

УДК 621.874

Артюх В. Г., Артюх Г. В., Сорочан Е. Н., Гильченко В. Д.

## ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ БУФЕРНЫХ УСТРОЙСТВ МОСТОВЫХ КРАНОВ

Мостовые краны широко распространены в цехах машиностроительных и металлургических заводов. Масса этих кранов достигает сотен тонн, многие из них имеют сложные условия работы и повышенную опасность (особенно это относится к металлургическому производству).

У этих кранов движение моста и тележки ограничено габаритами пролета цеха, в котором установлен кран. Остановка движения тележки осуществляется как вручную, так и в автоматическом режиме, при этом отказы автоматики и наезды кранов и его тележки на концевые упоры встречаются редко. Однако эти редкие случаи приводят к очень тяжёлым авариям, иногда с падением кранов, разливом жидкого металла и человеческими жертвами.

Поэтому защите кранов от развития аварийных ситуаций должно быть уделено достаточное внимание [1].

Рассмотрим более подробно наезд крана или его тележки на препятствие. Такое воздействие является воздействием энергией. Под влиянием этого воздействия в упругой системе (крана или тележки) генерируется сила.

Эта сила не имеет отношения к технологической нагрузке, она представляет собой нагрузку паразитного типа [2].

Цель работы – создание простого и надежного буферного устройства противоаварийного типа.

В зависимости от энергии столкновения и жесткости нагружаемых упругих систем, в последних возникают динамические нагрузки определённого уровня, причем этот уровень может быть различным, вплоть до разрушающего.

Максимальную энергию столкновения крана (тележки) с неподвижным упором можно довольно точно оценить, исходя из известной массы крана и скорости столкновения. Эту скорость можно считать следствием полного отказа, как автоматики, так и ручного управления. Такой случай маловероятен, и в то же время чрезвычайно опасен.

Реальную опасность этого варианта можно оценить, рассчитав кран на жесткость и прочность при схеме нагружения, соответствующей наезду на неподвижное препятствие (упоры).

При отсутствии специальных амортизационных устройств, установленных на мостах кранов или их тележках, силовая характеристика имеет повышенную жесткость, при этом генерируемая сила будет превышать допустимую [4].

Последствием такого нагружения может быть, в лучшем случае, пластическая деформация элементов моста или тележки.

В этом случае на кране должны быть установлены амортизаторы. Место их установки – неподвижные упоры или соответствующие им места крана.

Тип устанавливаемых амортизаторов – буферные устройства, которые объединяют в себе два простых типа амортизаторов – энергоаккумуляторы и демпферы [5].

Основы теории амортизации машин от динамических ударных нагрузок, возникающих при соударениях упругих систем, достаточно подробно изложены в работах [1, 2], относящихся к амортизации металлургических машин. В них рекомендована классификация амортизаторов, принципы выбора их рабочих (энергосиловых) характеристик. Кроме того, частично рассмотрены вопросы конструктивного устройства амортизаторов, включая такие амортиза-

торы, как буферные устройства. В то же время, ряд вопросов, таких как выбор типа рабочей характеристики и механических характеристик материалов буферных устройств, рассмотрены недостаточно глубоко. Эти вопросы зависят от многих параметров нагружения, важнейшие из которых уже упоминались. Это энергия соударения и жесткость соударяемых рабочих систем.

Эти параметры закладываются в конструкцию требуемого буферного устройства.

Для буферных устройств различных машин при одних и тех же требуемых и реализуемых характеристиках можно предложить несколько конструктивных решений, отличающихся материалами, размерами, ценой, стабильностью характеристик и т. д.

Так, например, в качестве энергоемких упругих элементов могут использоваться пружинные стали или эластомеры, для демпфирующих элементов – материалы с большим внутренним трением или материалы с большой работой пластической деформации.

