

УДК 656.13

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДОПУСТИМОЙ ЗАГРУЗКИ ПОЛУПРИЦЕПА

### DETERMINATION OF THE PARAMETERS OF THE PERMISSIBLE LOADING OF THE SEMI-TRAILER

**Седюкевич В. Н.**, канд.техн. наук, доц., **Гинько А. Г.**, магистр,  
**Еремейчик Ю. С.**, студ.,

Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь

U. Sedziukevich. Ph.D. in Engineering, Associate professor,

A. Hinko, Master's degree in Transport,

U. Eremeychik, Student,

Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

*Разработана методика определения параметров допустимой загрузки полуприцепа в составе седельного автопоезда с учетом обеспечения дорожных и технических ограничений.*

*A methodology has been developed for determining the parameters of the permissible loading of a semi-trailer as part of a saddle road train, taking into account the provision of road and technical restrictions.*

*Ключевые слова: полуприцеп, седельный тягач, загрузка, дорожные ограничения, технические ограничения.*

*Keywords: semi-trailer, truck tractor, loading, road restrictions, technical restrictions.*

## ВВЕДЕНИЕ

Анализ выполняемых перевозок грузов показывает, что из-за отсутствия точных данных по параметрам транспортного средства (ТС) и проведения расчетов по его загрузке имеют место случаи, когда перевозится масса груза менее возможной или возникает превышение осевых нагрузок по дорожным или техническим ограничениям, или не обеспечивается (для автопоездов) коэффициент сцепной массы.

Параметры загрузки полуприцепа в составе седельного автопоезда (общая масса и расположение центра тяжести груза) не долж-

ны вызывать превышение допустимой общей массы автопоезда и осевых масс исходя из дорожных и технических ограничений. Кроме того, должен обеспечиваться коэффициент сцепной массы (не менее 0,25), представляющий собой отношение массы автопоезда, приходящейся на ведущие колеса, к его общей массе. Осевые массы автопоезда зависят от его параметров (собственных масс тягача и полуприцепа, числа осей и распределения собственных масс по осям, базы тягача и полуприцепа, величины смещения седельно-сцепного устройства относительно центра задней оси (тележки) седельного тягача), от массы груза и расположения центра тяжести груза относительно кузова полуприцепа.

В работе [1, 2] предложены расчетные формулы для определения параметров допустимой загрузки полуприцепа исходя из дорожных ограничений в предположении, что они в первую очередь регламентируют допустимую загрузку автопоезда. Однако может иметь место ситуация, когда параметры загрузки полуприцепа в первую очередь ограничены технически допустимыми параметрами тягача и (или) полуприцепа, установленными заводами-изготовителями, такими как технически допустимые общая масса, осевые нагрузки и максимальная полезная нагрузка (грузоподъемность). Поэтому в данной работе предлагаются зависимости, позволяющие определять параметры допустимой загрузки полуприцепа исходя не только из дорожных, но и технических ограничений. При этом следует отметить, что если параметры по дорожным ограничениям могут быть превышены на основе специального разрешения на проезд тяжеловесных и крупногабаритных транспортных средств (ТКТС), то по условиям безопасности технические ограничения нарушать недопустимо.

## РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ЗАГРУЗКИ СЕДЕЛЬНОГО АВТОПОЕЗДА

Для седельного автопоезда опорами являются (рисунок 1):

- 1) передняя ось (тележка) (далее передняя ось) тягача;
- 2) задняя ось (тележка) тягача;
- 3) опора полуприцепа на седельно-сцепное устройство тягача;
- 4) задняя ось (тележка) полуприцепа.

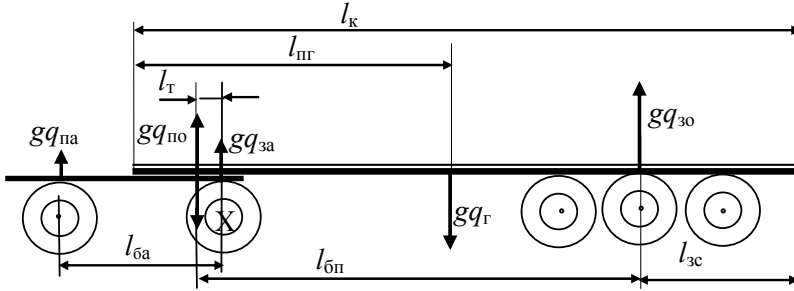


Рисунок 1 – Расчетная схема седельного тягача с полуприцепом:

