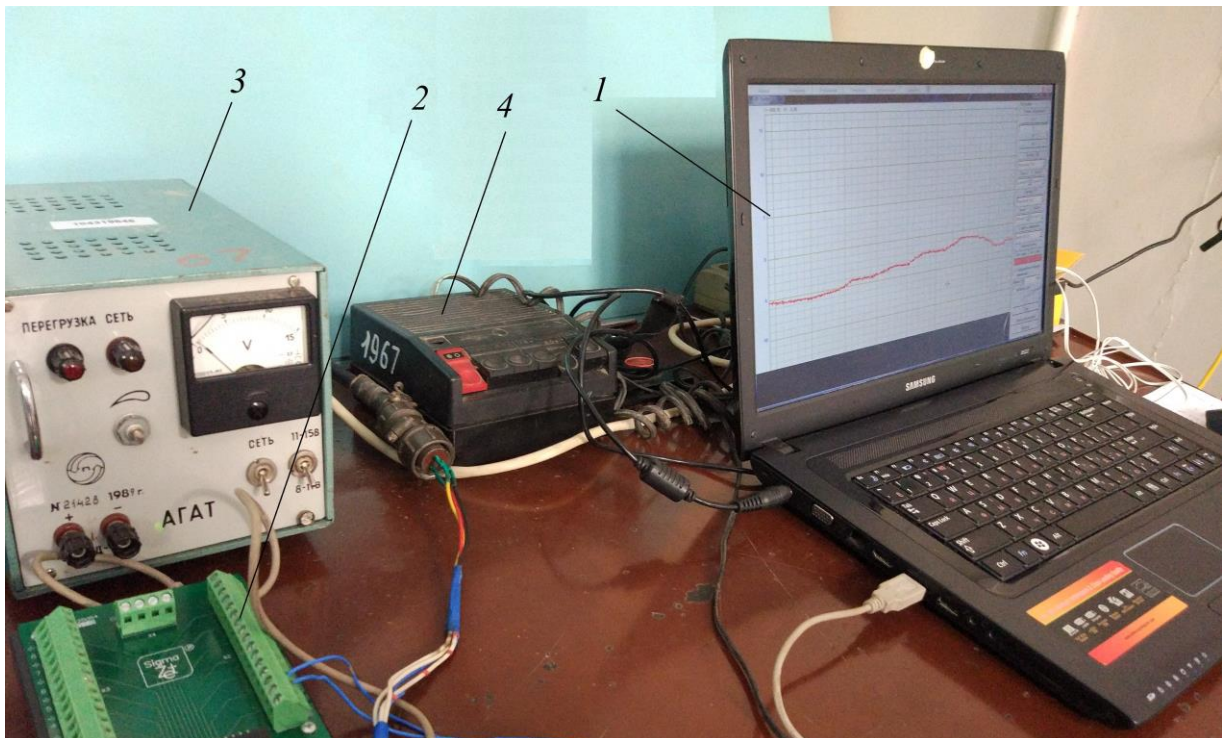


Рис. 3. Измерительное оборудование для обработки сигналов тензометрических датчиков:
1 – персональный компьютер; 2 – цифро-аналоговый преобразователь АЦП-ЦАП 16/16 Sigma USB; 3, 4 – блоки питания «Агат» и БСП-5

Тарирование датчиков производилось на специальном стенде с использованием стрелочного динамометрического прибора ДПУ-0,5. В итоге определены соотношения измерительных напряжений и нагрузок, которые составляли для датчика тормозной силы 1 мВ на 2452 Н и 1 мВ на 818 Н – для датчика усилия прижатия.

Предварительно перед проведением замеров тормозные колодки прижимались к монорельсу с усилием, установленным согласно программе и методике испытаний. После этого производился запуск испытательной машины ГМС-50 и перемещался верхний захват с прикрепленным к нему тензометрическим датчиком и монорельсом. Поскольку свободный конец монорельса был зажат прижимными рычагами, то при его перемещении возникали силы сопротивления движению, определяемые силами трения тормозных колодок с их контактируемыми поверхностями.

Возникающие усилия регистрировались при помощи тензометрических датчиков, цифро-аналогового преобразователя и персонального компьютера.

