

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ БУФЕРНЫХ УСТРОЙСТВ МОСТОВЫХ КРАНОВ

В металлургии применяются мостовые краны различного назначения, отличающиеся грузоподъемностью и энергосиловыми параметрами приводов.

Ряд кранов (например, литейных) относится к машинам повышенной опасности. Известны случаи разрушения ответственных узлов кранов и другого типа аварий, вплоть до падения ковша с расплавленным металлом [1]. Для таких кранов особенно важным является обеспечение надежной работы узлов, чтобы свести возможность поломок и аварий к минимуму.

Наибольшие динамические нагрузки в процессе эксплуатации кранов мостового типа возникают при их наездах на тупиковые упоры либо при взаимных столкновениях. Эти режимы, как правило, не предусмотрены в технологических процессах предприятий, носят случайный характер, однако оказывают существенное влияние на безопасность, надежность и долговечность работы кранов.

Известно, что отказы и разрушения машин, в том числе металлургических, связаны с перегрузками, а те, в свою очередь, с паразитными нагрузками, ограничить которые можно путем амортизации [2].

Примером паразитного нагружения могут быть: а) наезд мостового крана на упор; б) падение слитка на рольганг прокатного стана; в) удар раската о валки прокатного стана при захвате и т.д. Во всех этих случаях упругая система (упор крана, ролик рольганга, рабочая клеть прокатного стана) нагружается извне энергией соударения. Эта энергия превращается в упругую энергию деформации воспринимающей удар системы. В случае, когда упругая энергия системы меньше, чем энергия соударения, последняя будет поглощаться уже при пластических деформациях системы, т.е. при начавшемся разрушении, а если суммарная работа упругой и пластической деформации будет меньше энергии соударения, то произойдет окончательное разрушение наиболее слабого звена упругой системы (кранового упора, подшипника ролика, рабочего вала прокатного стана). Повысить энергоемкость упругой системы проще всего путем установки в эту систему энергоемкого элемента – амортизатора. Подобный амортизатор (гаситель энергии соударения) называется буфером [3].

В этом отношении подъемно-транспортные машины находятся в необычно тяжелом состоянии, которое объясняется не столько трудностями, связанными с созданием амортизаторов для мостовых кранов, сколько с запретами, действующими в рамках Гостехнадзора.

Применение амортизаторов почти для всех узлов и механизмов кранов запрещено. Исключением являются объекты согласно НПА ОП 0.00-1.03-02 «Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов» пункт, 4.11.25.

Согласно этим правилам, грузоподъемные краны с машинным приводом, передвигающиеся по рельсовому пути, их тележки, а также тали и однорельсовые тележки для смягчения возможного удара об упоры или друг о друга, должны быть оборудованы буферными устройствами [4]. В мостовых кранах буферные устройства используются для смягчения ударов и толчков при наезде крановых мостов и грузовых тележек на концевые упоры.

Основное назначение тупиковых упоров - обеспечить гашение остаточной скорости крана и предотвратить его сход с концевых участков кранового пути в аварийных ситуациях. На рельсовых путях, по обе стороны тележки и моста крана, устанавливаются тупики - упоры, а на тележке и мосту на одном уровне с ними - буферы, амортизирующие удар, если тележка или мост соприкоснутся с ними.

Повышение требований к надежности работы и обслуживанию перегружателей и кранов мостового типа в металлургии и других видах производства выдвигает

настоятельную необходимость улучшения методов защиты их при наезде тележек на концевые упоры, что требует серьезного внимания к вопросам расчета и конструирования буферных устройств, защищающих конструкции этих машин от значительных динамических воздействий. Учитывая высокую стоимость машин и их ремонта, необходимо совершенствовать типы и конструкции буферов, методы их расчета, в которых в настоящее время принимаются недостаточно обоснованные допущения. Они могут серьезно влиять на расчетные величины и безопасность эксплуатации мостовых перегружателей и кранов [5].

