

Г. И. БОГОМАЗ, В. С. ГУДРАМОВИЧ, М. Б. СОБОЛЕВСКАЯ, С. А. СИРОТА,  
И. К. ХРУЩ, Д. В. ГОРОБЕЦ (ИТМ НАУ и НКАУ)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДЕФОРМИРОВАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ КОРОБЧАТОГО ТИПА ПРИ ДЕЙСТВИИ СЖИМАЮЩИХ НАГРУЗОК

Приведено результати експериментальних досліджень характеру деформування конструкцій у вигляді усіченої піраміди з додатковими ребрами жорсткості, розташованими по периметрах її поперечних перерізів, при стискальних навантаженнях. Визначено вплив ребер жорсткості на організацію цілеспрямованого процесу зминання конструкцій з метою підвищення їх енергопоглинаючих властивостей.

Приведены результаты экспериментальных исследований характера деформирования конструкций в виде усеченной пирамиды с дополнительными ребрами жесткости, расположенными по периметрам ее поперечных сечений, при сжимающих нагрузках. Определено влияние ребер жесткости на организацию целенаправленного процесса смятия конструкций с целью повышения их энергопоглощающих свойств.

The results of experimental researches of deformation character of construction as truncated pyramid with additional stiffening plate at compressing loadings are given. Stiffening plate influence on organization of the purposeful construction crush process with the purpose of their energy absorption properties increase is determined.

В настоящее время вопросы разработки и создания средств пассивной защиты железнодорожного подвижного состава от аварийных ударных воздействий приобретают все большее значение и актуальность для Украины. В мировой практике для защиты экипажей от сверхнормативных сжимающих нагрузок используются специальные элементы (коробчатые или сотовые конструкции; сминаемые полые профили из гофрированных металлических листов; продавливаемые трубчатые структуры, стержневые перфорированные конструкции и др.), предназначенные для поглощения кинетической энергии аварийного удара за счет их целенаправленного пластического деформирования и разрушения.

В данной статье рассмотрены особенности деформирования при сжатии конструкций коробчатого типа, представляющих собой усеченную пирамиду с квадратными основаниями, имеющую дополнительные ребра жесткости, которые расположены по периметрам ее поперечных сечений, перпендикулярных ее высоте. Ребра жесткости предназначены для организации управляемого процесса последовательного смятия конструкции при сжатии.

В ИТМ НАУ и НКАУ разработаны методика и программа исследовательских испытаний указанных конструкций на сжатие [1]. В лаборатории механических испытаний отдела динамики, прочности и технологии изготовления конструкций ИТМ НАУ и НКАУ проведены экспериментальные исследования дефор-

мирования рассматриваемых конструкций до полного их сплющивания. Цель испытаний – исследование упругопластического деформирования и потери устойчивости конструкций коробчатого типа при сжимающей нагрузке, равномерно распределенной по нижнему большому основанию усеченной пирамиды. При пошаговом нагружении фиксировались значения нагрузки и соответствующие им значения продольных перемещений нижнего основания конструкции, т. е. нижней подвижной траверсы пресса относительно верхней неподвижной опоры. При этом использовался метод непосредственной оценки, т. е. перемещения определялись по шкале регистрирующего устройства, а усилия – по шкале силоизмерителя пресса ZD-10 с допустимой нагрузкой 100 кН. Для каждого испытываемого образца строилась диаграмма деформирования, т. е. зависимость величины сжимающей нагрузки от значений его продольного перемещения. По результатам испытаний оценивались величины критических сил, при которых происходит потеря устойчивости элементов конструкции, их пластическое деформирование, а также полное смятие испытываемого образца.

Проведены экспериментальные исследования на сжатие конструкции (модель 1 на рис. 1, а) с такими параметрами: высота усеченной пирамиды – 470 мм, длина стороны нижнего основания – 480 мм, верхнего – 230 мм, толщина боковых стенок – 1 мм, основания – 2 мм. Боковые грани пирамиды соеди-

нялись с нахлестом точечной сваркой, а к ребрам пирамиды приваривались уголки, изготовленные из полосы толщиной 1 мм с шириной полки 20 мм. Для организации управляемого процесса образования складок при сжатии на высоте 235 мм от нижнего основания по периметру поперечного сечения приварены дополнительные ребра жесткости в виде внешних пластинок шириной 12,5 мм и толщиной 1 мм. Данная тонкостенная конструкция в жестком каркасе изготовлена из стали марки Ст3.

