

УДК 625.768.5

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ СТАБИЛИЗАЦИИ РЕЗЦОВ ДОРОЖНОЙ ФРЕЗЫ С ДВУХПОДВЕСНОЙ СИСТЕМОЙ

Кулепов В.Ф., Шурашов А.Д., Никандров И.С., Горшков А.С., Малыгин А.Л.

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Дзержинск,
e-mail: gorshkov_as@mail.ru

Дана оценка смещений резца, закрепленного на двух упругих подвесах, выполненных из обрезков стального каната, в процессе взаимодействия его с разрушаемой средой под действием изгибных усилий в подвесах от силы резания и реакции дорожного покрытия. Приведены эпюры продольных и поперечных усилий и возникающих изгибающих моментов. Решением канонических уравнений получено уравнение изгиба оси подвеса резца. Определены величины смещения резцов при их креплении на двух продольных подвесах и показано снижение величины смещения в 8 раз по сравнению с одноподвесной системой. Установлено, что для двухподвесной системы контактные усилия взаимодействия резцов с дорожным полотном не способствуют изгибу подвесов без отклонения резцов от рабочего положения резания за счет плоскопараллельного смещения резцов. Показано достижение стабилизации резца в плоскости резания грунто-ледовой массы за счет крепления резцов на двух продольно расположенных упругих подвесах, выполненных из отрезков стального каната. Установлена правомерность раскрытия статической неопределимости системы крепления резца на двух подвесах, поскольку при проверке равновесие узла E, в котором сходятся три силового участка, подтверждено.

Ключевые слова: дорожная фреза, резец, подвес, смещение, изгиб, стабилизация

EVALUATION OF THE POSSIBILITY OF STABILIZATION OF REVERSE ROAD CUTTERS WITH THE TWO SUSPENSION SYSTEM

Kulepov V.F., Shurashov A.D., Nikandrov I.S., Gorshkov A.S., Malygin A.L.

Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev, Dzerzhinsk, e-mail: gorshkov_as@mail.ru

The displacement of the tool, fixed on two elastic suspensions, is estimated in the process of its interaction with the destroyed medium under the influence of flexural forces in the suspensions from the cutting force and the reaction of the road surface. The diagrams of the longitudinal and transverse forces and the arising bending moments are given. By the solution of the canonical equations, the equation of the bend of the axis of suspension of the tool is obtained. Sizes of shift of cutters at their fastening on two longitudinal suspensions are determined and decrease in size of shift by 8 times in comparison with one suspended system is shown. It has been established that for two suspension systems, the contact forces of the engagement of the cutters with the roadway do not contribute to the bending of the suspensions without deflecting the cutters from the operating position of the cutting due to the plane-parallel displacement of the incisors. It is shown that the stabilization of the tool in the cutting plane of the ground-ice mass is achieved due to fastening of the cutters on two elastic suspensions from the lengths of the steel rope.

Keywords: road milling cutter, chisel, suspension, displacement, bending, stabilization

Для очистки прибордюрных зон улиц от смерзшихся отложений грунто-ледовых масс предлагают применять режущие рабочие органы [1, 2], в том числе торцевую фрезу [3]. Фреза представляет собой вращающийся диск с закрепленными на нем резцами на упругих подвесах [4]. Стабильное положение резцов при работе фрезы в плоскости резания определяет характер взаимодействия сил сопротивления в точке приложения основного усилия резания к резу фрезы.

Если крепление резца происходит на одном подвесе, который выполнен из отрезка троса (стального каната), при контакте резца с смерзшейся массой его положение destabilизируется и резец отклоняется и выходит из плоскости резания. В результате угол резания и направление усилия резания меняются (рис. 1, а). Если резец крепится на двух продольно расположенных подвесах, то за счет изгиба упругих стержней по схеме,

показанной на рис. 1, б, появляется возможность удержания резца в режущей плоскости при отклонении резца с подвесом.

