

approach based on simulation modeling is appropriate in the general case [3]. Figure 3 shows the results of computational experiment for the conditions of "ЦГОК" quarry and crushing and handling complex "ДПП – 2000". Modelling of processes performed according to the scheme Fig.2, using the method of Δt in the interval $0 \div T$ which is sufficient to provide the desired accuracy.

Parameter optimization was the number of machines Q , which was ranged from 1 to 20. From the Figure 3 follows that $J_1(Q)$ is increasing, and $J_2(Q)$ is decreasing, and the dependence of the generalized criterion $J(Q)$ has an obviously expressed minimum, at the optimal value of $Q = 10$.

Conclusion

1. Optimizing crushing and handling complex by unit operating costs is a stochastic programming problem. Here the parameter of optimization is the number of working machines.

2. Formulated optimization problem can be solved by simulation modelling method.

3. The solution of the problem allows to obtain the benefits by reducing unit-operating costs.

Sources

1. Анистартов Ю.И. Технологические процессы открытых горных работ. – Москва:Недра – 1995г.
2. Ржевский В.В. Открытые горные работы, часть II. Технология и комплексная механизация. – Москва:Недра – 1985г.
3. Томашевский В.Н. Імітаційне моделювання систем та процесів. – Київ ІСДО, ВІПОЛ – 1994 р.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Слесарєвим В.В.
Надійшла до редакції 16.09.2014*

УДК 622.647.2

© С.В. Корнеев, В.П. Долгих

СТРУКТУРИРОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ «ГРУЗ – КОНВЕЙРНАЯ ЛЕНТА – РОЛИКООПОРЫ» В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ ANSYS WORKBENCH

Описывается процедура построения и структура компьютерной модели системы «груз – лента – роlikоопоры» в программном комплексе ANSYS. Приведен пример моделирования напряженно-деформированного состояния элементов системы.

Описується процедура побудови та структура комп'ютерної моделі системи «вантаж – стрічка – роликoопори» в програмному комплексі ANSYS. Наведено приклад моделювання напружено-деформованого стану елементів системи.

Procedure of construction and structure of computer model system «bulk – conveyer belt – rollers» in a programmatic complex ANSYS is described. It is an example of is resulted stress-strain state of the system elements.

В настоящее время в соответствии с основными положениями Энергетической стратегии Украины на период до 2030 года объем добычи угля планируется увеличить до 130 млн. т. в год. Это неизбежно приведет к возрастанию нагрузки на все участки горного производства, а также к необходимости разработки мероприятий по энергосбережению.

На подземный магистральный и участковый конвейерный транспорт приходится около 15,4 % общего по шахте расхода электроэнергии [1]. При этом важным фактором энергосбережения остается снижение сопротивлений движению ленты с грузом по конвейерному ставу.

Известно значительное число научных работ, в которых указываются основные причины возникновения сопротивления движению тягового органа (ТО): вдавливание роликов в обкладочную резину ленты, изгибные деформации ленты и груза при ее прохождении по конвейерному ставу и трение в подшипниках роликов.

Эти, преимущественно, экспериментальные исследования подготовили почву для разработки дифференциальных методов тягового расчета, основной идеей которых является расчет локальных сопротивлений движению на каждой роликоопоре, являющихся суммой отдельных сопротивлений, соответствующих каждому из приведенных выше источников. Такой подход предопределил следующий этап исследований каждого вида сопротивлений в отдельности и появление множества публикаций на эту тему. Например, в работе [2] на основе наследственной теории упругости рассматривается сопротивление от изгиба ленты с грузом при прохождении роликоопор. При этом лента представляется в виде изгибающейся в вертикальной плоскости цилиндрической пластины, касающейся роликов в одной точке.

В работе [3] при определении сопротивления, возникающего при вдавливании роликов в ленту, которая представляется в виде пластины с поверхностным слоем резины, используется модель стандартного линейного тела.