На рис. 1 приведены результаты ее испытаний на сжатие: а) исходное состояние; б) состояние при потере устойчивости верхней части; в) состояние при складывании верхней части; г) состояние при потере устойчивости нижней части; д) состояние при полном сплющивании конструкции; е) состояние после окончания эксперимента с демонстрацией отсутствия разрывов в соединениях боковых граней усеченной пирамиды. На рис. 2 показана полученная диаграмма ее деформирования.

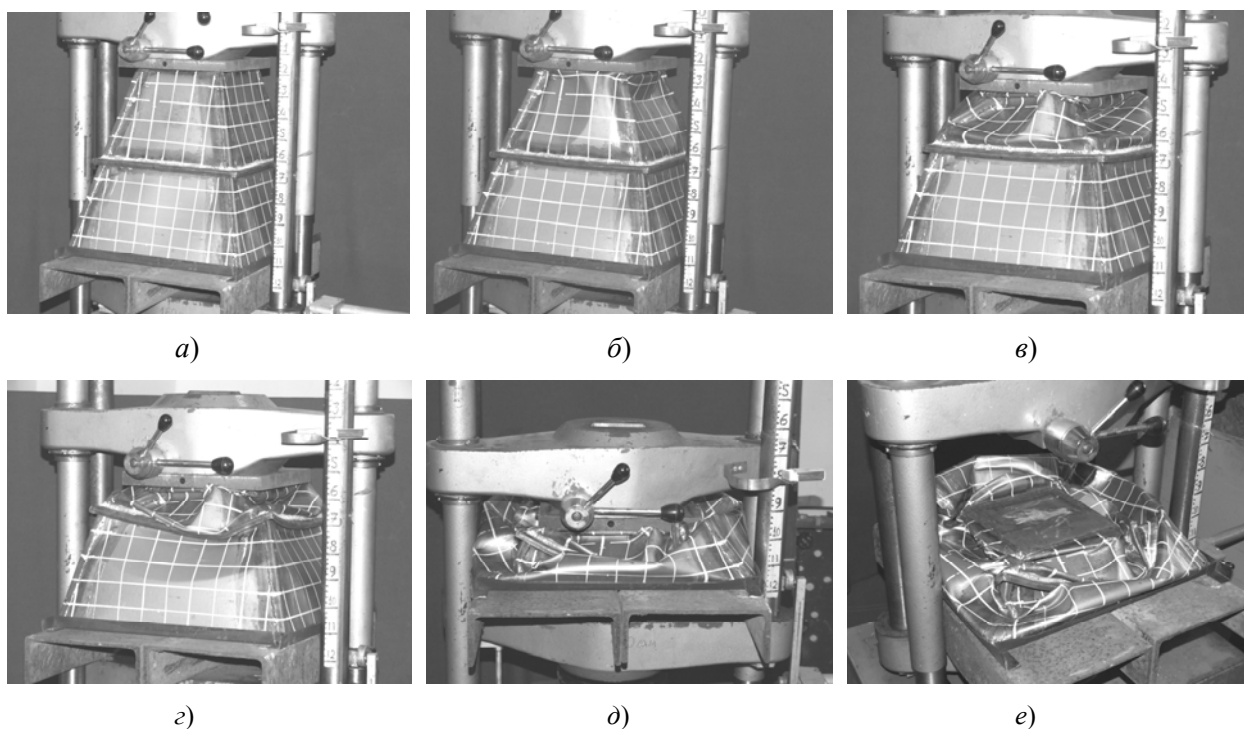


Рис. 1. Результаты испытаний конструкции (модель 1)