Расчетная система определения сил взаимодействия при креплении резца на двух параллельных подвесах, смещенных в продольном направлении, становится статически неопределимой системой [5]. Контуры данной системы образуют элементы: «Диск – подвес передний – резец – подвес задний – диск». Это переводит задачу расчета образовавшейся рамы к трижды неопределимой системе.

В связи с отсутствием в литературе сведений по возможности и стабилизации резцов путем крепления их на двух подвесах и по механизму отклонения резца в точке сопротивления среды возникает необходимость проведения аналитического и экспериментального исследований силового взаимодействия резца при контакте с твердым полотном дороги.

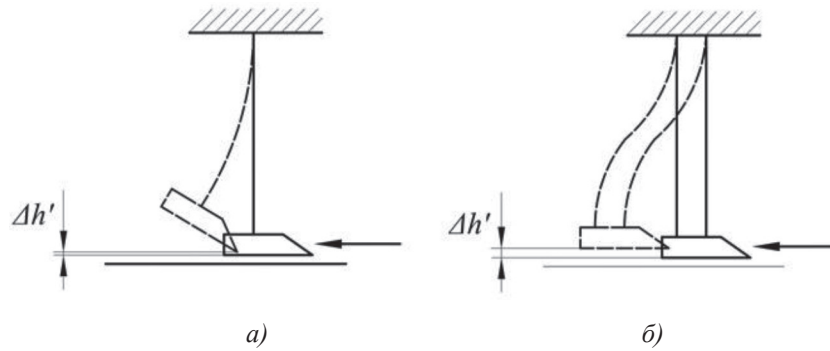
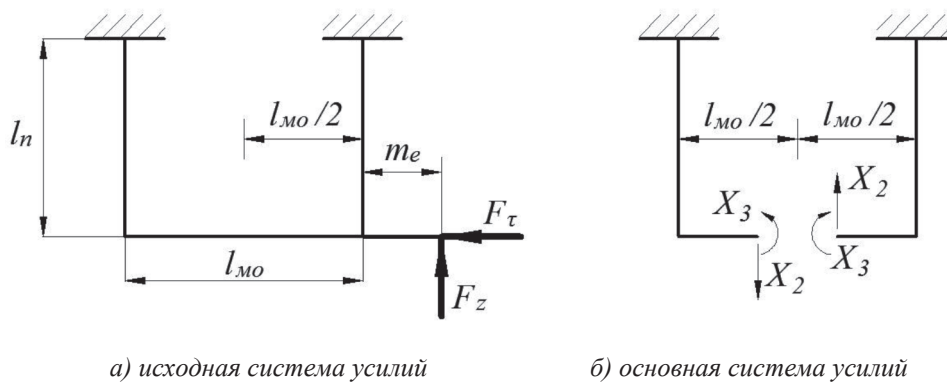


Рис. 1. Схемы отклонения подвеса при случайном контакте реза под действием суммарного с дорожным покрытием отклоняющего усилия



а) исходная система усилий

б) основная система усилий

Рис. 2. Схемы исходной и основной систем

Цель исследования

Выполнение анализа смещения реза при совместном действии силы резания и реакции дорожного полотна. Оценка возможности стабилизации положения реза при его закреплении на двух параллельных упругих подвесах.

Результаты исследования и их обсуждение

В процессе резания на резец действует внешняя нагрузка случайного контакта его с дорогой, которую можно разложить на две составляющие: силу резания F_τ , направленную параллельно плоскости дорожного полотна, и его вертикальную реакцию F_z , направленную перпендикулярно плоскости дороги. Рассмотрим рис. 2, а, на котором представлена исходная система усилий.

Параметр m_e является вылетом режущей кромки лезвия относительно оси переднего подвеса.

Для расчета данной статически неопределимой системы нами выбрана основная система, освобожденная от дополнительных связей и представленная на схеме рис. 2, б.