Теоретические исследования позволили выявить, по крайней мере, на качественном уровне, факторы, оказывающие наиболее существенное влияние на исследуемые сопротивления движению ленты с грузом. Полученные при этом сложные и громоздкие аналитические зависимости показателей напряженно-деформированного состояния (НДС) элементов системы «груз – лента – роликоопоры» (ГЛР) оказались малоприменимыми для практических целей.

В каждом случае исследовались некоторые предельные состояния НДС. Чрезмерная идеализация системы исключает возможность рассмотрения всего спектра НДС, возникающих в результате одновременного воздействия всех факторов.

Новые возможности исследования сложных НДС системы появились в связи с развитием компьютерных технологий, в частности, пакета программ ANSYS, основывающихся на методе конечных элементов (МКЭ) [4].

Известны исследования с применением ANSYS ленточных трубчатых конвейеров [5]. Хотя разработанные для них модели и результаты моделирования, в силу специфики конвейеров и принятых допущений относительно ленты

и груза, не могут быть в полной мере распространены на серийные шахтные ленточные конвейеры, тем не менее, полученный опыт демонстрирует широкие возможности ANSYS.

Очевидно, применение ANSYS позволит снять ряд ограничений и допущений, максимально приблизить модель системы ГЛР к реальному объекту, исследовать сложные НДС, не выделяя отдельные виды деформаций, и на этой основе разработать дифференциальную методику тягового расчета конвейера.

Постановка задачи. Целью настоящей работы является разработка процедуры построения и структуры компьютерной модели системы «груз – лента – роликоопоры» в программном комплексе ANSYS, позволяющей исследовать сложное напряженно-деформированное состояние ее элементов при установившемся движении конвейера.

Моделирование системы ГЛР, расчетная схема которой представлена на рис. 1, проводится поэтапно согласно структурной схеме, приведенной на рис. 2.