Буферы могут быть подвижными (устанавливаются на концевых балках кранового моста или на грузовой тележке), неподвижными (устанавливаются в концах крановых путей) и комбинированными (состоят из совокупности подвижных, установленных на кране, и неподвижных, установленных на крановом пути буферов). Они могут быть одно- и двустороннего действия. Первые устанавливают на концах крановых путей или на мосту крана, вторые - только на грузовых тележках. Упругие элементы буфера выполняют пружинными, пружинно-фрикционными и гидравлическими. Наибольшее применение на кранах получили пружинные буферы различных конструкций. При работе пружинных буферов практически вся кинетическая энергия движения переходит в потенциальную энергию упругости пружины, которая возвращается в виде резкой отдачи, вредно отражающейся на элементах конструкции крана. Пружинные буферы имеют сравнительно небольшую энергоемкость и значительную длину. Буферы, рассчитанные на большие нагрузки, собирают из нескольких параллельно работающих пружин, отчего конструкция буфера усложняется.

Практически без отдачи работают гидравлические буферы. Эти буферы компактны, обладают большой энергоемкостью. В гидравлических буферах кинетическая энергия расходуется на работу, связанную с продавливанием вязкой жидкости через калиброванное отверстие; эта энергия почти полностью переходит в теплоту. Однако применение таких буферов ограничено из-за сложности конструкции и необходимости в постоянном наблюдении.

Буферные устройства, которые используются в данный момент на мостовых кранах, не выдерживают тех требований, которые к ним предъявляются, и не могут в полной мере обеспечить необходимую надежность и безопасность при эксплуатации машин. Поэтому проблема создания более эффективных буферных устройств является актуальной.

Одним из основных параметров для буферного устройства мостовых кранов является количество энергии, которое способно поглотить устройство за один цикл нагружения. Поэтому было бы рационально обратить внимание при создании буферов для металлургических машин, в том числе мостовых кранов, на полиуретановые эластомеры. Они характеризуются высокой прочностью и сопротивлением раздиру, износостойкостью, энергоемкостью, устойчивостью к набуханию в различных маслах и растворителях, а также озono- и радиационностойкостью. Сочетание высокой эластичности с широким диапазоном твердости обеспечивает высокие эксплуатационные свойства изделий на основе полиуретанов.

В основном исследование эластомеров проводят на прочность при растяжении и на сопротивление раздиру. Эластомер также можно использовать не только при растяжении, но и при сжатии, что значительно увеличивает область применения этих материалов в металлургии и машиностроении для устройств, которые могут влиять на величину паразитных нагрузок. К таким устройствам относятся: буферные устройства, компенсаторы, демпферы, упругие муфты, компенсирующие муфты, валы и т.д. [5].

Одной из основных характеристик материала упругого элемента буферных устройств является удельная энергоемкость. Эта характеристика редко учитывается при выборе эластомеров, и исследования в этом направлении практически не проводятся, что является большим упущением, так как удельная энергоемкость эластOME-

ров сравнима с удельной энергоемкостью пружинных сталей. Среди эластомеров имеются материалы с большим внутренним трением, у которых рассеивание энергии за один цикл нагружения достигает 60% [2].

На основе этих материалов можно создать буферные устройства с очень малой отдачей, которые, могут заменить гидравлические устройства; в то же время, буферы на основе эластомеров будут отличаться простотой, надежностью и экономичностью.

Таким образом, создание буферных устройств в первую очередь связано с выбором материала для их упругих элементов. Основным требованием к материалу является высокая удельная энергоемкость (u), которая в основном обеспечивает требуемую энергоемкость буферного устройства (U).

Вторым важным требованием к материалу упругого элемента (УЭ) является большое внутреннее трение, которое способствует рассеянию энергии удара, переводя кинетическую энергию удара в тепло. Тем самым снижается отдача буферного устройства.

В качестве характеристики внутреннего трения удобно воспользоваться коэффициентом рассеивания энергии (Ψ).

По этим двум важнейшим параметрам были исследованы конструкционные эластомеры класса полиуретанов.

