

ДИНАМІКА ТА МІЦНІСТЬ МАШИН

УДК 539.3:629.3.027.52

Ларин А.А., канд. техн. наук; Арефин Ю.В.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ШИН В КОНТАКТЕ С ДОРОГОЙ С УЧЕТОМ НАЛИЧИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ДЕГРАДАЦИИ МАТЕРИАЛА

Введение. В процессе эксплуатации пневматической шины в материалах ее слоев и между слоями накапливаются микроповреждения. Этот процесс совместно с естественной деградацией материала, вызванной влиянием окружающей среды определяет постепенное снижение надежности эксплуатации пневматических шин. Ресурс шины легкового автомобиля, задается заводом производителем на основе анализа надежности в рамках имеющейся богатой статистики по шинам-аналогам. Вместе с тем ресурс каждой конкретной шины, конечно, является случайной величиной [1], так как определяется большим числом косвенных факторов. Среди которых наиболее существенными являются следующие [2]: несоблюдение величины давления воздуха в шине, неумелое или небрежное вождение автомобиля (регулярные наезды на препятствия или попадания в ямы), движение автомобиля на высоких скоростях, технические неисправности ходовой части автомобиля, загрязнение шин нефтепродуктами, проколы протектора шины, длительное хранение шин без эксплуатации.

Таким образом, эксплуатационные факторы способны существенно влиять на значения проектного ресурса, т.е. в зависимости от условий эксплуатации пневматические шины способны с большей скоростью вырабатывать свой ресурс. В этой связи важной научно-практической задачей становится вопрос формирования обоснованных рекомендаций на проведение процедур по оценке технического состояния шин. Анализ закономерностей формирования напряженно-деформированного состояния в пневматических шинах с учетом и без учета нелокализованной поврежденности разной природы является важным этапом разработки схемы технического диагностирования.

Постановка задачи. В данной работе рассматриваются особенности деформирования пневматических шин в контакте с дорогой при наличии не локализованных дефектов в структурных элементах шины, которые образовались в процессе эксплуатации. При этом рассмотрены случаи ослабления бортовой зоны, в результате накопления усталостной повреждаемости и ужесточение боковины шины в результате естественной деградации свойств материала.

Разработка математической модели. С целью исследования закономерностей деформирования шины при ее статическом обжатии о дорожное полотно и проведению сравнительного анализа влияния накопленных усталостных повреждений и деградации свойств резино-подобных материалов на процесс деформирования была разработана КЭ модель пневматической шины, диска и элемента дорожного полотна (рис. 1.). Модель шины учитывает ее многослойную структуру с различными свойствами (рис. 1,б) [3]. Дорожное покрытие моделировалось параллелепипедом небольшой толщины с ли-

нейным материалом, механические характеристики которого соответствовали материалу асфальтобетонного покрытия. С целью корректного приложения осевой нагрузки на обод шины, был смоделирован диск колеса (рис. 1, а). Действительно осевая нагрузка распределяется по ободу шины через ее контакт с твердым диском. В работе предполагалось, что диск и шина посажены герметично и жестко, т.е. без возможного взаимного изменения первоначального соединения. Такая гипотеза позволила не учитывать взаимодействие между шиной и диском как контактное, а считать их единым телом. В центр диска прикладывалась сила, моделирующая влияние автомобиля, передающееся через мост (осевая нагрузка).