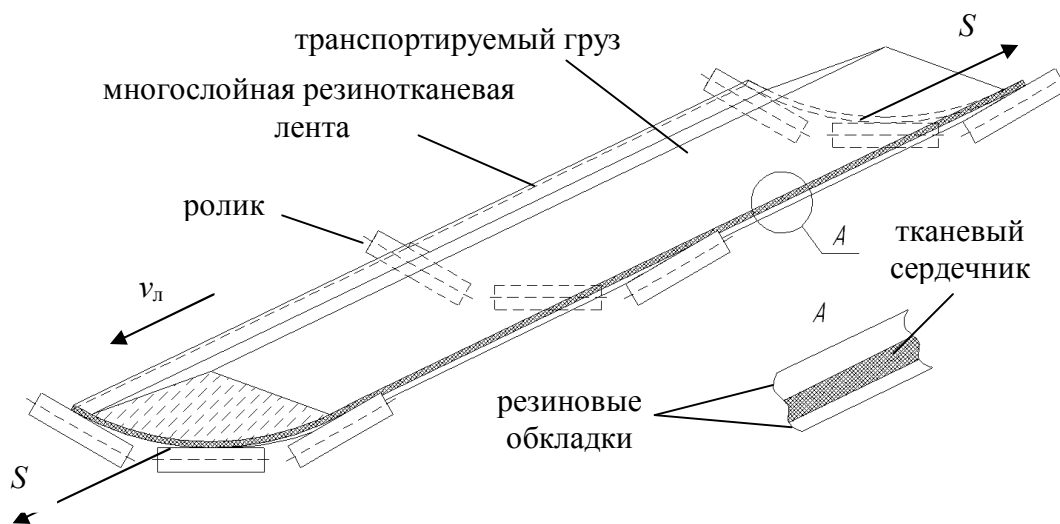


Рис. 1. Расчетная схема системы ГЛР

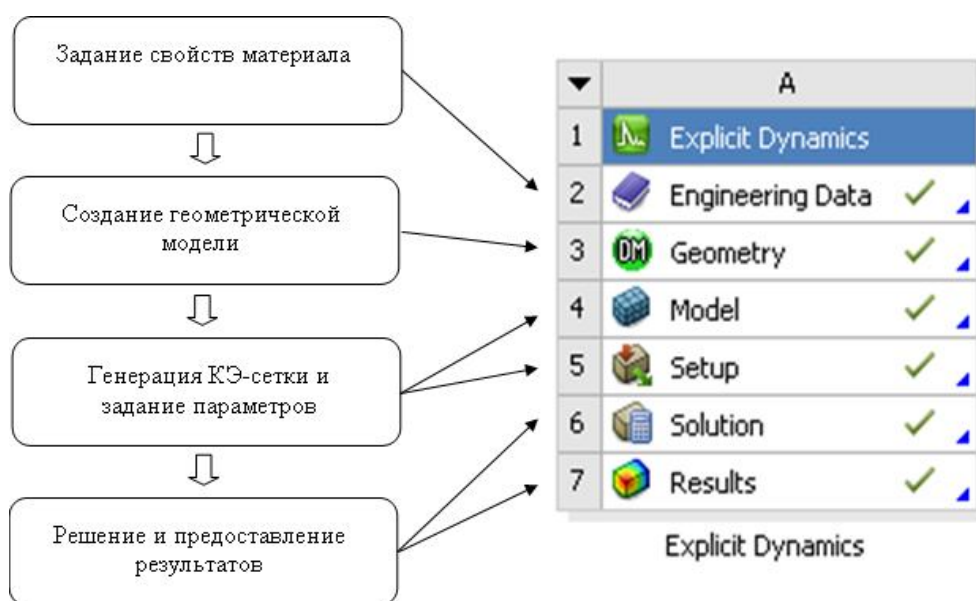


Рис. 2. Структурная схема моделирования в ANSYS Workbench

Вначале в блоке Engineering Data, исходя из физических представлений о природе структурных элементов системы ГЛР, из набора типовых моделей, описывающих те или иные материалы, выбираются наиболее подходящие, с параметрами, отражающими определенные физико-механические свойства реальных объектов. Для насыпного гранулированного груза (угля, породы) принимается модель Drucker-Prager, рекомендуемая для упруго-идеально-пластических материалов. Модель Drucker-Prager основывается на одноименном критерии текучести, согласно которому поверхность текучести представляет собой круговой конус с параметрами материала, подобранными таким образом, что эта поверхность является описанной вокруг шестигранника Мора-Кулона. Резиновые обкладки ленты представляются двухпараметрической моделью Mooney-Rivlin, которая обычно применяется для исследования гиперупругих материалов. Изотропный материал считается гиперупругим, если характеризуется функцией плотности энергии деформирования, которая является скалярной функцией тензора деформации или тензора перемещения. Производные функции по компонентам деформации определяют соответствующие компоненты напряжений. Модель идентифицируется так называемыми материальными коэффициентами C_{10} и C_{01} , определяемыми расчетным путем на основании экспериментальных зависимостей «нагрузка – деформация». Сердечник ленты представляется в виде ортотропной оболочки. Ролики рассматриваются как твердое упругое тело.

Этап построения трехмерной геометрической модели системы реализуется в модуле Design Modeler блок Geometry.

Далее, для реализации численного решения поставленных задач, на геометрическую модель наносится конечно-элементная сетка. Данная процедура осуществляется в модуле Mechanical блок Model. После получения сетки конечных элементов задаются параметры процесса движения ленты с грузом и внешние воздействия на систему. Контактная задача взаимодействия элементов в системе ГЛР решается с помощью метода штрафных функций.

На последнем этапе построения системы ГЛР задаются конструктивные, силовые и режимные параметры реального конвейера. Наконец, процесс моделирования завершается проведением спланированных компьютерных экспериментов с последующей обработкой и интерпретацией результатов.