$q_{\Gamma}$  – масса перевозимого груза;  $q_{зо}$  – масса перевозимого груза, приходящаяся на заднюю ось (тележку) полуприцепа;  $q_{по}$  – масса перевозимого груза, приходящаяся на переднюю опору (седельно-сцепное устройство) тягача;  $q_{па}$  – масса перевозимого груза, приходящаяся на переднюю ось тягача;  $q_{за}$  – масса перевозимого груза, приходящаяся на заднюю ось (тележку) тягача;  $l_{ба}$  – база седельного тягача;  $l_{т}$  – смещение центра седельно-сцепного устройств тягача относительно его задней оси (тележки);  $l_{бп}$  – база полуприцепа;  $l_{зс}$  – задний свес кузова полуприцепа;  $l_{к}$  – внутренняя длина кузова полуприцепа;  $l_{пг}$  – расстояние центра тяжести груза от передней внутренней стенки кузова полуприцепа

Для тягача с полуприцепом получены следующие расчетные зависимости (по массе для статического состояния) [3]:

– масса груза  $q_{по}$ , приходящаяся на переднюю опору полуприцепа:

$$q_{по} = q_{\Gamma} \cdot (l_{к} - l_{зс} - l_{пг}) / l_{бп}; \quad (1)$$

– масса груза  $q_{зо}$ , приходящаяся на тележку полуприцепа  $q_{зо}$ :

$$q_{зо} = q_{\Gamma} \cdot (l_{пг} - l_{к} + l_{зс} + l_{бп}) / l_{бп}; \quad (2)$$

– нагрузка  $q_{па}$ , передающаяся от груза на опорную поверхность (дорогу) через переднюю ось тягача:

$$q_{па} = q_{\Gamma} \cdot (l_{к} - l_{зс} - l_{пг}) \cdot l_{т} / (l_{бп} \cdot l_{ба}); \quad (3)$$

– нагрузка  $q_{за}$ , передающаяся от груза на опорную поверхность (дорогу) через заднюю ось (тележку) тягача

$$q_{за} = q_{Г} \cdot (l_{к} - l_{зс} - l_{пг}) \cdot (1 - l_{т} / l_{ба}) / l_{бп}; \quad (4)$$

– нагрузка на седельно-сцепное устройство тягача и переднюю опору полуприцепа  $q_{пто}$ , приходящаяся от собственной массы полуприцепа и размещенного на нем груза:

$$q_{пто} = q_{Г} \cdot (l_{к} - l_{зс} - l_{пг}) / l_{бп} + m_{спп}; \quad (5)$$

– суммарная нагрузка  $q_{фпа}$ , передающаяся на дорогу через переднюю ось тягача с учетом собственной массы полуприцепа, массы размещенного на нем груза и собственной массы тягача:

$$q_{фпа} = (q_{Г} \cdot (l_{к} - l_{зс} - l_{пг}) / l_{бп} + m_{спп}) \cdot l_{т} / l_{ба} + m_{спа}; \quad (6)$$

– суммарная нагрузка  $q_{фза}$ , передающаяся на дорогу, через заднюю ось (тележку) тягача с учетом собственной массы полуприцепа, массы размещенного на нем груза и собственной массы тягача:

$$q_{фза} = (q_{Г} \cdot (l_{к} - l_{зс} - l_{пг}) / l_{бп} + m_{спп}) \cdot (1 - l_{т} / l_{ба}) + m_{сза}; \quad (7)$$

– суммарная нагрузка  $q_{фзп}$ , передающаяся на дорогу, через заднюю ось (тележку) задней опоры полуприцепа от собственной массы и массы размещенного на нем груза:

$$q_{фзп} = q_{Г} \cdot (l_{пг} - l_{к} + l_{зс} + l_{бп}) / l_{бп} + m_{сзп}; \quad (8)$$