Для испытаний были выбраны полиуретаны типа adipren L - всего 5 марок: adipren L167, adipren TL533, adipren ShA 85, adipren ShA 95, смесь adipren L315 – 10% и adipren L167 – 90%. Образцы для испытаний имели размеры $d = 40$ мм.; $h = 40$ мм.

Образцы испытывали на машине МИ – 20УМ при скоростях нагружения 0,05 мм/мин и 60 мм/мин. и относительной деформации 20% обеспечивающих длительную работу упругого элемента.

Испытания проводились для определения: динамического модуля упругости (E_d), удельной энергоемкости (u), коэффициента рассеивания энергии (Ψ).

На рис.1 и рис.2 видно, что при увеличении скорости деформации жесткость всех материалов увеличивается, значения нагрузок при этом приведены в таблице 1.

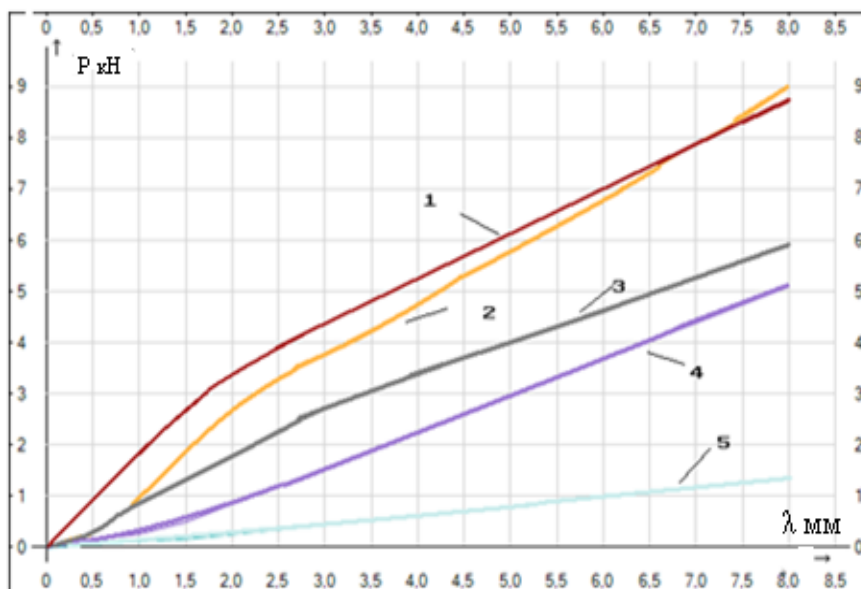


Рис. 1. Нагружение образцов со скоростью $V=0,05$ мм/мин:
1 - смесь adipren L315 – 10% и adipren L167 – 90%; 2 - adipren L167;
3 - adipren ShA 95; 4 - adipren ShA 85; 5 - adipren TL533.