Большинство буферных устройств, разработанных для защиты машин от аварийных перегрузок, рассчитаны на длительный период эксплуатации, поэтому их основные энергоемкие элементы должны выдержать многократные перегрузки.

Это ограничивает выбор материалов для энергоемких элементов таким, которые, обладая требуемой энергоемкостью для поглощения энергии удара, одновременно обеспечивают достаточную выносливость и стабильность характеристик.

Что касается упругих и диссипативных свойств материалов, то желательно для упругих элементов выбрать материал не только с большой энергоемкостью, но и с достаточно большим внутренним трением.

В этом случае в качестве энергоемких элементов лучше взять эластомерные (например, полиуретановые) элементы, чем стальные пружины. Последние практически не рассеивают энергию и имеют большую отдачу при срабатывании.

Полиуретановые эластомеры обладают большим внутренним трением, некоторые из них за один цикл нагружения переводят в тепло до  $50 \div 60$  % поглощаемой энергии. Амортизаторы, изготовленные из таких материалов, просты по устройству, могут обходиться без элементов внутреннего трения. К тому же, благодаря высокой удельной энергоемкости, они имеют меньшие размеры и массу в сравнении с пружинными амортизаторами.

Недостатки этих амортизаторов – высокая цена и малая стабильность свойств, которая присуща всем полимерным материалам.

Стальные пружины обладают более стабильными свойствами, но наличие в амортизаторах фрикционных элементов внешнего трения значительно усложняет конструкцию такого амортизатора и увеличивает разброс его характеристик.

Имеется еще одна возможность создания простого и надёжного буферного устройства противоаварийного типа. Такое устройство содержит сменный энергоемкий элемент, рассчитанный на одно срабатывание.

Выше отмечалось, что аварийные ситуации на мостовых кранах, связанные с отказами автоматики и ударами в концевые упоры, возникают редко, поэтому вполне логично применить здесь буферные устройства сменного типа.

Для большинства материалов (исключение составляют только хрупкие материалы) работа разрушения значительно больше, чем энергия упругой деформации. Так, например, для малоуглеродистых сталей это соотношение составляет два порядка. Такое свойство материала может быть эффективно использовано для применения в буферных устройствах. Для крановых буферных устройств возможно применение сменных энергоемких элементов, изготовленных из малоуглеродистых сталей и пластически деформирующихся при аварийных ситуациях.

Анализ конструкций, предлагаемых для металлургических и транспортных машин, позволяет выделить два типа устройств, которые могут быть опробованы на мостовых кранах. Это противоаварийные буферные устройства [6, 7].

В первом из них энергозатратный процесс представляет собой срезание ребер многозаходной спирали, выполненной на сменном элементе, изготовленном из малоуглеродистой стали.

Модель такого устройства была изготовлена и испытана в лаборатории кафедры «Сопротивление материалов» ГВУЗ «ПГТУ». Испытания проводились при сжатии втулок со спиральной многозаходной резьбой на расходуемом элементе [8].

Результаты этих испытаний подтвердили энергоемкость процесса среза, достаточную для поглощения энергии удара при аварийной ситуации. Однако сила среза, которая является нагружающим фактором для крана, при его соударении, не отличается стабильностью.

На рис. 1 представлена рабочая характеристика модели противоаварийного буферного устройства со срезным элементом, полученная при испытаниях на гидравлическом прессе ПР-500. Колебания силы по отношению к его максимальному значению достигают 50 %. Следствием этого могут быть опасные колебания моста или тележки крана.