расчетное значение собственной массы тягача (массы без нагрузки)  $m_{сза}$ , передающейся на дорогу через заднюю ось (тележку), по другим данным завода-изготовителя:

$$m_{сза} = m_{зна} - m_{доа} \cdot (1 - l_{т} / l_{ба}); \quad (9)$$

– расчетное значение собственной массы тягача (массы без нагрузки)  $m_{сна}$ , передающейся на дорогу через переднюю ось, определяемое по другим данным завода-изготовителя:

$$m_{\text{спа}} = m_{\text{сма}} - m_{\text{сза}} ; \quad (10)$$

– расчетное значение собственной массы полуприцепа  $m_{\text{спп}}$ , передающейся на седельно-цепное устройство тягача, определяемое по другим данным завода-изготовителя:

$$m_{\text{спп}} = m_{\text{доп}} - (m_{\text{доп}} + m_{\text{дзп}} - m_{\text{мсп}}) \cdot (l_{\text{к}} / 2 - l_{\text{зс}}) / l_{\text{бп}} ; \quad (11)$$

– расчетное значение собственной массы полуприцепа, передающаяся на дорогу через заднюю ось (тележку)  $m_{\text{сзп}}$ , определяемое по другим данным завода-изготовителя:

$$m_{\text{сзп}} = m_{\text{дзп}} - (m_{\text{доп}} + m_{\text{дзп}} - m_{\text{спп}}) \cdot (l_{\text{бп}} + l_{\text{зс}} - l_{\text{к}} / 2) / l_{\text{бп}} ; \quad (12)$$

предельно допустимая масса на седельно-цепное устройство тягача  $m_{\text{опд}}$ , передающаяся от полуприцепа с грузом, исходя из дорожных и технических ограничений по нагрузке на заднюю ось (тележку) тягача:

$$m_{\text{опд}} = (\min(m_{\text{зда}}; m_{\text{зна}}) - m_{\text{сза}}) / (1 - l_{\text{т}} / l_{\text{ба}}) ; \quad (13)$$

– предельно допустимая масса на седельно-цепное устройство тягача, передающаяся от полуприцепа с грузом, исходя из дорожных и технических ограничений по нагрузке на переднюю ось тягача:

$$m_{\text{оад}} = (\min(m_{\text{пда}}; m_{\text{ппа}}) - m_{\text{спа}}) l_{\text{ба}} / l_{\text{т}} ; \quad (14)$$

– технически допустимая общая масса автопоезда  $m_{\text{тд}}$ :

$$m_{\text{тд}} = \min(m_{\text{доа}}; m_{\text{доп}}) + m_{\text{дзп}} + m_{\text{сма}} ; \quad (15)$$

технически допустимая грузоподъемность автопоезда  $q_{\text{тд}}$ :

$$q_{\text{тд}} = \min(m_{\text{доа}}; m_{\text{доп}}) + m_{\text{дзп}} - m_{\text{спп}} ; \quad (16)$$

собственная масса автопоезда без груза  $m_{\text{бн}}$ :

$$m_{\text{бн}} = m_{\text{сма}} + m_{\text{смп}}; \quad (17)$$

фактическая общая масса автопоезда  $m_{\text{общ}}$ :

$$m_{\text{общ}} = m_{\text{бн}} + q_{\Gamma}; \quad (18)$$

коэффициент сцепной массы  $K_{\text{сц}}$  для тягача с полуприцепом с приводом на заднюю ось тягача:

$$K_{\text{сц}} = q_{\text{фза}} / m_{\text{общ}}, \quad (19)$$

где  $m_{\text{сма}}$  – собственная масса тягача без нагрузки (масса в снаряженном состоянии);  $m_{\text{спа}}$  – собственная масса тягача, передающаяся на дорогу через переднюю ось;  $m_{\text{сза}}$  – собственная масса тягача, передающаяся на дорогу через заднюю ось (тележку);  $m_{\text{пна}}$  – предельная технически допустимая осевая нагрузка на переднюю ось тягача;  $m_{\text{зна}}$  – предельная технически допустимая осевая нагрузка на заднюю ось (тележку) тягача;  $m_{\text{смп}}$  – собственная масса полуприцепа без нагрузки (масса в снаряженном состоянии);  $m_{\text{спп}}$  – собственная масса полуприцепа, передающаяся на седельно-сцепное устройство тягача;  $m_{\text{сзп}}$  – собственная масса полуприцепа, передающаяся на дорогу через заднюю ось (тележку);  $m_{\text{бн}}$  – собственная масса состава транспортных средств (автопоезда) (масса автопоезда без нагрузки);  $m_{\text{тд}}$  – технически допустимая общая масса состава транспортных средств (автопоезда);  $m_{\text{пда}}$  – допустимая по дорожным ограничениям осевая масса передней оси тягача;  $m_{\text{зда}}$  – допустимая по дорожным ограничениям осевая масса задней оси (тележки) тягача;  $m_{\text{доа}}$  – технически допустимая нагрузка на седельно-сцепное устройство тягача;  $m_{\text{доп}}$  – технически допустимая нагрузка на опорно-сцепное устройство полуприцепа;  $m_{\text{дзп}}$  – технически допустимая нагрузка на заднюю ось (тележку) полуприцепа;  $m_{\text{опд}}$  – допустимая исходя из дорожных и технических ограничений масса полуприцепа с грузом, приходящаяся на седельно-сцепное устройство тягача и опорно-сцепное устройство полуприцепа;  $m_{\text{oad}}$  – предельно допу-