Согласно программе испытаний в процессе проведения опытов менялись степень загрязнения и влажность стенки монорельса. Замеры производились с использованием различных видов породной и угольной пыли. При этом значение прижимного усилия тормозных колодок принималось близким к значению, используемому в реальных условиях при эксплуатации ШПМД, и диапазон усилия прижатия, приходящегося на одну тормозную колодку, составлял от 5 до 20 кН.

Пример осциллограммы движения тормозных колодок по монорельсу приведен на рис. 4.

Из осциллограмм видно, что максимальное тормозное усилие во время движения колодок по монорельсу составляет 8,70 кН при усиллии прижатия 15,04 кН. После снятия замеров тормозного усилия во время движения для получения более достоверных значений производилась остановка испытательной машины, что на осциллограмме соответствует его нулевому значению. Коэффициент трения μ , реализуемый на сухой поверхности монорельса, составляет 0,58, а на влажной – 0,41.

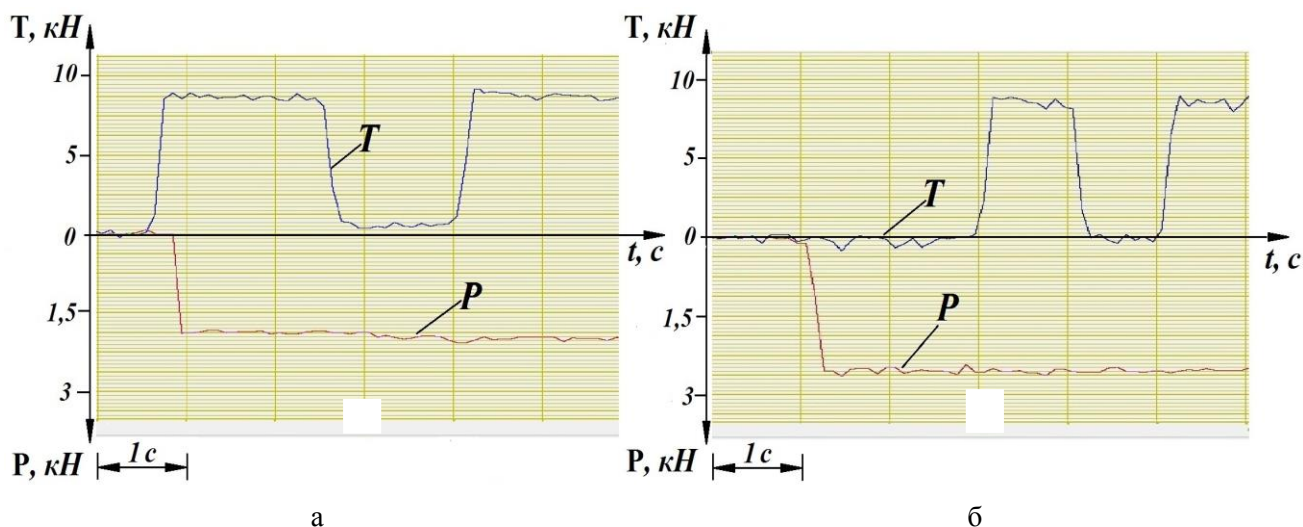


Рис. 4. Осциллограммы изменения усилий P и T во время движения тормозных колодок по монорельсу: a – поверхность монорельса сухая, без пыли; b – влажная, без пыли

На основании полученных данных рассчитаны дисперсии параллельных опытов, среднеквадратическое отклонение тормозного усилия и определены значения коэффициента трения колодок для различной степени загрязнений монорельса. Основные результаты измерений приведены в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что наибольшее значение $\mu=0,56$ достигает, когда поверхность монорельса сухая и не запылена. Для случая, когда поверхность монорельса влажная и покрыта пылью,

$\mu=0,10$, коэффициент трения принимает минимальное значение. Анализируя полученные результаты, можно сказать, что в зависимости от состояния поверхности и наличия на ней пыли значение коэффициента трения контактирующих поверхностей в процессе торможения отличается более чем в 5 раз.

Это обстоятельство необходимо учитывать для выполнения расчетов режимов движения ШПМД и выбора массы подвижного состава.