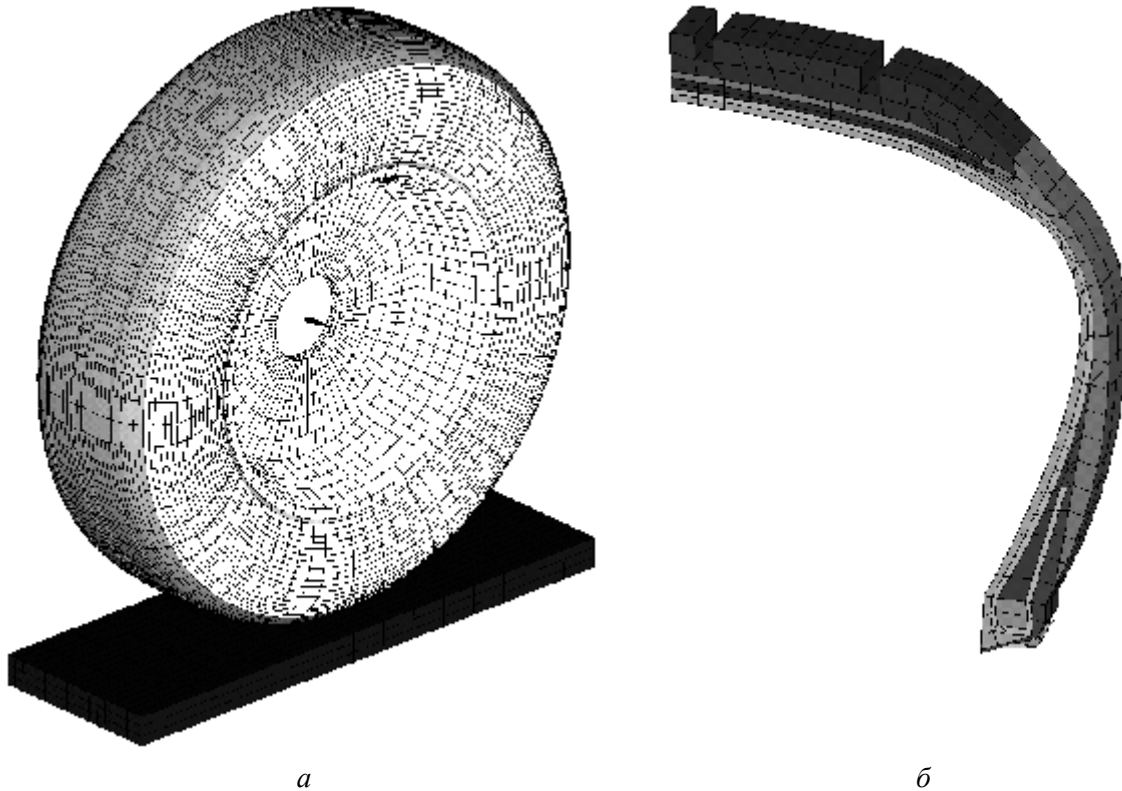


Рис. 1. КЭ модель колеса с диском

На номинальном эксплуатационном режиме в пневматической шине устанавливают внутреннее давление в диапазоне от 2 до 2,2 атм. (0,2–0,22 МПа), а осевая нагрузка, которая определяется весом автомобиля, находится в диапазоне от 3 до 4 кН (от 300 до 400 кгс веса приходящегося на 1 колесо). На рисунках 2, 3 приведены результаты расчета статического обжатия шины о дорожное полотно при осевой нагрузке соответствующей 3 кН и внутреннем давлении 0,2 МПа.

Результаты показывают неоднородный характер деформации боковины шины с появлением характерного «вздутия» боковины в районе близком к пятну контакта. Приведенные результаты хорошо согласовываются с наблюдаемыми на практике особенностями деформирования и результатами, полученными другими авторами [4].

Напряженное состояние шины находящейся в контакте с дорогой не имеет осевой симметрии. Так, в областях удаленных от пятна контакта, напряженное состояние определяется только воздействием внутреннего давления на шину. В области контакта напряженное состояние существенно отличается. Так, если деформацию от внутреннего давления воспринимает преимущественно каркас шины, то деформацию, вызванную обжатием шины о твердую поверхность, воспринимают слоя брекера. Поля распре-

лений эквивалентных напряжений в сечении шины находящемся по центру пятна контакта представлено на рис. 3.