стимая масса на седельно-цепное устройство тягача, передающаяся от полуприцепа с грузом, исходя из дорожных и технических ограничений по нагрузке на переднюю ось тягача;  $q_{\text{пто}}$  – нагрузка на седельно-цепное устройство тягача и переднюю опору полуприцепа, приходящаяся от собственной массы полуприцепа и размещенного на нем груза;  $q_{\text{фпа}}$  – суммарная нагрузка, передающаяся на опорную поверхность (дорогу) через переднюю ось тягача с учетом приходящейся собственной массы полуприцепа, размещенного на нем груза и собственной массы тягача;  $q_{\text{фза}}$  – суммарная нагрузка, передающаяся на опорную поверхность (дорогу), через заднюю ось (тележку) тягача с учетом приходящейся на нее собственной массы полуприцепа, размещенного на нем груза и собственной массы тягача;  $q_{\text{фзп}}$  – суммарная нагрузка, передающаяся на опорную поверхность (дорогу), через заднюю ось (тележку) полуприцепа от его собственной массы и размещенного на нем груза.

Для седельного автопоезда перед загрузкой грузом необходимо определить допускаемую общую массу груза  $q_{\text{г}}$  и допускаемое при этом местоположение центра тяжести груза, чтобы выполнялись следующие ограничения в отношении фактических параметров седельного автопоезда:

1) общая масса груза  $q_{\text{г}}$  не более массы количества груза  $q_{\text{вм}}$ , которое может быть размещено исходя из вместимости кузова ТС ( $q_{\text{г}} \leq q_{\text{вм}}$ );

2) общая масса груза  $q_{\text{г}}$  не более технически допустимой грузоподъемности автопоезда  $m_{\text{тд}}$  ( $q_{\text{г}} \leq m_{\text{тд}}$ );

3) общая фактическая масса автопоезда с грузом  $m_{\text{общ}}$  не более предельно допустимой по дорожным ограничениям  $m_{\text{дл}}$  ( $m_{\text{общ}} \leq m_{\text{дл}}$ );

4) нагрузка на переднюю ось тягача  $q_{\text{фпа}}$  не более предельно допустимой по дорожным ограничениям  $m_{\text{пда}}$  ( $q_{\text{фпа}} \leq m_{\text{пда}}$ );

5) нагрузка на переднюю ось тягача  $q_{\text{фпа}}$  не более предельной по его технической характеристике  $m_{\text{пна}}$  ( $q_{\text{фпа}} \leq m_{\text{пна}}$ );

6) нагрузка на заднюю ось (тележку) тягача  $q_{\text{фза}}$  не более предельно допустимой по дорожным ограничениям  $m_{\text{зда}}$  ( $q_{\text{фза}} \leq m_{\text{зда}}$ );

7) нагрузка на заднюю ось (тележку) тягача  $q_{\text{фза}}$  не более предельно допустимой по его технической характеристике  $m_{\text{зна}}$  ( $q_{\text{фза}} \leq m_{\text{зна}}$ );

8) нагрузка на ось (тележку) полуприцепа  $q_{фзп}$  не более предельно допустимой по дорожным условиям  $m_{здп}$  ( $q_{фзп} \leq m_{здп}$ );

9) нагрузка на ось (тележку) полуприцепа  $q_{фзп}$  не более предельно допустимой по его технической характеристике  $m_{дзп}$  ( $q_{фзп} \leq m_{дзп}$ );

10) нагрузка на седельно-цепное устройство тягача  $q_{пто}$  не более предельно допустимой по его технической характеристике  $m_{доа}$  ( $q_{пто} \leq m_{доа}$ );

11) нагрузка на опорно-цепное устройство полуприцепа  $q_{пто}$  не должна превышать предельно допустимую по его технической характеристике  $m_{доп}$  ( $q_{пто} \leq m_{доп}$ );

12) коэффициент сцепной массы  $K_{сц}$  должен быть не менее 0,25 ( $K_{сц} \geq 0,25$ ).