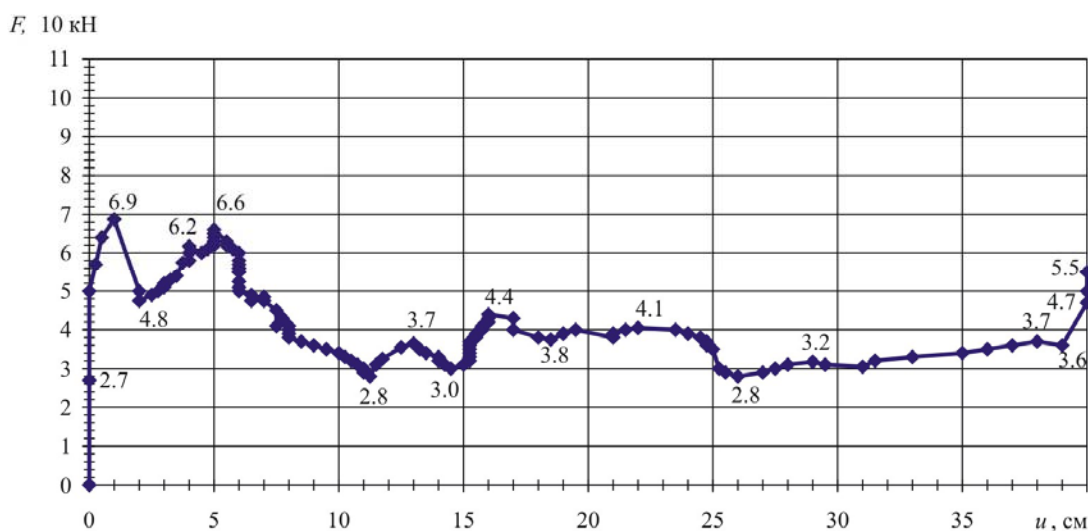


Рис. 2. Экспериментальная диаграмма деформирования конструкции (модель 1)

Как видно из приведенных рисунков, потеря устойчивости верхней части конструкции происходит при критической силе 69 кН (рис. 1, б).

После чего в процессе деформирования верхняя часть конструкции оказывается как бы скомканной (рис. 1, в). При этом нагрузка по-

степенно снижается до 28 кН. Далее при силе, не превышающей 37 кН, происходит прессование верхней части конструкции до полного ее сжатия (примерно на 140 мм). Затем нагрузка снова начинает расти и достигает уровня 44 кН в момент потери устойчивости нижней части усеченной пирамиды (рис. 1, з), дальнейшее деформирование которой происходит аналогично описанному выше деформированию верхней части конструкции. При этом нагрузка не падает резко, а плавно опускается до 28 кН, а перемещения нижнего основания конструкции достигают 260 мм. С этого момента и до полного сжатия нижней части усеченной пирамиды (рис. 1, д) нагрузка держится на уровне 28...37 кН, а перемещения увеличиваются с 260 до 390 мм. Эксперимент остановлен при сжатии конструкции на 400 мм, что составляет 85 % от ее первоначальной высоты.

В результате проведенного эксперимента установлено, что деформирование рассмотренной конструкции коробчатого типа имело заданный управляемый характер и не сопровождалось разрывами сварных швов (рис. 1, е). В полученной экспериментальным путем диа-

грамме деформирования (рис. 2) отсутствовали резкие провалы, а уровень энергопоглощения при этом составил 15 кДж.

Исследовано влияние количества рядов дополнительных ребер жесткости, устанавливаемых по периметрам поперечных сечений конструкции, на процесс ее деформирования и энергопоглощающие свойства. Для этого проведены испытания усеченной пирамиды (модель 2 на рис. 3, а), которая отличается от описанной выше конструкции (модель 1) тем, что по периметрам ее поперечных сечений на высотах 140 мм (нижняя) и 290 мм (верхняя) от нижнего основания установлены два ряда внешних пластинок.

Результаты испытаний указанной конструкции (модель 2) на сжатие иллюстрирует рис. 3: а) исходное состояние; б) состояние при потере устойчивости верхней части; в) состояние при полном складывании верхней части; г) состояние при потере устойчивости средней части; д) состояние при потере устойчивости нижней части; е) состояние при полном сплющивании конструкции.