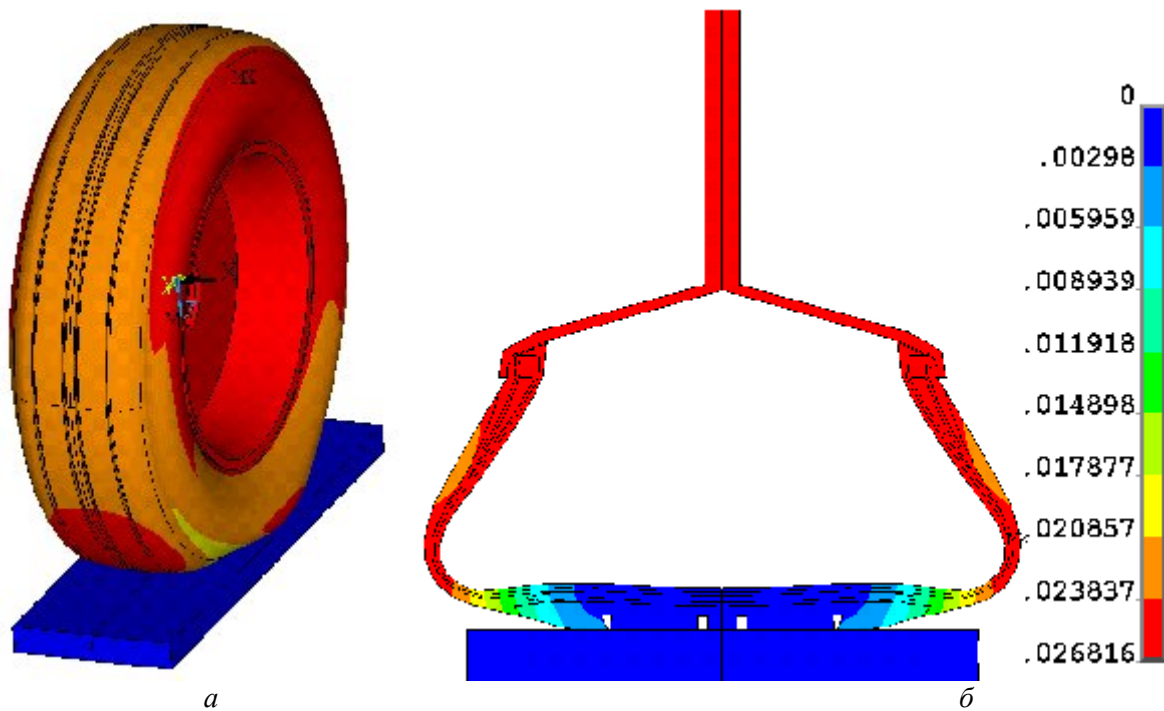


Рис. 2. Деформация шины при контактом взаимодействии с дорогой (а – общий вид, б – сечение по центру пятна контакта)

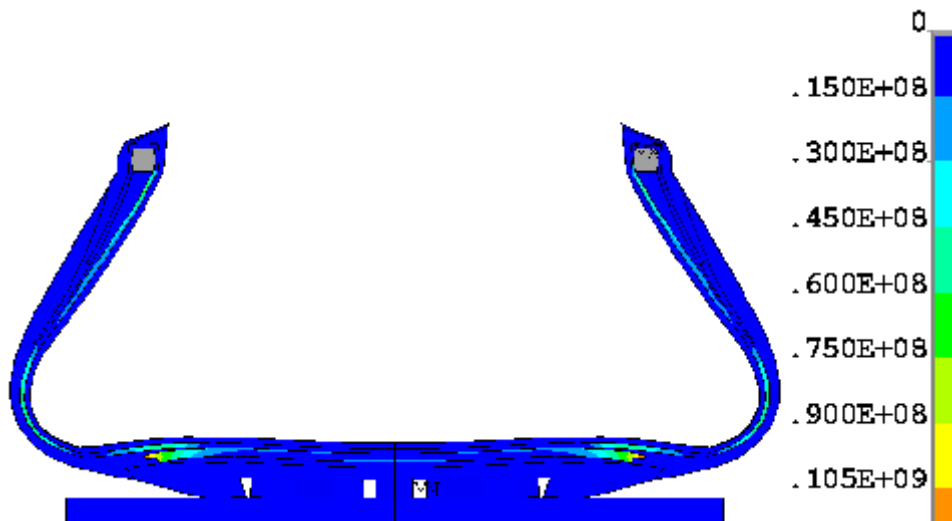


Рис. 3. Распределение эквивалентных напряжений по профилю шины при разных значениях осевой нагрузки (сечения по центру пятна контакта)