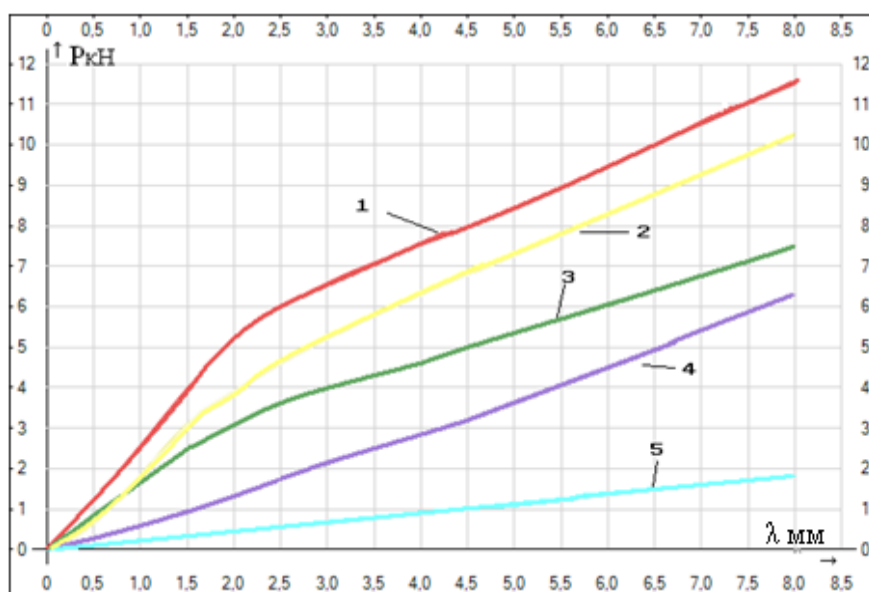


Рис. 2. Нагружение образцов со скоростью $V=60,00$ мм/мин:
 1 - смесь adipren L315 – 10% и adipren L167 – 90%; 2 - adipren L167;
 3 - adipren ShA 95 adipren; 4 - adipren ShA 85;5 - adipren TL533.

Таблица 1

Значения максимальной нагрузки при деформации 20% и различных скоростях деформации

V ^{мм/мин} материал	0,05мм/мин	60,00 мм/мин	Коэффициент упрочнения $\beta = \frac{P_{ст}}{P_{д}}$
	P _{ст} , кН	P _д , кН	
смесь adipren L315 – 10% и Adipren L167 – 90%	8,75	11,5	1,3
adipren L167	8,9	10,27	1,15
adipren ShA 95	5,9	7,5	1,2
adipren ShA 85	5,1	6,3	1,2
adipren TL533	1,34	1,83	1,4

Остаточная деформация исчезает в течении нескольких секунд, что для элемента буферного устройства является приемлемым.

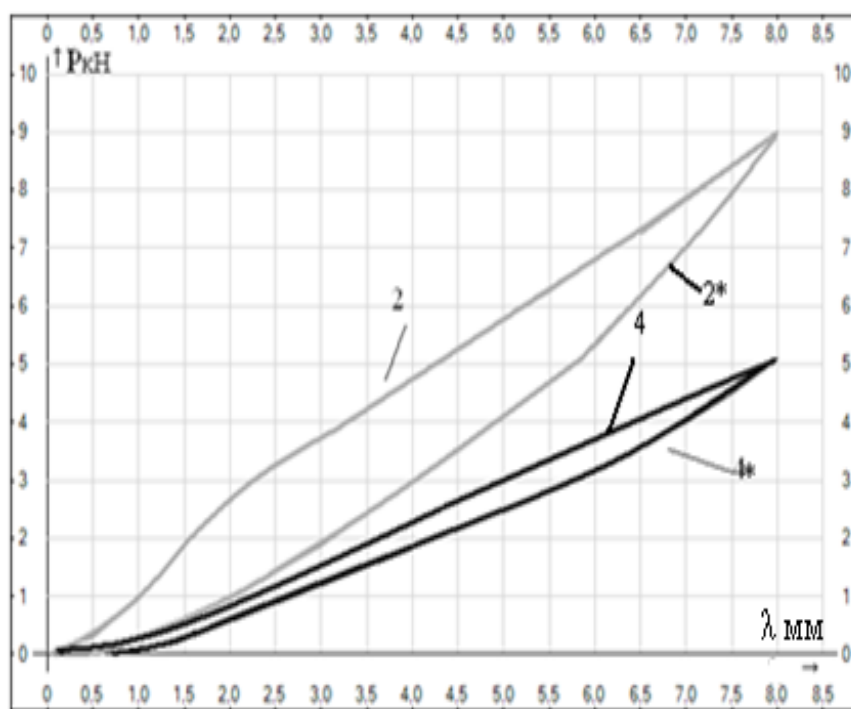
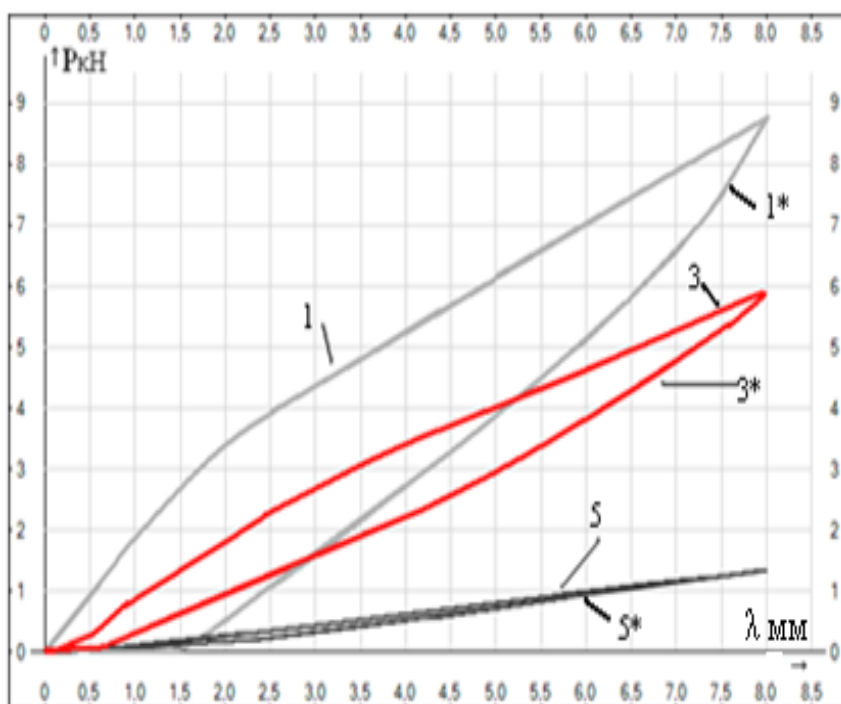