В качестве примера рассматривается процесс моделирования системы (см. рис. 1), состоящей из трех трехроликовых опор, насыпного груза – угля и резиноканевой ленты 1000 EP-800/4-5+2, движущейся со скоростью $v_{л} = 2,5$ м/с. Диаметр роликов – 0,108 м, ширина ленты – 1 м; расстояние между роликосопами – 1,2 м. Вес груза на участке ленты – 3100 Н, натяжение ленты – 20 кН.

Параметрам модели груза присваиваются следующие значения: плотность $\rho = 1000$ кг/м³, модуль упругости $E = 3,2 \cdot 10^7$ Па, коэффициент Пуассона $\nu = 0,21$, модуль сдвига $G = 1,32 \cdot 10^7$ Па, объемный модуль $K = 1,83 \cdot 10^7$ Па. При моделировании сердечника ленты принимаются: $\rho = 1300$ кг/м³, модуль упругости по оси x $E_x = 8 \cdot 10^8$ Па, модули упругости по осям y и z $E_y = E_z = 3,2 \cdot 10^8$ Па, $\nu = 0,4$, модуль сдвига по оси x $G_x = 2,85 \cdot 10^8$ Па, модули сдвига по осям y и z $G_y =$

$G_z = 1,14 \cdot 10^8$ Па. Как установлено в работе [6], для модели резины типа 2М-1200-4-ТК-200-2-5-2 в ANSYS версии 14.0 $C_{10} = 0,66$ и $C_{01} = -0,32$ МПа.

Геометрическая модель и нанесенная на нее конечно-элементная сетка отражены на рисунках 3 и 4.