Табл. 1. Результаты экспериментального определения коэффициента трения тормозных колодок с монорельсом

Состояние поверхности стенки монорельса	Математическое ожидание T , кН	Дисперсия T , кН	Средне-квадратическое отклонение T , кН	Коэффициент трения колодки с монорельсом, μ
Сухая, без пыли	3,024	506,5	0,712	0,45...0,56
Влажная, без пыли	3,318	842,2	0,918	0,37...0,44
Сухая, покрыта породной пылью	3,227	824,7	0,908	0,35...0,45
Влажная, покрыта породной пылью	1,626	1599,5	1,265	0,17...0,27
Сухая, покрыта пылью (уголь марки «Г»)	1,051	841,0	0,917	0,11...0,19
Влажная, покрыта пылью (уголь марки «Г»)	1,295	987,3	0,934	0,12...0,22
Сухая, покрыта пылью (уголь марки «А»)	1,297	774,0	0,880	0,12...0,22
Влажная, покрыта пылью (уголь марки «А»)	1,266	840,0	0,917	0,10...0,19

Выводы

Разработан стенд для определения коэффициента трения колодок с монорельсом, который позволяет установить влияние условий их контакта на тормозную способность ШПМД.

Установлены фактические значения усилия прижатия тормозных колодок и силы трения, развиваемой тормозным устройством, которое составляет при чистой поверхности 3,02...3,32 кН, запыленной сухой – 1,05...3,23 кН, запыленной влажной – 1,26...1,63 кН.

Получены следующие значения коэффициента трения тормозных колодок с монорельсом для различных поверхностных загрязнений. При запыленном монорельсе наибольшее значение коэффициента трения равно 0,58; при запыленном сухом – 0,45; при запыленном влажном – 0,25. Следовательно, в зависимости от состояния контактирующих поверхностей и вида пыли, их покрывающей, тормозное усилие может изменяться более чем в 5 раз.

Список литературы

1. Энергосберегающие и энергонакопительные тормозные системы горных, строительных и подъемно-транспортных машин с использованием замкнутых кинематических контуров / В.С. Исаков [и др.] // Горное оборудование и электромеханика. – 2007. – №10. – С. 29-35.
2. Исаков, В.С. Повышение эффективности применения энергосберегающих технологий в процессах торможения подъемно-транспортных, строительных и горных машин / В.С. Исаков, А.В. Ерейский // Известия ВУЗов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2018. – №3. – С. 80-88.
3. Коптовец, А.Н. Исследование тормозной эффективности шахтных поездов / А.Н. Коптовец, А.В. Новицкий, С.Ф. Шибалов //

Горная электромеханика и автоматика. – 2004. – Вып.203. – С. 56-61.

4. Разработка тормозных систем подвижного состава шахтного рельсового транспорта высокого технического уровня / А.Н. Коптовец [и др.] // Молодой ученый. – 2015. – №5(20). Ч.1. – С.43-46.
5. Процив, В.В. Моделирование торможения шахтного поезда рельсовыми тормозами: монография. – Д.: Национальный горный университет, 2011. – 180 с.
6. Таран, И.А. Тормозные устройства шахтных локомотивов: монография. – Д.: Нац. горн. ун-т, 2014. – 203 с.
7. Гречишкина, Н.А. Идентификация параметров модели и фильтрация координат движения вагона монорельсовой дороги / Н.А. Гречишкина, Ф.Н. Григорьев, Н.А. Кузнецов // Информационные процессы. – 2015. – №3.Т.15. – С. 343-350.
8. Гречишкина, Н.А. Адаптивное управление движением вагона монорельсовой дороги / Н.А. Гречишкина, Ф.Н. Григорьев, Н.А. Кузнецов// Информационные процессы. – 2015. – №15(4). – С. 440-446.
9. Providing stable friction properties of disc brakes for railway vehicles / Y. Osenin [et al.] // Transport problems. – 2017. – Iss.1. Vol.12. – P. 63-71.
10. Ehlers, H.R. Potential and limits of opportunities of the block brake / H.R. Ehlers [et al.] // Glaser's Annalen. – 2002. – No.6/7. – P. 290-300.
11. Гутаревич, В.О. Исследование продольных колебаний подвешенного монорельсового пути / В.О. Гутаревич // Вестник ВГУ им. В. Даля. – 2013. – №5(194). Ч.1. – С. 100-105.
12. Гутаревич, В.О. Обоснование оптимального режима пуска и торможения шахтной подвешенной монорельсовой дороги / В.О. Гутаревич, Е.Л. Игнаткина // Горный информаци-