Рис. 3. Диаграммы сжатия образцов со скоростью $V=0,05$ мм/мин:
 1 - смесь adipren L315 – 10% и adipren L167 – 90%; 2 - adipren L167;
 3 - adipren ShA 95; 4 - adipren ShA 85; 5 - adipren TL533.

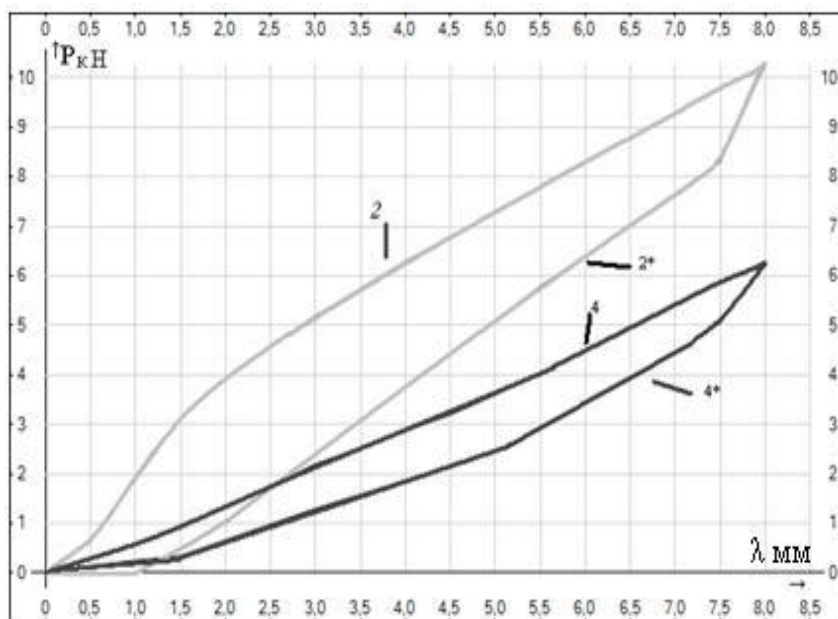
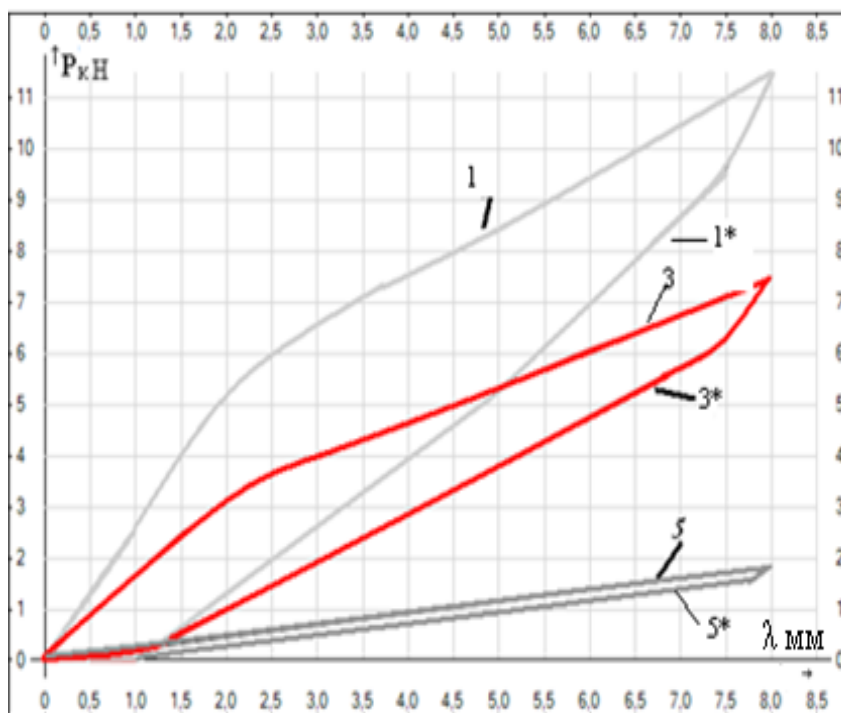