Исходя из необходимости выполнения вышеуказанных ограничений максимально возможная масса груза  $q_{гм}$ , которая может быть принята для выполнения перевозки, определяется как минимальное из всех значений, найденных с учетом отдельных ограничений:

$$q_{гм} = \min(q_{вм}; q_{тд}; m_{дд} - m_{бн}; \min(m_{опд}; m_{оад})) + \min(m_{здп}; m_{дзп}) - m_{смп}; m_{зда} / 0,25 - m_{бн} \quad (20)$$

При принятой массе перевозимого груза  $q_{г}$  ( $q_{г} \leq q_{гм}$ ) с учетом, например, кратности целому числу грузовых мест, значение расстояния центра тяжести  $l_{пг}$  должно находиться в определенном диапазоне от  $l_{гmin}$  до  $l_{гmax}$ , чтобы:

- а) не превышалась нагрузка на переднюю ось тягача;
- б) не превышалась нагрузка на заднюю ось (тележку) тягача;
- с) не превышалась нагрузка на ось (тележку) полуприцепа;
- д) обеспечивался коэффициент сцепной массы не менее 0,25.

По ранее приведенным зависимостям в работе получены выражения для значений  $l_{гmin}$  и  $l_{гmax}$ , обеспечивающие условия (а–д):

$$l_{гmin} = \max(l_{к} - l_{зс} - l_{бп} (m_{опд} - m_{смп}) / q_{г}; l_{к} - l_{зс} - ((\min(m_{пда}; m_{пна}) - m_{сна}) l_{ба} l_{бп} / l_{т} - m_{смп} l_{бп}) / q_{г}); \quad (21)$$



$$l_{\text{гmax}} = \min(l_{\text{к}} - l_{\text{зс}} - l_{\text{бп}} + l_{\text{бп}} (m_{\text{озд}} - m_{\text{ссп}}) / q_{\text{г}}; l_{\text{бп}} + l_{\text{пс}} + l_{\text{бп}} / q_{\text{г}} (m_{\text{спп}} - (0,25(m_{\text{бп}} + q_{\text{г}}) - m_{\text{сза}} l_{\text{ба}} / (l_{\text{ба}} - l_{\text{г}})))) \quad (22)$$

Расположение груза в кузове полуприцепа должно обеспечивать значение  $l_{\text{пг}}$ , удовлетворяющее условию:

$$l_{\text{пmin}} \leq l_{\text{пг}} \leq l_{\text{пmax}} \quad (23)$$

Если из-за параметров перевозимого груза при текущем значении  $q_{\text{г}}$  условие (23) изменением укладки груза обеспечить невозможно, то необходимо уменьшить значение  $q_{\text{г}}$ .

Фактические осевые нагрузки автопоезда и коэффициент сцепной массы рассчитываются по принятым значениям  $q_{\text{г}}$  и  $l_{\text{пг}}$  соответственно по формулам (6), (7), (8) и (19).

При проведении расчетов необходимо учитывать, что маршрут перевозки груза может проходить по дорогам с различными допускаемыми полными и осевыми массами ТС. Если принимается решение не приобретать разрешения на проезд ТКТС, то в этом случае расчеты необходимо вести по значениям допускаемых масс и нагрузок по дорожным и техническим ограничениям. При приобретении специальных разрешений в расчетах должны учитываться допускаемые полные и осевые массы, установленные специальными разрешениями и заводами-изготовителями ТС. При выполнении расчетов для практического применения параметры седельного тягача и полуприцепа без полезной нагрузки необходимо определять не расчетным путем, а принимать по данным Формуляра грузового транспортного средства [4].

Для практического применения все расчеты реализованы в виде Excel-таблиц. На рисунках 2 и 3 приведены результаты расчетов  $l_{\text{пmin}}$  и  $l_{\text{пmax}}$  в отношении типичного седельного автопоезда для международных перевозок грузов при допускаемой несущей способности дорожных одежд на одиночную ось 10,0 т и 11,5 т.