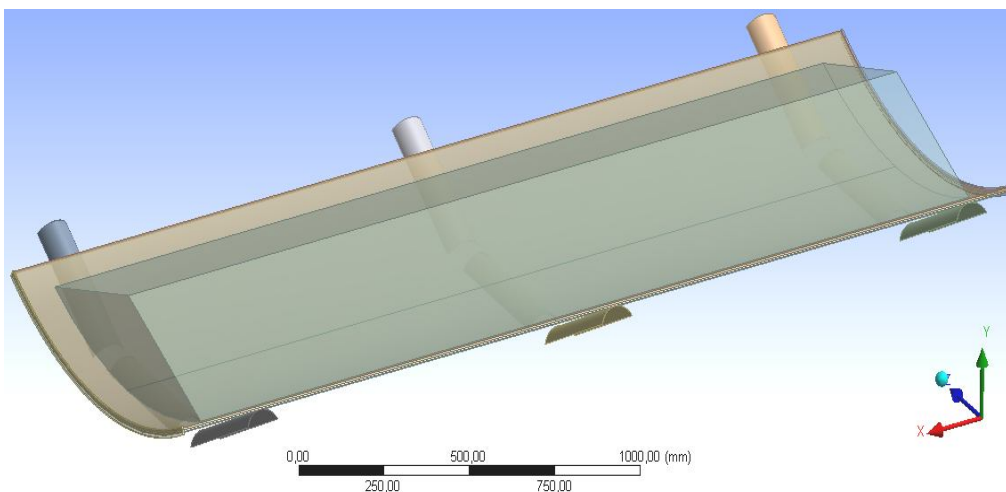


Рис. 3. Геометрическая модель системы ГЛР

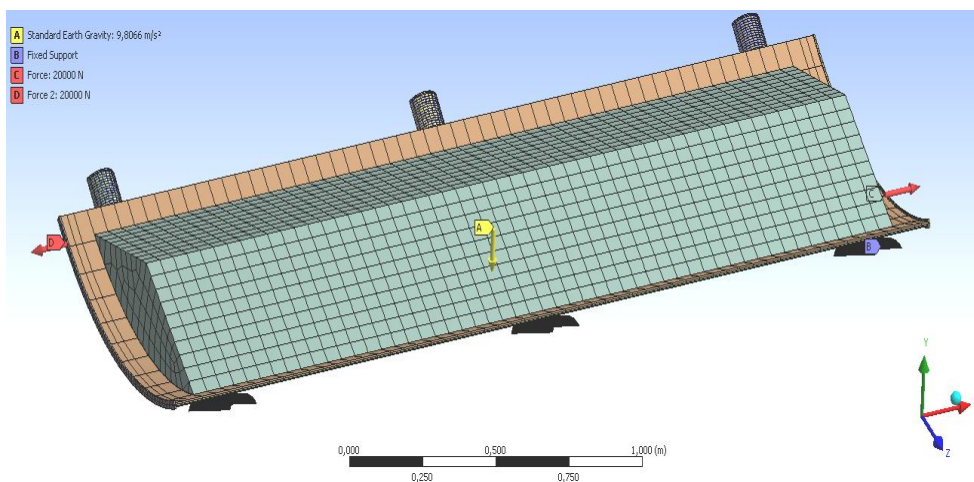


Рис. 4. Конечно-элементная сетка модели системы ГЛР

Результаты исследования НДС системы ГЛР представлены на рисунках 5–7.