Рис. 4. Диаграммы сжатия образцов со скоростью $V=60,00$ мм/мин:
 1 - смесь adipren L315 – 10% и adipren L167 – 90%; 2 - adipren L167;
 3 - adipren ShA 95; 4 - adipren ShA 85; 5 - adipren TL533.

Для исследования внутреннего трения эластомеров при испытаниях определялась величина Ψ , % [5]:

$$\Psi = \frac{\int_0^{\lambda} P_{1д} d\lambda - \int_0^{\lambda} P_{2д} d\lambda}{\int_0^{\lambda} P_{1д} d\lambda}, \quad (1)$$

где: $P_{1д}$ – динамическая сила при нагрузке;
 $P_{2д}$ – динамическая сила при разгрузке.

Результаты исследования коэффициента рассеивания энергии внесены в таблицу 2. Наибольшее рассеивание энергии зафиксировано у образцов: смесь adipren L315 – 10% и adipren L167 – 90%, наименьшее – adipren TL533 – 18,1%.

Таблица 2

Значения коэффициента рассеивания энергии Ψ % при деформации 20% и различных скоростях деформации

Vмм/мин материал	0,05 мм/мин	60,00 мм/мин
смесь adipren L315 – 10% и adipren L167 – 90%	36,88	56,1
adipren L167	32,2	49,1
adipren ShA 95	28,5	43,4
adipren ShA 85	19,5	27,3
adipren TL533	10,6	18,1

Для этих же материалов найдено значение удельной энергоёмкости при фиксированной деформации $\epsilon_* = 0,2$ [2]

$$u = \alpha \cdot \epsilon^2 \cdot E, \quad (2)$$

где α – коэффициент, учитывающий качество напряженного состояния упругого элемента. В первом приближении можно принять $\alpha = 0,5$, что соответствует равномерному распределению напряжений в упругом элементе [5]. $E = E_d$, где E_d – динамический модуль материала.

$$E_d = E_{ст} \cdot \beta, \quad (3)$$

где:

$$E_{ст} = \frac{F_{0,2}}{F \cdot \epsilon} \quad (4)$$

Данные $E_{ст}$, E_d и удельной энергоёмкости (u) представлены в таблице 3.