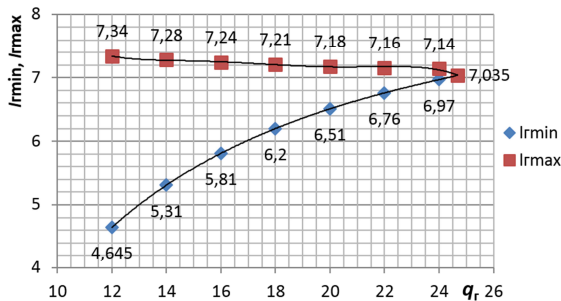


Рисунок 2 – Графики значений  $I_{r\min}$  и  $I_{r\max}$  в зависимости от массы перевозимого груза на седельном автопоезде при допустимой несущей способности дорожных одежд на одиночную ось 10 т

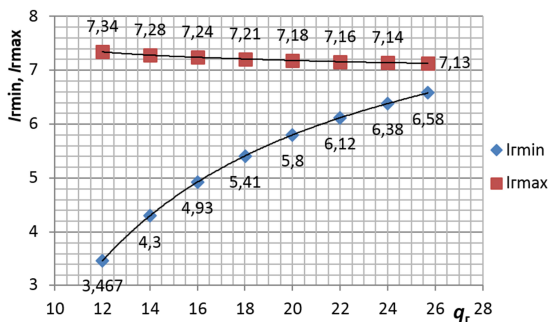


Рисунок 3 – Графики  $I_{r\min}$  и  $I_{r\max}$  в зависимости от массы перевозимого груза при допустимой несущей способности дорожных одежд на одиночную ось 11,5 т

Анализ показывает, что при полной равномерной по всей длине кузова загрузке грузом типичного полуприцепа для международных перевозок с внутренней длиной кузова 13,6 м (центр тяжести находится на расстоянии 6,8 м от переднего борта), масса перевозимого груза на дорогах СНГ ограничивается допустимой по дорожным ограничениям осевой массой ведущей оси тягача из-за невозможности смещения центра тяжести груза в кузове.

Точка, когда  $I_{r\min} = I_{r\max}$ , определяет предельно возможную перевозимую массу груза в данных дорожных условиях (рисунок 2). На дорогах с допустимой несущей способностью дорожных одежд 11,5 т (рисунок 3) отсутствие пересечения графиков указывает на то, что предельно допустимая масса перевозимого груза ограни-

чивается не осевыми массами, а допускаемой общей массой седельного автопоезда.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обеспечение массы груза и фактического месторасположения его центра тяжести в кузове согласно предложенным расчетам исключает превышение при выполнении перевозок допускаемых полной массы, осевых нагрузок и обеспечивает коэффициент сцепной массы автопоезда.

Предложенные зависимости позволяют производить расчеты для различных дорожных условий, в том числе при сезонных ограничениях допускаемых осевых масс.

Для оперативного выполнения предлагаемых расчетов по приведенной методике может быть разработано Web-приложение, которое позволит рассчитывать параметры допустимой загрузки седельного автопоезда.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Седюкевич, В. Н. Международные автомобильные перевозки грузов и транспортно-экспедиционная деятельность / В. Н. Седюкевич, С. А. Аземша. – Гомель: БелГУТ, 2012. – 199 с.

2. Еремейчик, Ю. С. Уточнение расчета допустимых параметров седельного тягача с груженым полуприцепом / Ю. С. Еремейчик; науч. рук. В. Н. Седюкевич // НИРС-2021 [Электронный ресурс]: материалы 77-й студенческой научно-технической конференции / редкол.: А. С. Поварехо [и др.]; под общ. ред. А. С. Поварехо; сост. А. С. Поварехо. – Минск: БНТУ, 2021. – С. 143.

3. Тульев, В. Д. Теоретическая механика. Статика: учебно-методическое пособие [Электронный ресурс] / В. Д. Тульев, М. В. Мышковец. – Минск: БНТУ, 2013.

4. Еремейчик, Ю. С. Формуляр грузового транспортного средства / Ю. С. Еремейчик; науч. рук. В. Н. Седюкевич // НИРС-2021 [Электронный ресурс]: материалы 77-й студенческой научно-технической конференции / редкол.: А. С. Поварехо [и др.]; под общ. ред. А. С. Поварехо; сост. А. С. Поварехо. – Минск: БНТУ, 2021. – С. 142.

Представлено 16.05.2022