Исследование закономерностей деформирования шины в контакте с дорогой с учетом ослабления бортовой зоны в результате накопления повреждаемости. В результате динамических воздействий в шинах накапливаются микрповреждения, микротрещины, которые носят усталостную природу. При этом важно отметить, что процесс накопления усталостных микрповреждений связан с развитием в материале нелокализованной повреждаемости, которая не только приводит к зарождению усталостной трещины, но и снижает механические свойства материалов. Существующая статистика по усталостным отказам в шинах свидетельствует о том, что усталостные разрушения в основном наблюдаются в зоне борта и плечевой зоне [1,2]. Накопление по-

вреждаемости, до зарождения трещины в плечевой зоне не оказывает влияние на общую картину деформации шины при контактном взаимодействии с дорогой. В то время как ослабление боковины у зоны борта (уменьшение жесткости в результате накопления повреждаемости и микродефектов) способно существенно исказить характер деформации шины.

В данной работе был рассмотрен случай частичного повреждения корда бортовой ленты, что привело к снижению усредненных свойств этого конструктивного элемента почти шины в 2 раза. При этом все остальные элементы шины предполагались не поврежденными. Результаты расчетов напряженно-деформированного состояния шины в контакте с дорогой для этого случая (при номинальной нагрузке 300кгс и внутреннем давлении 2 атм.) приведены на рисунке 4. Как видно из рисунка, картина деформации шины существенно отличается от распределения перемещений в неповрежденной шине (рис. 2): благодаря ослаблению бортовой ленты боковина получила возможность сильнее отклоняться – шина как бы более «надута». Кроме того, существенно выросли радиальные перемещения – на 21%. Картина распределения напряжений в шине при этом меняется не значительно.