Таблица 3

**Значения динамического модуля, статического модуля и удельной
энергоемкости образцов при деформации 20%.**

материал	$E_{ст}$, МПа	$E_{д}$, МПа	u , МПа
смесь adipren L315 – 10% и adipren L167 – 90%	58	75	1,5
adipren L167	59	68	1,36
adipren ShA 95	39	47	0,94
adipren ShA 85	34	41	0,82
adipren TL533	10	14	0,28

Предварительный выбор материала (полиуретана) для упругих элементов буферных устройств мостовых кранов может выполняться на основе анализа максимальной удельной энергоемкости (U) и максимального рассеяния энергии (Ψ).

При этом указанные характеристики должны соответствовать динамическому нагружению.

Окончательный выбор материала предполагает установить опытным путем максимально допустимую относительную деформацию (ε^*). Эта величина различна у разных эластомеров. Для более податливых эластомеров она может достигать величин $\varepsilon^* \approx 0,40$, для жестких полиуретанов $\varepsilon^* \approx 0,20$.

Следует отметить, что величина ε^* и введенная ранее величина ε_0 [2] являются по своей сути похожими величинами, но $\varepsilon^* > \varepsilon_0$.

Величина ε_0 представляет максимальную относительную деформацию, после снятия которой остаточная деформация отсутствует, а ε^* есть максимальная относительная деформация, при снятии которой остаточная деформация исчезает в течение нормированного времени. Эта характеристика должна определяться экспериментально.

ВЫВОДЫ

1. Исследования полиуретанов серии «adipren» показали, что наиболее подходящим по удельной энергоемкости следует считать материал; смесь adipren L315 – 10% и adipren L167 – 90% и adipren L167 ($u_1 = 1,5$ МПа $u_2 = 1,36$ МПа).
2. По демпфирующей способности эти материалы также имеют лучшие показатели ($\Psi_1 = 56,1\%$; $\Psi_2 = 49,1\%$)
3. Коэффициент ужесточения материала при динамическом нагружении для этих материалов достаточно высок и составляет соответственно $\beta_1 = 1,3$ и $\beta_2 = 1,15$.
4. На основании проведенных исследований для упругих элементов буферных устройств мостовых кранов можно рекомендовать полиуретаны «adipren» повышенной жесткости. Это смесь материалов adipren L315 и adipren L167. Соотношения этих компонентов могут уточняться после серии натурных испытаний буферных устройств.

Перечень ссылок

1. *Сулейманов М.К.* Стропальные и такелажные работы в строительстве и промышленности / *М.К. Сулейманов, Р.Р. Сабирьянов* - Издательский центр «Академия» - Москва, 2007.- С. 25 -27.
2. *Артюх В.Г.* Выбор эластомерных материалов для буферных устройств металлургических машин / *В.Г. Артюх* // Защита металлургических машин от поломок. / ПГТУ – Мариуполь, 2011. - Вип. 13. - С. 154-158.
3. *Артюх В.Г.* Нагрузки и перегрузки в металлургических машинах / *В.Г. Артюх.* – Мариуполь: ПГТУ, 2008 – 264 с.
4. Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов. Харьков, Форт – 2002 – С. 46.
5. *Джигкаев Т. С.* Основы динамики мостовых перегружателей, кранов и их защита от ударов при наезде тележек на упоры / *Т. С. Джигкаев* - Новочеркасск – 2001.
6. *Артюх Г.В.* Инженерные проблемы прочности металлургических машин / *Г.В. Артюх, В.Г. Артюх* // Захист металургійних машин від поломок/ ПДТУ. - Мариуполь, 2003. - Вип. 7. - С. 85-95.
7. *Артюх В.Г.* Особенности механических характеристик современных эластомеров /*В. Г. Артюх, С.Ю. Карлушин, Г.В. Самохвалов, Н.А. Савенко* // Захист металургійних машин від поломок / ПДТУ. - Мариуполь, 2006. - Вип. 9. - С. 131-136.

Рецензент: д.т.н., профессор Самотугин С.С.

Статья поступила 18.10.2013

