

УДК 629.025:539.4

Бейгул О. А. / д. т. н./, Корнийчук Н. Н.,  
Лепетова А. Л. /к. т. н./Днепродзержинский государственный  
технический университет

## Математическая модель формирования нагрузок и определение параметров U-образной несущей системы сочлененного контейнеровоза

Разработана математическая модель формирования нагрузок на U-образную несущую систему сочлененного контейнеровоза, в основу которой положены три расчетных случая. Записаны условия прочности для всех силовых элементов несущей системы, откуда получены выражения для определения рациональных параметров этих элементов. Ил. 6. Библиогр.: 6 назв.

**Ключевые слова:** математическая модель, нагрузка, несущая система, силовой элемент, расчетный случай, условия прочности, рациональный параметр

*Mathematical model of load forming on U-shape load-carrying system of articulated container truck, where the three calculated cases are taken as a basis, is developed. Strength conditions for all power elements of load-carrying system, where the expressions for calculation of those elements rational parameters have been received, is written down.*

**Keywords:** mathematical model, load, load-carrying system, power element, calculated case, strength condition, rational parameter

### Постановка проблемы

В металлургической отрасли наблюдается постоянный рост механизации и автоматизации транспортных операций в технологических линиях, где появляются новые задачи на пути развития перспективных образцов спецавтотранспорта [1, 2]. Для выполнения транспортных операций, связанных с контейнерной доставкой, весьма перспективной является U-образная компоновка несущей системы [3, 4]. Технологический спецавтотранспорт с такой компоновкой пока не получил распространения как в отечественном, так и в зарубежном автомобилестроении, поэтому возникает серьезная необходимость в проведении исследования формирования внешних нагрузок, внутренних усилий для определения рациональных параметров U-образной несущей системы сочлененного контейнеровоза.

### Анализ последних исследований и публикаций

В работе [3] описаны конструктивные особенности U-образной компоновки, там же заложены основы проектирования таких систем, описана качественная сторона проектирования спецавтотранспорта с U-образной рамой. Работа [4] уже посвящена проектировочным расчетам на прочность автосcrapовоза с U-образной рамой. В работе [5] представлена методика проектирования контейнеровоза с порталной компоновкой. Следует заметить, что несмотря на отличие компоновок этих машин, общую методологию можно взять на вооружение, где в основу формирования внешних нагрузок положены характерные режимы нагружения каждого силового элемента несущей системы, которые в дальнейшем будем называть расчетными случаями.

### Нерешенная часть общей проблемы

Нетрадиционная U-образная компоновка спецавтотранспорта объясняет, почему в настоящее время отсутствует методология проектирования контейнеровозов с такой компоновкой.

**Цель работы,** таким образом, состоит в разработке математической модели формирования нагрузок и определении параметров U-образной несущей системы сочлененного контейнеровоза.

### Изложение основного материала исследования

На рис. 1 изображен сочлененный контейнеровоз с U-образной в плане рамой.

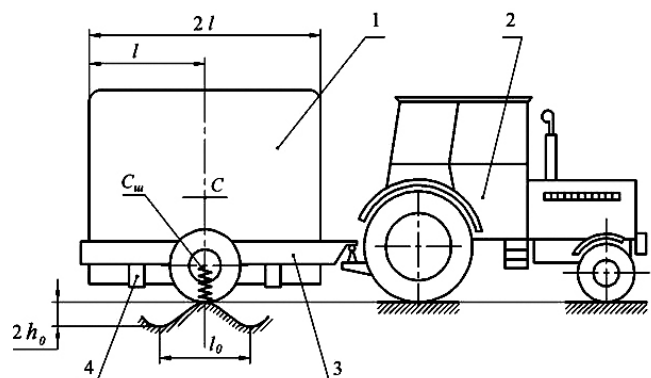


Рис. 1. Сочлененный контейнеровоз с U-образной рамой: 1 – контейнер; 2 – тягач; 3 – полуприцеп с U-образной рамой; 4 – ложемент

Как следует из компоновки сочлененного контейнеровоза, его рама находится в условиях трехточечного опирания, поэтому при движении по неровностям технологических дорог не деформируется из своей плоскости; и в этом смысле вопросы крутильной жесткости такой рамы не актуальны. С другой стороны, тип профилей силовых элементов незамкнутой U-образной рамы выбира-

ется из условий местного формирования нагрузок в сечениях установки подвески, а также опорных ложементов для контейнера.