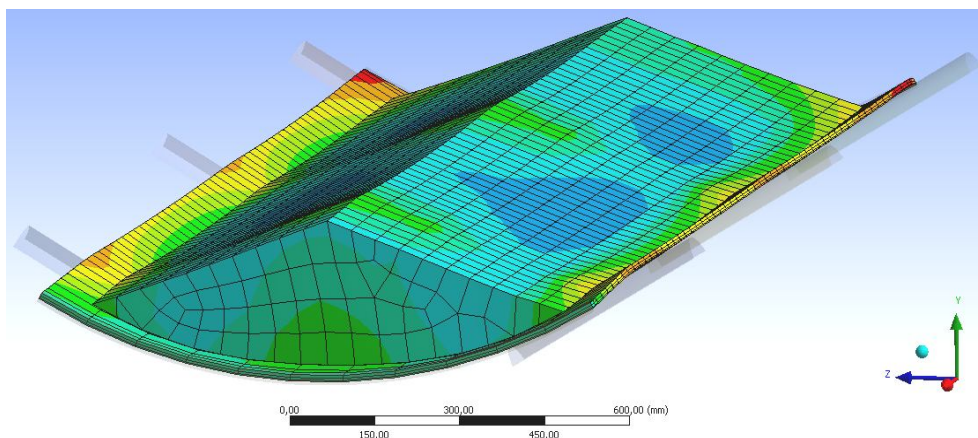


Рис. 5. Картина распределения деформаций в модели системы ГЛР

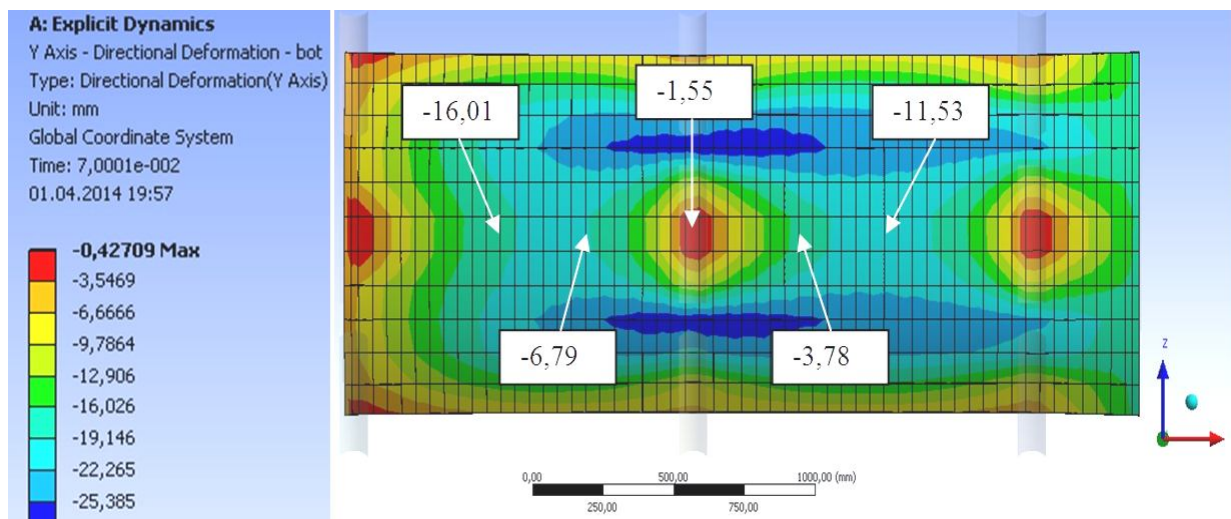


Рис. 6. Картина распределения деформаций в модели (вид снизу)

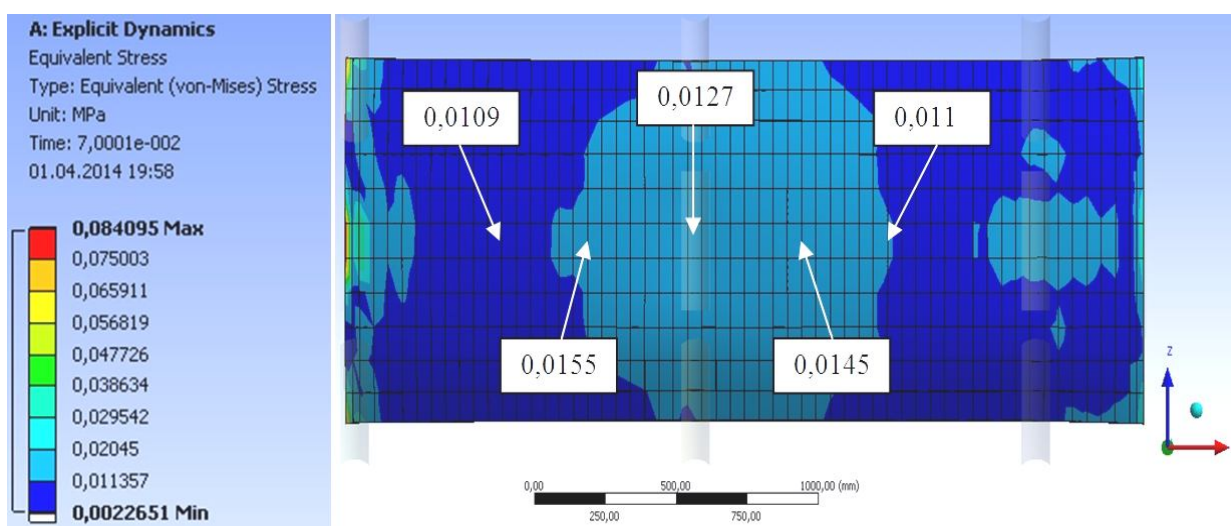


Рис. 7. Картина распределения эквивалентных напряжений в модели (вид снизу)

На рис. 6 отражено поле распределения деформаций, как на роликах, так и в пролете между роликоопорами. При этом максимальный провес ленты составляет 16 мм, а минимальная деформация ленты, которая наблюдается на среднем ролике, составляет 1,55 мм, что отражает реальную картину провисания при заданном натяжении. Если в теоретической работе [3] проекция области контакта ленты со средним роликом на горизонтальную плоскость представляется в виде эллипса, то проекция этой же области, полученная в результате моделирования, имеет более сложную форму. Между тем, в обоих случаях наблюдается смещение области контакта и зоны повышенных напряжений относительно ролика против хода ленты, что объясняется реологическими свойствами резины. Заметим, что согласно современным представлениям о контакте движущейся ленты с роликом, именно в результате такого смещения центра приложения сил образуется крутящий момент, препятствующий вращению роликов и поясняющий возникновение сопротивления движению ленты от вдавливания.