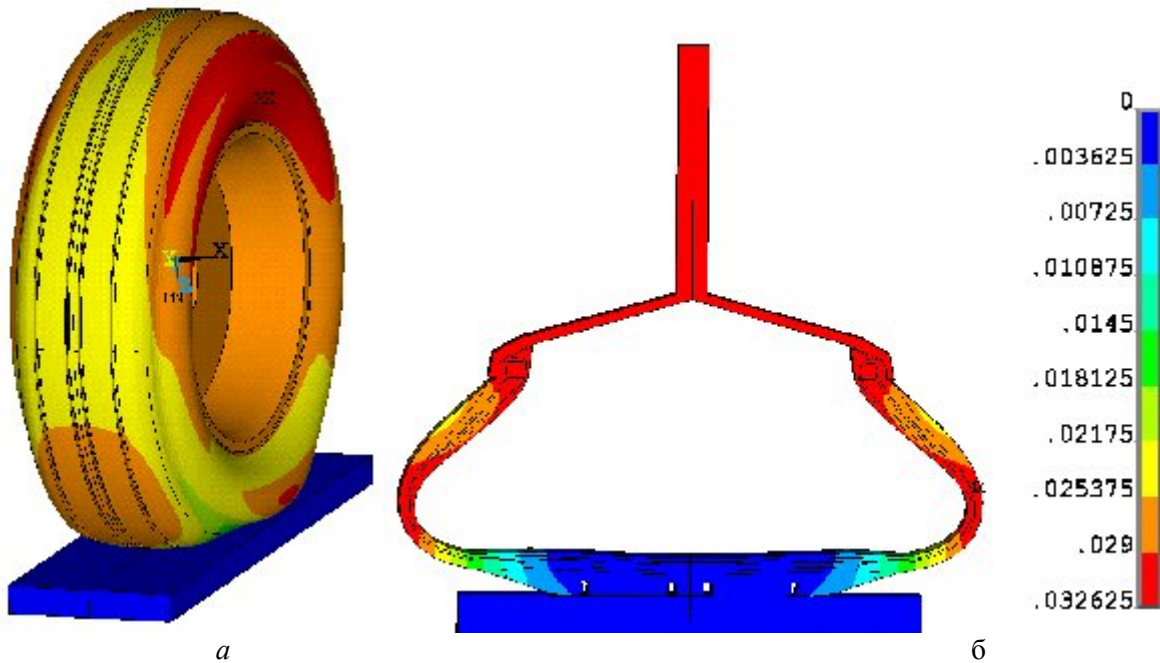


Рис. 4. Деформация шины с ослабленной повреждаемостью зоной борта при контакте с дорогой (а – общий вид, б – сечение по центру пятна контакта)

Исследование закономерностей деформирования шины в контакте с дорогой с учетом ужесточения протектора и боковины, вызванное деградацией свойств резины. Другим важным эксплуатационным фактором, влияющим на надежность и ресурс шины, является деградация свойств резины в результате ее взаимодействия с окружающей средой. Так, в работе [5] приведены результаты экспериментальных исследований по снижению прочностных и упругих характеристик шинных материалов, в результате длительного прямого взаимодействия с окружающей средой. В работе показано, что естественное старение резины приводит к уменьшению прочности резины боковины более чем в три раза за 4 года. При этом происходит ужесточение (уменьшение эластичности) материала, так что модуль упругости за 2 года повышается почти в 2 раза. На рис. 5 приведены характерные зависимости модуля упругости и предела прочности резины боковины шины от времени старения (задано в неделях). Результаты взяты из работы [5].

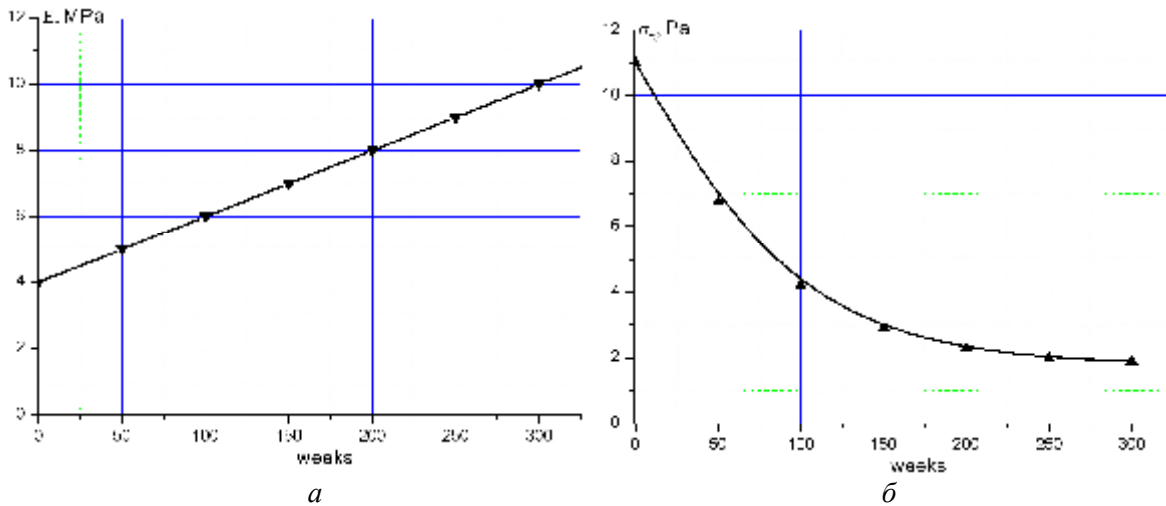


Рис. 5. Деградація свойств резины боковины шины во времени (*a* – изменение модуля упругости, *б* – изменение предела прочности)

В данной работе были проведены исследования влияние старения резины на напряженно-деформированное состояние шины в контакте с дорогой. Результаты расчетов шины с ужесточенным в 2 раза модулем упругости протектора и боковины шины приведены на рисунке 6.