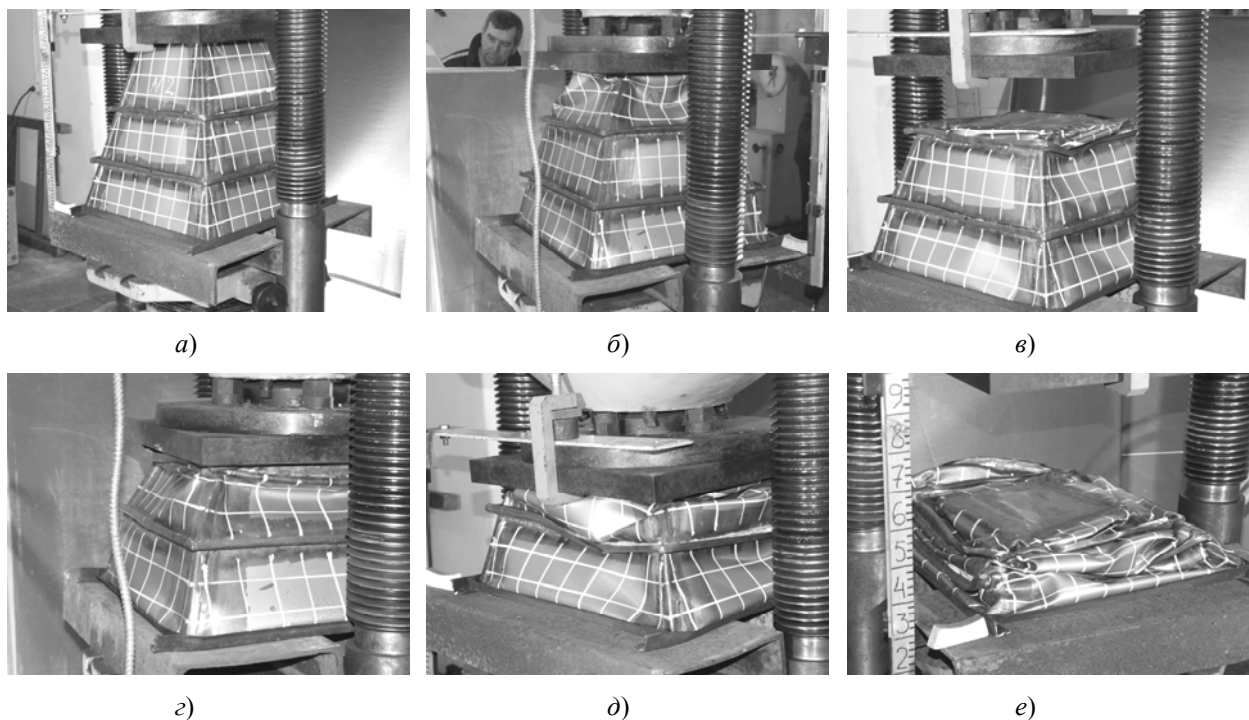


Рис. 3. Результаты испытаний конструкции (модель 2)

Согласно приведенным результатам, потеря устойчивости верхней части рассматриваемой конструкции происходит при величине критической сжимающей нагрузки 71 кН (рис. 3, б).

После чего верхняя ее часть не только сминаяется, но и в связи с отсутствием внутри кон-

струкции ограничителя перемещений, практически полностью беспрепятственно проваливается внутрь (рис. 3, в). На рис. 4 видно, что нагрузка при этом снижается до 16 кН. Далее при величине сжимающей силы примерно 60 кН теряет устойчивость и пластически деформиру-

ется средняя часть конструкции (рис. 3, *з*). При полном ее сжатии нагрузка составляет примерно 36 кН. Затем сила возрастает до уровня 65 кН, при котором происходит потеря устойчивости нижней части усеченной пирамиды (рис. 3, *д*), в результате чего нагрузка опускается до 48 кН. После смятия нижней части конструкции нагрузка резко возрастает. Эксперимент остановлен, когда перемещение нижнего основания усеченной пирамиды составило 385 мм

(рис. 3, *е*), т. е. при ее сжатии на 82 % от первоначальной высоты. Следует отметить, что в этом случае так же, как и в предыдущем, деформирование конструкции модели 2 происходило последовательно сверху вниз на трех участках по ее высоте, изначально обозначенных двумя рядами дополнительных ребер жесткости. Благодаря усилению боковых швов усеченной пирамиды уголками, разрывов конструкции при сжатии не наблюдалось.