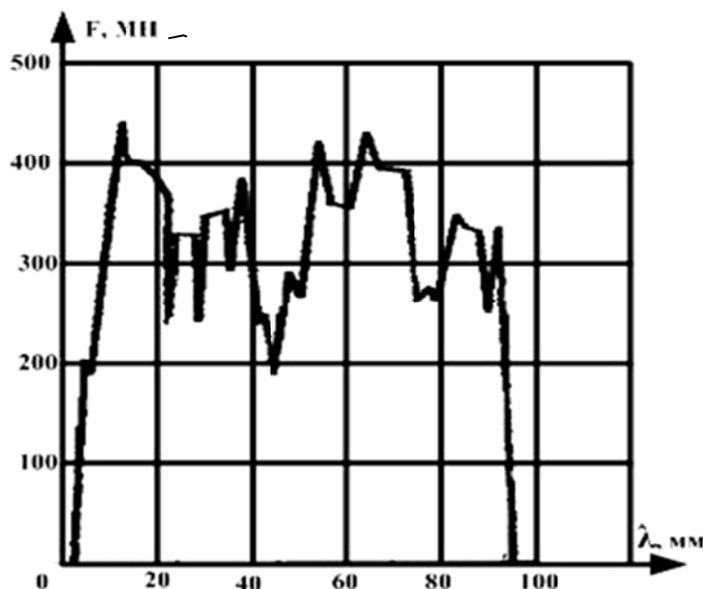


Рис. 1. Рабочая характеристика буфера с элементом среза

Во втором устройстве в качестве энергозатратного процесса реализуется пластическая деформация сменного элемента, изготовленного из малоуглеродистой стали. Подобные модели и макеты натуральной величины также были испытаны в лабораторных условиях на прессе ПР-500.

Характерной особенностью для этих устройств является устойчивость процесса пластической деформации. Колебания силы практически отсутствуют. Требуемую величину силы срабатывания можно легко регулировать размерами и формой сменного элемента.

Наиболее простой по конструктивной реализации является схема одноосного сжатия, однако такая схема приводит к жесткой характеристике, то есть к повышенным значениям силы удара.

При испытании сменного элемента в виде цилиндрической втулки с наружными и внутренними кольцевыми проточками можно легко регулировать параметры рабочей характеристики сменного элемента, не меняя его габаритных размеров.

При действии на втулку ударной сжимающей нагрузки в её ослабленных проточками сечениях появляются напряжения, превышающие предел текучести материала. При этом на месте проточек появляются гофры, и её длина уменьшается, сила сжатия плавно возрастает, длина втулки уменьшается. На рис. 2 показана форма сменного элемента в виде трубы с кольцевыми проточками, в исходном состоянии (до нагружения); на рис. 3 – тот же сменный элемент после срабатывания и на рис. 4 рабочая характеристика этого элемента при сжатии.

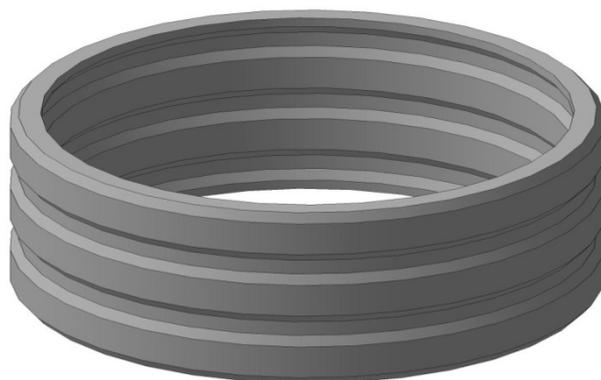


Рис. 2. Пластически деформируемый элемент (исходное состояние)