На рис. 2 представлена U-образная рама сочлененного контейнерова, там же показаны характерные сечения, которые иллюстрируют формирование нагрузок и передачу усилий.

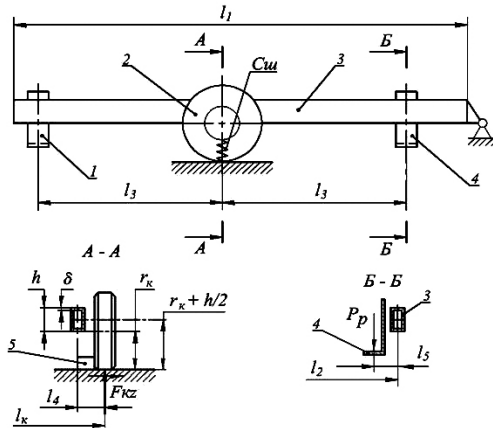


Рис. 2. Полуприцеп контейнерова с U-образной рамой: 1 – ложемент задний; 2 – колесо полуприцепа; 3 – U-образная рама; 4 – ложемент передний; 5 – бордюр

В основу проектировочного расчета на прочность U-образной рамы положены три расчетных случая: 1) езда по неровностям технологических дорог на горизонтальном участке пути; 2) косо наезд на высокий бордюр; 3) трогание с места вперед при непреодолимом препятствии перед колесами полуприцепа. Первый расчетный случай регламентирует вертикальные нагрузки на лонжероны рамы, второй расчетный случай регламентирует поперечные нагрузки на лонжероны рамы, третий расчетный случай регламентирует нагрузки поперечной балки рамы.

**Первый расчетный случай.** Допустим, масса контейнера –  $m_k$ , тогда его вес равен  $G_k = m_k g$ . Учитывая, что крутильная жесткость контейнера незначительна, можно положить, что нагрузки, которые приходятся на каждый ложемент, одинаковы, т. е.  $P = m_k g / 4$  при коэффициенте динамичности, равном единице, и в общем случае  $P_p = k_{d1} m_k g / 4$ , где  $P_p$  – расчетная нагрузка, а  $k_{d1}$  – коэффициент динамичности, соответствующий первому расчетному случаю.

Замечания по типу профилей U-образной несущей системы. Трехточечное опирание рамы снимает ограничения по крутильной жесткости несущей системы, но компоновочные особенности рамы определяют консольное крепление подвески и ложементов к лонжеронам, которые дополнительно нагружаются крутящими моментами. Появление крутящих моментов определяет выбор закрытых профилей лонжеронов. На рис. 3 представлена расчетная схема U-образной рамы.

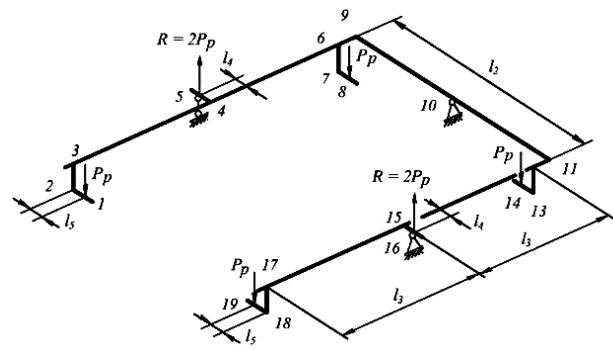


Рис. 3. Расчетная схема U-образной рамы по первому расчетному случаю

Для разгрузки опорно-сцепного устройства передние и задние ложементы должны находиться на одинаковом удалении от оси подвески, равном  $l_3$ . В этом случае реакции опор в точках 5 и 16 равны  $2P_p$ . Строим эпюры изгибающих и крутящих моментов (рис. 4).