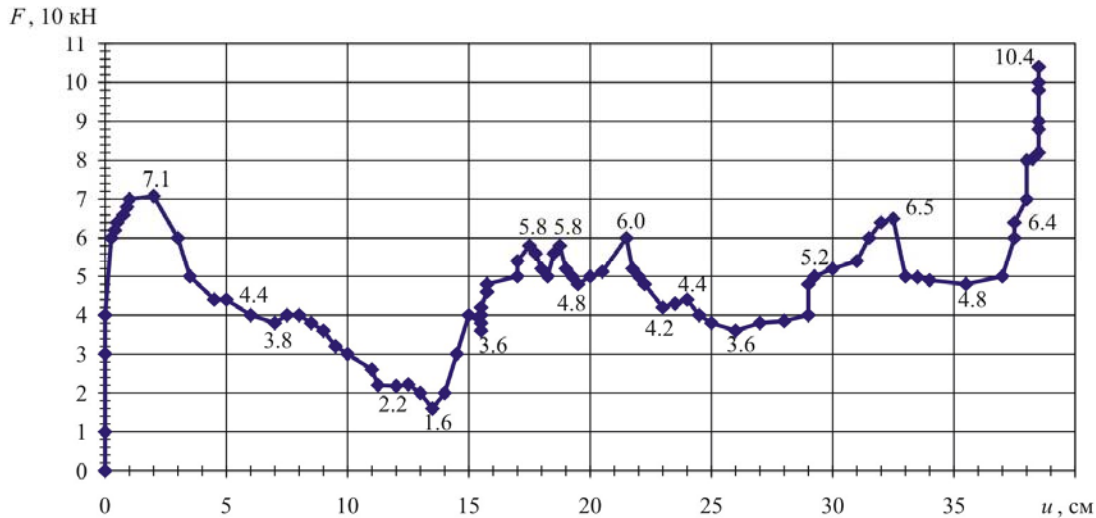


Рис. 4. Экспериментальная диаграмма деформирования конструкции (модель 2)

Судя по полученной диаграмме деформирования (рис. 4), установка двух рядов ребер жесткости способствовала повышению среднего уровня сжимающей нагрузки примерно до 50 кН. При установке одного ряда внешних пластинок средний уровень нагрузки составлял примерно 35...40 кН (рис. 2). Таким образом, за счет установки двух рядов дополнительных ребер жесткости, энергопоглощение конструкции увеличилось на 10 % и составило 16,5 кДж, а критическая нагрузка потери устойчивости верхней части практически не изменилась.

В целом, проведены экспериментальные исследования характера деформирования конструкций коробчатого типа в виде усеченной пирамиды с квадратными основаниями и дополнительными конструктивными элементами (внешними пластинками, расположенными по периметрам ее поперечных сечений, перпендикулярных ее высоте), предназначенными для организации управляемого процесса последовательного смятия при сжимающих нагрузках. На основе полученных экспериментальных данных определены уровни критических нагрузок,

при которых происходит потеря устойчивости элементов рассмотренных конструкций и построены диаграммы их деформирования. Показано влияние дополнительных ребер жесткости на организацию целенаправленного процесса деформирования рассмотренных конструкций и повышение их энергопоглощающих свойств. Результаты исследований могут быть использованы при создании пассивных средств защиты железнодорожных экипажей от сверхнормативных нагрузок в аварийных ситуациях.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Патентно-библиографический поиск и разработка предложений по созданию эффективных средств защиты железнодорожных транспортных конструкций от сверхнормативных ударных нагрузок: Отчет о НИР (промежуточный) / ИТМ НАНУ и НКАУ; Руководитель НИР Г. Богомаз. – № ГР 0105U002521; Инв. № 110-07/2005. – Д, 2005. – 59 с.

Надійшла до редколегії 02.08.07.