Рис. 3. Пластически деформируемый элемент после срабатывания

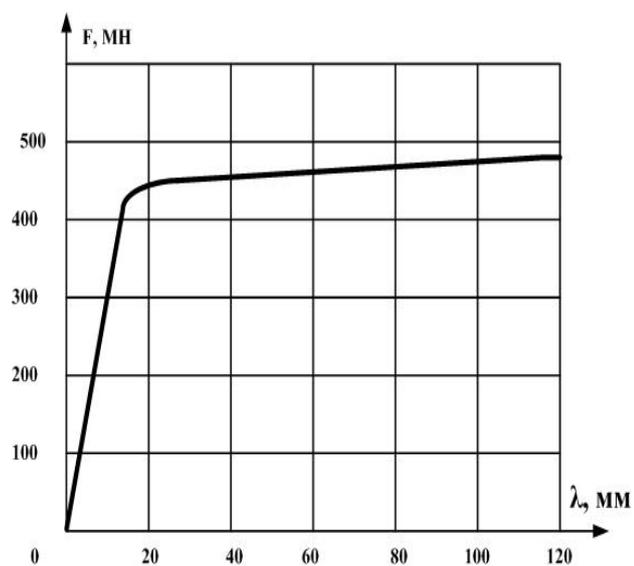


Рис. 4. Рабочая характеристика буфера с пластически деформируемым сменным элементом

Эта характеристика отвечает всем требованиям, предъявленным к противоаварийным устройствам:

1. На предлагаемом элементе могут быть получены требуемые параметры силы, деформации и энергоемкости. Эти параметры можно регулировать без изменения габаритов элемента.

2. Достигнутые параметры консервативны. Они практически остаются неизменными во времени (при условии защиты сменного элемента от коррозии).

3. Противоаварийные устройства на основе пластически деформируемых сменных элементов получаются простыми и экономными; не требуют ухода и проверки готовности.

Для полной защиты мостовых кранов от повреждений и перегрузок желательно в их буферных устройствах совместить две функционально различные части:

- описанную выше часть, содержащую сменный элемент однократного действия;
- дополнительное буферное устройство многократного действия (например, на основе упруго деформируемого эластомерного элемента), рассчитанного на срабатывание не при отказе автоматики, а при малых отклонениях параметров торможения, т. е. при столкновениях при малых скоростях.

### ВЫВОДЫ

1. Для защиты мостовых кранов от аварийных столкновений они должны быть оборудованы противоаварийными буферными устройствами.

2. Желательно, чтобы буферы имели два блока – многократного действия и однократного действия при аварийных ситуациях.

3. Противоаварийный блок желательно оборудовать пластически деформируемым сменным элементом из малоуглеродистой стали.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Артюх Г. В. Амортизация нагрузок в металлургических машинах / Г. В. Артюх // Защита металлургических машин от поломок. – Мариуполь, 1999. – Вып. 4. – С. 160–165.
2. Артюх В. Г. Нагрузки и перегрузки в металлургических машинах / В. Г. Артюх. – Мариуполь : ПГТУ, 2008. – 246 с.
3. Артюх Г. В. Функциональная прочность машин / Г. В. Артюх, В. Г. Артюх // Защита металлургических машин от поломок. – Мариуполь, 2005. – Вып. 8. – С. 61–66.
4. Артюх Г. В. Инженерные проблемы прочности металлургических машин / Г. В. Артюх, В. Г. Артюх // Защита металлургических машин от поломок – Мариуполь, 2003. – Вып. – С. 85–95.
5. Артюх Г. В. Уменьшение вредных нагрузок в металлургических машинах / Г. В. Артюх // Теория и практика металлургии – Мариуполь, 2002. – № 5–6. – С. 48–57.
6. А. с. 662396 СССР МКИ В61G 11/16. Противоаварийное буферное устройство / Г. В. Артюх, В. А. Любов (СССР). – № 2545794/27-11; заявл. 18.11.77; опубл. 15.05.79; Бюл. № 18.
7. А. с. 867746 СССР МКИ В61G 11/16. Противоаварийное буферное устройство / Г. В. Артюх, В. А. Любов, И. Г. Фурса, А. П. Жуковец, В. В. Сушев, М. В. Бондарев (СССР). – 2536684/27-1; заявл. 25.10.77; опубл. 30.09.81; Бюл. № 36.
8. Артюх В. Г. Точность предохранителей для металлургических машин / В. Г. Артюх – Мариуполь : ПГТУ, 2000. – 177 с.