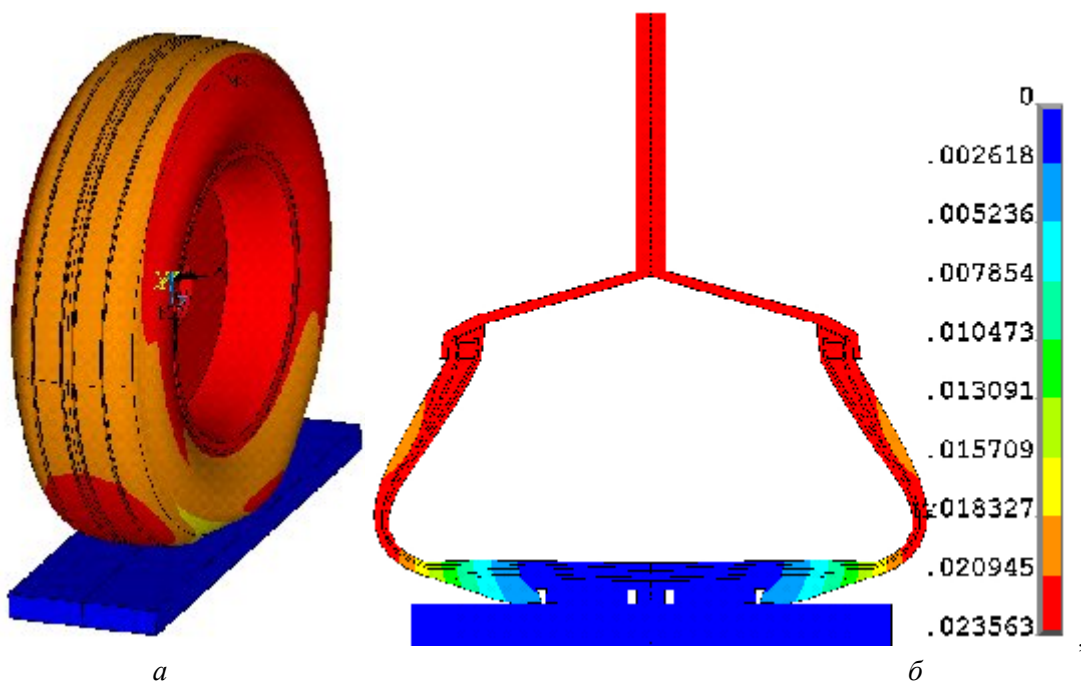


Рис. 6. Деформация шины с ужесточенной боковиной и протекторным слоем в результате деградации свойств резины (*a* – общий вид, *б* – сечение по центру пятна контакта)

Анализ результатов показывает, что деградація свойств резины на характер деформирования шины в контакте с дорогой существенного влияния не оказывает: распределение перемещений подобно тому, которое наблюдается в новой шине. Имеются лишь количественные отличия в радиальных перемещениях, которые в шине с ужесточенными свойствами на 12.3% меньше чем у исходной конструкции.

Выводы. Таким образом, в данной работе проведено исследование закономерности деформирования пневматических шин в контакте с дорогой с учетом эксплуатационных нелокализованных дефектов: усталостной повреждаемости и естественной деградацией резино-подобных материалов. При этом выявлено, что естественная деградация материалов приводит к ужесточению некоторых конструктивных элементов шины, но, вместе с тем, не меняет качественной картины распределения напряжений и перемещений в шине, а лишь несколько уменьшает суммарный радиальный прогиб (на 12%). Накопление же усталостной повреждаемости ослабляет бортовую зону, что существенно искажает картину деформирования и приводит к большим боковым перемещениям и, как следствие уменьшает радиальную жесткость, что приводит к существенному увеличению прогиба шины вплоть до 20%.