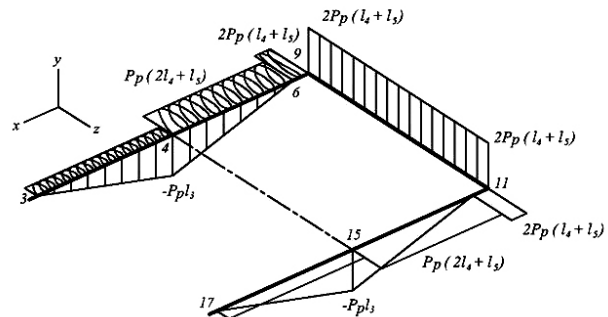


Рис. 4. Эпюры изгибающих  $M_u$  и крутящих  $M_{kp}$  моментов в U-образной раме по первому расчетному случаю

**Второй расчетный случай** моделирует формирование самоуравновешенных боковых сил, изгибающих лонжероны и поперечину U-образной рамы в своей плоскости, а также крутящих моментов, скручивающих лонжероны при косо наезде на бордюр (рис. 2, сечение А-А).

Расчетная боковая сила определяется как боковая реакция покрытия дороги:

$$R_{kz} = \frac{1}{2} m_{nc} g f, \quad (1)$$

где  $R_{kz}$  – расчетная боковая сила, действующая на колесо полуприцепа, Н;  $m_{nc}$  – масса груженого полуприцепа, кг;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $f$  – коэффициент трения беговой поверхности пневматика колеса по дорожному покрытию.

Расчетный крутящий момент, действующий на лонжерон:

$$M_{kp} = R_{kz}(r_k + h/2), \quad (2)$$

где  $M_{kp}$  – расчетный крутящий момент, Н·м;  $r_k$  – радиус качения колеса, м;  $h$  – высота профиля лонжерона рамы, м.

Строим эпюры изгибающих и крутящих моментов, действующих на раму (рис. 5).

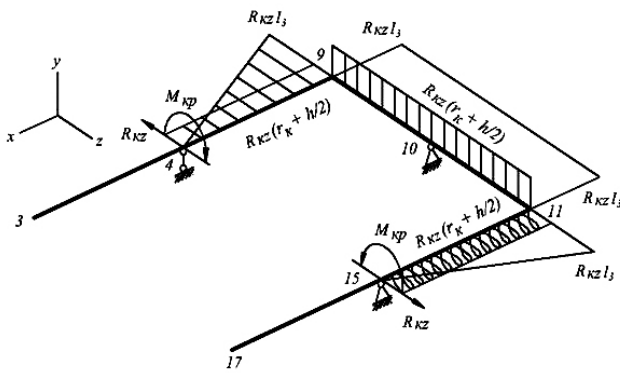


Рис. 5. Расчетная схема и эпюры изгибающих  $M_u$  и крутящих  $M_{kp}$  моментов по второму расчетному случаю

Третий расчетный случай моделирует в основном нагружение поперечины рамы в ее плоскости. Этот расчетный случай реализуется при тяговом усилии на уровне срыва сцепления приводных колес тягача, расчетное тяговое усилие определяется по формуле

$$F_T = m_{tk} g f, \quad (3)$$

где  $F_T$  – расчетное тяговое усилие тягача, Н;  $m_{tk}$  – масса тягача, сосредоточенная на приводных колесах, кг.

Строим эпюру изгибающих моментов  $M_u$  по третьему расчетному случаю. Расчетная схема и эпюра представлены на рис. 6.