В результате замены отброшенных связей силовыми факторами X_1, X_2, X_3 система становится статически определяемой. Данные силовые факторы имеют следующие смыслы: X_1 – неизвестное продольное усилие в резце; X_2 – неизвестное поперечное усилие в резце; X_3 – неизвестный изгибающий момент в резце.

Полученная статически определяемая система имеет 6 неизвестных, а степень статической неопределимости ее остается равной трем. Это позволяет составить три канонических уравнения системы, после решения которых путем раскрытия статической неопределимости методом сил [6] будут определены 3 неизвестных фактора.

В этом случае для трижды статически неопределимой системы система канонических уравнений метода сил примет вид

$$\delta_{11} \cdot X_1 + \delta_{12} \cdot X_2 + \delta_{13} \cdot X_3 + \Delta_{1P} = 0, \quad (1)$$

$$\delta_{21} \cdot X_1 + \delta_{22} \cdot X_2 + \delta_{23} \cdot X_3 + \Delta_{2P} = 0, \quad (2)$$

$$\delta_{31} \cdot X_1 + \delta_{32} \cdot X_2 + \delta_{33} \cdot X_3 + \Delta_{3P} = 0, \quad (3)$$

где δ_{ik} – единичные коэффициенты канонических уравнений; Δ_{iP} – грузовые коэффициенты канонических уравнений.

1-е уравнение приводит к нулю взаимное сближение или удаление среднего сечения резца (в плоскости симметрии системы).

2-е уравнение приводит к нулю взаимный сдвиг среднего сечения резца (в плоскости симметрии системы).

3-е уравнение приводит к нулю взаимный поворот среднего сечения резца (в плоскости симметрии системы).

Коэффициенты уравнений определяют способом Верещагина путем перемножения единичных и грузовых эпюр [7].

После определения единичных и грузовых коэффициентов нами получены следующие решения канонических уравнений:

$$X_1 = \frac{F_\tau}{2}, X_2 = -\frac{F_\tau \cdot l_n}{2l_{mo}}, X_3 = 0.$$

Это позволило получить следующие эпюры внутренних силовых факторов (рис. 3).

Уравнение изогнутой оси каната можно представить в виде момента $M_x(z)$:

$$M_x(z) = -\frac{F_\tau l_n}{4} + F_\tau z, \quad (4)$$

$$\int M_x dz = -\frac{F_\tau l_n}{4} z + \frac{F_\tau z^2}{4} + C. \quad (5)$$

При сохранении резца в плоскости резания угол поворота каната в заделке равен нулю, и постоянная величина интегрирования «С» также равна нулю ($C = 0$).

После вторичного интегрирования получаем

$$\iint M_x dz = -\frac{F_\tau l_n z^2}{8} + \frac{F_\tau z^3}{12} + D. \quad (6)$$

Постоянная интегрирования «D» может быть определена из условия равенства нулю смещения каната в заделке ($D = 0$).

Само смещение (Δ) как функция продольной координаты z определится выражением

$$\Delta = \frac{\iint M_x dz}{EJ_x} = \frac{2F_\tau z^3 - F_\tau l_n z^2}{24EJ_x}. \quad (7)$$

Следовательно, при $z = l_n$ смещение резца равно

$$\Delta = \frac{2F_\tau l_n^3 - 3F_\tau l_n^3}{24EJ_x} = -\frac{F_\tau l_n^3}{24EJ_x}. \quad (8)$$

При условии использования в качестве материала подвесов троса (стального каната) диаметром 19 мм ГОСТ 3063-80 [8] величина смещения резца с рациональными геометрическими параметрами подвеса, закрепленного на двух продольных подвесах, Δ_2 снижается в 8 раз по сравнению с одноподвесной системой Δ_1 :

$$\Delta_2 = \frac{F_\tau l_n^3}{24EJ_x}, \quad (9)$$

$$\Delta_1 = \frac{F_\tau l_n^3}{3EJ_x}, \quad (10)$$

$$\frac{\Delta_2}{\Delta_1} = \frac{F_\tau l_n^3 \cdot 3EJ_x}{24EJ_x \cdot F_\tau l_n^3} = \frac{1}{8}. \quad (11)$$

Выполнен расчет смещений резца при образовании изгибных усилий в подвесах от реакции дорожного покрытия (рис. 2, а) в точке контакта с резцом.