Литература: 1. Ларін О.М. Теоретичні основи оцінки працездатності шин легкового автомобіля в експлуатації: Дис... докт. техн. наук: 05.22.20. – Харків, 2001. –312с. 2. Ларін О. М. Статистичний аналіз відмов пневматичних шин легкових автомобілів / Ларін О. М., Субочев О. І., Арефін Ю. В // Вісник СНУ ім. Володимира Даля – 2010 – № 7 (149). – с. 1-4. 3. Ларин А.А. Компьютерное автоматизированное проектирование пневматических шин легковых автомобилей / А.А. Ларин, М.И. Лобас // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. - Х.: Нац. аэрокосм. ун-т "ХАИ", 2011. – Вып. 50, 2011, 68-74 с. 4. Коханенко В.Б. Розробка методів діагностики внутрішніх руйнувань автомобільних шин в умовах експлуатації. Дис... канд. техн. наук.-Харків, 2005.-216с. 5. Baldwin J.M. Rubber aging in tires. Part 1: Field results / John M. Baldwin, David R. Bauer, Kevin R. Ellwood // Polymer Degradation and Stability. № 92, 2007. – Pp. 104-109.

Bibliography (transliterated): 1. Larin O.M. Teoretichni osnovi ocinki pracezdatnosti shin legkovogo avtomobilja v ekspluatacij: Dis... dokt. tehn. nauk: 05.22.20. – Harkiv, 2001. –312s. 2. Larin O. M. Statistichnij analiz vidmov pnevmatichnih шин legkovih avtomobiliv / Larin O. M., Subochev O. I., Arefin Ju. V // Visnik SNU im. Volodimira Dalja – 2010 – № 7 (149). – s. 1-4. 3. Larin A.A. Komp'juternoe avtomatizirovannoe proektirovanie pnevmaticheskix шин legkovyx avtomobilej / A.A. Larin, M.I. Lobas // Otkrytye informacionnye i komp'juternye integrirovannye tehnologi: sb. nauch. tr. - H.: Nac. ajerokosm. un-t "HAI", 2011. – Vyp. 50, 2011, 68-74 s. 4. Kohanenko V.B. Rozrobka metodiv diagnostiki vnutrishnih rujnuvan' avtomobil'nih шин v umovah ekspluatacij. Dis... kand. tehn. nauk.-Harkiv, 2005.-216s. 5. Baldwin J.M. Rubber aging in tires. Part 1: Field results / John M. Baldwin, David R. Bauer, Kevin R. Ellwood // Polymer Degradation and Stability. – № 92, 2007. – Pp. 104-109.

Ларін О.О., Арефін Ю.В.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ДЕФОРМУВАННЯ ПНЕВМАТИЧНОЇ ШИНИ В КОНТАКТІ З ДОРОГОЮ З УРАХУВАННЯМ НАЯВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ ДЕГРАДАЦІЇ МАТЕРІАЛУ

В роботі розглядаються особливості деформування пневматичних шин в контакті з дорогою при наявності не локалізованих дефектів в структурних елементах шини, які утворилися під час експлуатації. При цьому розглянуті випадки ослаблення бортової зони, в наслідок накопичення пошкоджуваності втомити та збільшення жорсткості бічної частини шини в результаті природної деградації властивостей матеріалів.

Larin AA, Arefin Y.

INVESTIGATION OF REGULARITIES OF DEFORMATION PNEUMATIC TIRES IN CONTACT WITH THE ROAD TAKES INTO ACCOUNT AN AVAILABILITY OF OPERATIONAL MATERIAL DEGRADATION

The paper deals with the deformation characteristics of pneumatic tires in contact with the road with taking into account non-localized defects in structural elements tires, which have been formed in operation. Thus, the softening of the board zones and rigidity of the sidewall have been analysed. The board zone softening assumed to be caused by the accumulation of fatigue damage and the sidewall rigidity caused by the natural degradation of material properties.