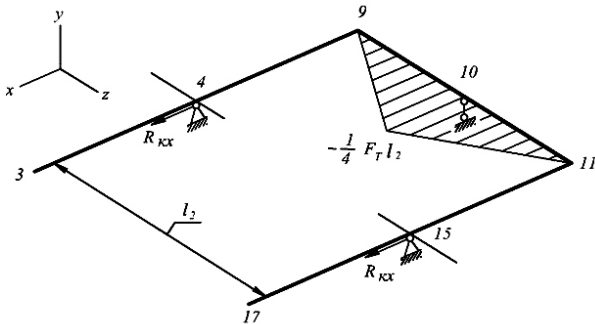


Рис. 6. Расчетная схема и эпюра изгибающих моментов  $M_u$  по третьему расчетному случаю

После построения эпюр изгибающих и крутящих моментов для всех расчетных случаев приступаем к проектировочным и поверочным расчетам на прочность U-образной рамы контейнеровоза. Учитывая совместное действие изгибающих и крутящих моментов на всех участках несущей системы, принимаем закрытый, тонкостенный, прямоугольный профиль, где  $b$  – основание,  $h$  – высота,  $\delta$  – толщина стенок профиля.

Для определения параметров лонжеронов воспользуемся первым расчетным случаем. Как следует из эпюр изгибающих и крутящих моментов (рис. 4), опасным сечением для лонжеронов является опорное сечение 4, которое испытывает сложное напряженное состояние. Записываем условие прочности в этом сечении, используя третью теорию прочности:

$$\sigma_{экв.} = \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} = \sqrt{\left[\frac{M_z(4)}{W_z(4)}\right]^2 + 4\left[\frac{M_{kp}(4)}{W_{kp}(4)}\right]^2} \leq [\sigma], \quad (4)$$

где  $\sigma_{экв.}$  – эквивалентное напряжение, Па;  $[\sigma]$  – допускаемое напряжение, Па;  $W_z(4)$  – момент сопротивления изгибу профиля лонжерона в опасном сечении,  $m^3$ ;  $W_{kp}(4)$  – момент сопротивления кручению профиля лонжерона в опасном сечении,  $m^3$ .

После раскрытия аналитических выражений изгибающих и крутящих моментов, а также геометрических характеристик [6] опасного сечения условие прочности (5) принимает следующий вид:

$$\sigma_{экв.} = \sqrt{\left[\frac{(P_p l_3)^2}{\left[\frac{\delta h^2}{3} \left(3 \frac{e}{h} + 1\right)\right]^2}\right]^2 + 4 \frac{[P_p(2l_4 + l_5)]^2}{[2(e - \delta)(h - \delta)\delta]^2}} \leq [\sigma]. \quad (5)$$

Задаваясь двумя измерениями поперечного сечения, определяем третье из условия прочности (6). После определения всех параметров сечения лонжеронов проверяем их на изгиб в горизонтальной плоскости, например, в сечении 9 (см. рис. 5) в соответствии со вторым расчетным случаем.

Параметры поперечины U-образной рамы определяем из комбинации первого и третьего расчетных случаев с той особенностью, что коэффициент динамичности по первому расчетному случаю принимается равным единице. Поперечина испытывает сложный изгиб, и ее параметры определяются из следующего условия прочности:

$$\sigma_{z \max} = \frac{M_y(10)}{W_y} + \frac{M_x(10)}{W_x} \leq [\sigma], \quad (6)$$

где  $\sigma_{z \max}$  – максимальное напряжение в поперечине при наложении первого и третьего расчетных случаев, Па;  $M_y(10)$  – изгибающий момент в опасном сечении по третьему расчетному случаю, Н·м;  $M_x(10)$  – изгибающий момент в опасном сечении по первому расчетному случаю, Н·м;  $W_y$  – момент сопротивления изгибу сечения поперечины в горизонтальной плоскости,  $m^3$ ;  $W_x$  – момент сопротивления изгибу сечения поперечины в вертикальной плоскости,  $m^3$ ; После раскрытия аналитических выражений изгибающих моментов  $M_x(10)$  и  $M_y(10)$ , а также геометрических характеристик [6] опасного сечения условие прочности (7) принимает следующий вид:

$$\sigma_{z \max} = \frac{\frac{1}{4} F_T l_2}{\frac{\delta b^2}{3} \left(3 \frac{h}{b} + 1\right)} + \frac{2P(l_4 + l_5)}{\frac{\delta h^2}{3} \left(3 \frac{b}{h} + 1\right)} \leq [\sigma]. \quad (7)$$

Из конструктивных соображений задаемся двумя параметрами поперечного сечения, а третий определяем из условия прочности (8).