- онно-аналитический бюллетень. – 2016. – №9. – С. 29-36.
13. Gutarevych, V. Dynamic model of movement of mine suspended monorail / V. Gutarevych // Transport Problems. – 2014. – Iss.1. Vol.9. – P. 13-18.
14. Gutarevych, V. Research of Regularities of Suspended Mine Monorail Motion / V. Gutarevych // Mechanical Testing and Diagnosis. – 2014. –

- Vol.1(IV). – P. 2-17.
15. Игнаткина, Е.Л. Проблемы и направления совершенствования тормозных устройств шахтных подвесных монорельсовых дорог / Машиностроение и техносфера XXI века // Сборник трудов XXIV Международной научно-технической конференции в г. Севастополе 11-17 сентября 2017 г. – Донецк: ДонНТУ, 2017. – С. 118-121.

E.L. Ignatkina

Donetsk National Technical University (Donetsk)

EXPERIMENTAL STUDY OF BRAKING DEVICES OF MINE SUSPENDED MONORAIL TRACKS

Background. The paper presents the description of the developed test bench for experimental study of the friction forces of the brake devices of mine suspended monorail. The objective of the paper is to establish the regularities of the influence of the contact conditions of brake pads with the monorail on the braking capacity of the braking devices of mine suspended monorail tracks.

Materials and/or methods. The stand designed for determination of the coefficient of friction of the brake pads with a monorail, the program and methods of testing developed, measuring equipment selected, the actual value of the pressing forces of brake pads and friction forces of the brake device determined.

Results. The values of the friction coefficient of brake pads with a vertical wall of the monorail for dry, wet and contaminated contact surfaces obtained, the range of which is from 0.10 to 0.58. The minimum and maximum values of the friction force of 1.26 kN and 8.7 kN, respectively, with a pressing force of 15.04 kN determined.

Conclusion. The coefficient of friction of the contacting surfaces during braking takes the following maximum values: not dusty dry – 0.58; not dusty wet – 0.44; dusty dry – 0.4; dusty wet – 0.2. Thus, depending on the state of the surfaces and the type of dust covering them, the braking force can vary by more than five times.

Keywords: monorail, friction force, brake pad, coefficient of friction.

Сведения об авторе

Е.Л. Игнаткина

SPIN-код: 4107-5333

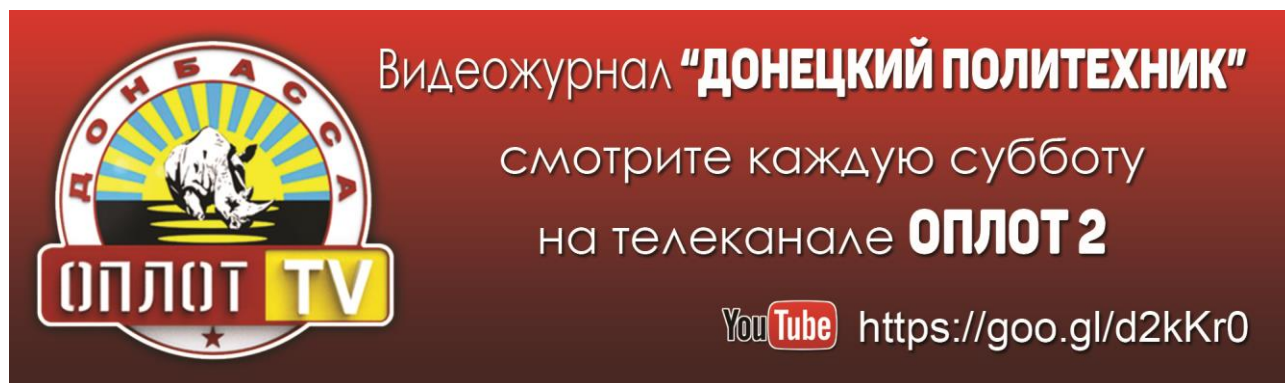
Телефон: +380 (62) 301-08-54

Эл. почта: sel_post@mail.ru

Статья поступила 28.05.2019 г.

© Е.Л. Игнаткина, 2019

Рецензент д.т.н., проф. В.П. Кондрахин



Видеожурнал **“ДОНЕЦКИЙ ПОЛИТЕХНИК”**
смотрите каждую субботу
на телеканале **ОПЛОТ 2**
YouTube <https://goo.gl/d2kKr0>