На рис. 7 показаны поля распределения расчетных эквивалентных напряжений в нижней обкладке ленты. Эквивалентные напряжения определяются типом напряженного состояния (значениями соответствующих ему главных напряжений) и критерием прочности. Полученные распределения деформаций, перемещений и напряжений также находятся в полном соответствии с положениями теории [7], согласно которой от середины пролета и до роlikоопоры по ходу ленты имеет место зона пассивного давления груза ($p_{\text{пас}} = 0,0155$ МПа), а сразу же за роlikоопорой – зона активного давления груза ($p_{\text{акт}} = 0,0145$ МПа). В пролетах между роlikоопорами наблюдается развал ленты и груза. Разница значений $p_{\text{пас}}$ и $p_{\text{акт}}$, отстоящих на одинаковом расстоянии от роlikоопоры (0,6 м), объясняется возникновением дополнительных распорных сил со стороны груза при его сжатии на пассивном участке, что также существенно влияет на изменение провеса ленты.

Выводы и направление дальнейших исследований. Итак, разработана процедура построения и структура компьютерной модели системы «груз – лента – роlikоопоры» в программном комплексе ANSYS. Модель позволяет исследовать систему комплексно при всем многообразии ее свойств и внешних воздействий, воссоздавая сложную картину напряженно-деформированного состояния ее элементов. Подтверждено соответствие результатов моделирования известным фактам и положениям теорий, описывающих отдельные, частные виды деформаций (вдавливание роликков в обкладочную резину ленты, изгиб ленты между роlikоопорами и т.д.).

Разработанная модель системы «груз – лента – роlikоопоры» создает предпосылки для всестороннего исследования напряженно-деформированного состояния ее элементов, создания дифференциальной методики тягового расчета и оптимизации конструктивных и режимных параметров, минимизирующих затраты энергии.

Список литературы

1. Пивняк Г.Г. Энергоэффективные технологии на угольных шахтах и в энергетике / Г.Г. Пивняк, В.Т. Зайка, Ю.Т. Разумный, А.В. Рухлов //Электрика. – 2010. – № 10. – С. 3 – 8.
2. Кирия Р.В. Определение коэффициента сопротивления движению ленты по роlikоопорам конвейера, обусловленного изгибом ленты / Р.В. Кирия, В.Ю. Максютенко, Т.Ф. Мищенко // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. / ИГТМ НАНУ. – Днепропетровск, 2012. – Вып. 106. – С. 140–146.
3. Lodewijks G. Energy Consumption of Pipe Belt Conveyors: Indentation Rolling Resistance / G. Lodewijks, M. Zamiralova // FME Transactions. – 2012. Vol. 40. – P. 171 – 176.
4. Бруяка В. А. Инженерный анализ в ANSYS Workbench: Учеб. пособ. / В. А. Бруяка, В. Г. Фокин, Е. А. Солдусова. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2010. – 271 с.
5. Дмитриев В.Г. Методика тягового расчета ленточного трубчатого конвейера / В.Г. Дмитриев, Н.В. Сергеева // ГИАБ. – М.: МГТУ, 2011. – № 7. – С. 218 – 228.
6. Корнеев С.В. Коэффициенты модели Муни-Ривлина в пакете программ ANSYS, полученные для обкладочной резины шахтных конвейерных лент / С.В. Корнеев, В.П. Долгих // Сб. научн. трудов ДонГТУ. ИПЦ «Ладо». – 2014. – Вып. 42. – С. 45 – 49.
7. Галкин В.И. Современная теория ленточных конвейеров горных предприятий / В.И. Галкин, В.Г. Дмитриев, В.П. Дьяченко и др. – М.: Изд-во МГТУ, 2005. – 543 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Самусею В.І.
Надійшла до редакції 23.10.2014*