**Выводы**

Таким образом, разработана математическая модель формирования нагрузок на несущую систему сочлененного контейнеровоза с U-образной рамой путем введения характерных режимов движения, сгруппированных в расчетные случаи, каждый из которых регламентирует нагружение как отдельных силовых элементов, так и всей несущей системы, а комбинации дают полную картину формирования внешних нагрузок, восприятия и передачи внутренних усилий на пути разработки и создания надежных и долговечных, рациональных по металлоемкости конструкций контейнеровозов с U-образной рамой.

**Библиографический список**

1. Гриф М. И. Автотранспортные средства с грузоподъемными устройствами для перевозки грузов в контейнерах и пакетах / М. И. Гриф, Р. А. Затван, В. Ф. Трофименко. – М.: Транспорт, 1989. – 159 с.
2. Грушников В. А. Выбор транспортных средств для контейнерной доставки строительных грузов / В. А. Грушников // Промышленный транспорт – 1987. – № 11. – С. 7.

3. Золотарев А. Ф. Контейнеровоз на базе трактора Т-150к / А. Ф. Золотарев, И. А. Тоцкий // Промышленный транспорт. – 1979. – № 6. – С. 22.

4. Дослідження та вибір типу несучої системи автоскrapовоза з U-подібною рамою / О. О. Бейгул, М. М. Корнійчук, Г. Л. Лепетова, Д. В. Найда // Надійність металургійного обладнання RME-2013. Зб. наук. праць за мат. Міжнар. наук.-техн. конф., 28-31 жовтня 2013р. – Дніпропетровськ: ІМА-прес, 2013. – С. 138-141.

5. Шматко Д. З. Разработка инженерной методики проектирования несущих систем металлургических порталных машин на пневмоколесном ходу / Д. З. Шматко // Системні технології. Регіон. міжвуз. зб. наук. праць. – Дніпропетровськ: ДНВП «Системні технології», 2002. – Вип. 5(21). – С. 119-127.

6. Писаренко Г. С. Справочник по сопротивлению материалов / Г. С. Писаренко, А. П. Яковлев, В. В. Матвеев; отв. ред. Г. С. Писаренко – 2-е изд., перераб. и доп. – Киев: Наукова думка, 1988. – 736 с.

**Поступила 21.08.2014**

УДК 621.715.2

**Разумов М. С. /к. т. н./,****Понкратов П. А. /к. т. н./,****Гречухин А. Н. /к. т. н./,****Овчинкин О. В. /к. т. н./**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «ЮЗГУ»

Наука

## **Автоматизация технологической подготовки изготовления режущего инструмента для формообразования профильных валов**

*В работе рассматриваются преимущества профильных соединений. Возможность изготовления данного вида соединений на долбежном оборудовании. Рассмотрены вопросы заточки инструмента. Предложена программа, позволяющая получить векторное изображение скорректированного профиля заготовки долбяка, что позволит при наложении рабочих углов резания посредством заточки на стандартном точном оборудовании получать исходный профиль режущих кромок. Ил. 5. Табл. 2. Библиогр.: 7 назв.*

**Ключевые слова:** долбяк, профильный вал, погрешность формы, профильное соединение

*The advantages of profile connections are considered in the article. The possibility to produce this type of connection on the grooving equipment is described. The question concerning tool grinding is considered. The program, which allows to obtain vector image of adjusted sectional shape of a form cutter, is suggested. It allows to obtain base profile of cutting edge during overlapping of cutting work angle by means of grinding on the standard tool grinding machinery.*

**Keywords:** form cutter, grooved roll, defect of form, profile connection

В настоящее время все более широкое распространение находят профильные моментопередающие валы.

Наиболее распространенные виды профильных валов представлены на рис. 1.