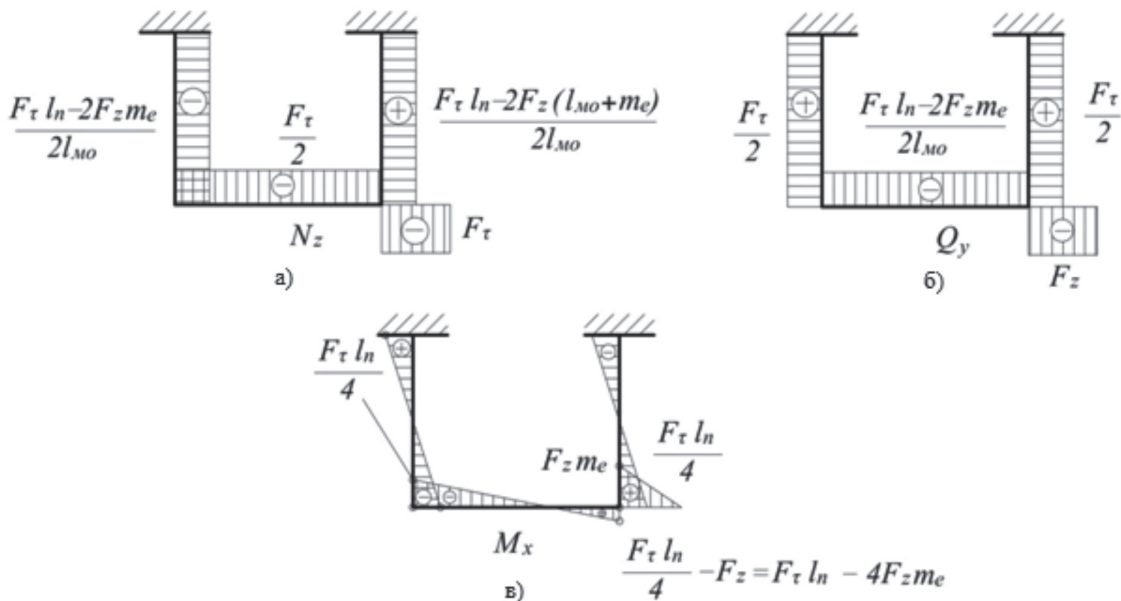


Рис. 3. Итоговые эпюры: продольных усилий (а), поперечных усилий (б) и изгибающих моментов (в)

Ввиду сохранения основной системы все единичные коэффициенты канонических уравнений не претерпят изменений, поэтому достаточно выполнить определение только трех грузовых коэффициентов, которые имеют значения

$$\Delta_{1P} = \frac{m_e F_z l_n \frac{l_n}{2}}{EJ_x} = \frac{m_e F_z l_n^2}{2EJ_x}, \quad (12)$$

$$\Delta_{2P} = -\frac{m_e F_z l_n \frac{l_{mo}}{2}}{EJ_x} = -\frac{m_e F_z l_n l_{mo}}{2EJ_x}, \quad (13)$$

$$\Delta_{3P} = \frac{m_e F_z l_n \cdot 1}{EJ_x} = \frac{m_e F_z l_n}{EJ_x}. \quad (14)$$

В итоге это дает следующие решения канонических уравнений:

$$X_1 = 0, \quad (15)$$

$$X_2 = \frac{m_e F_z l_n l_{mo}}{l_{mo}^2 l_n} = \frac{m_e F_z}{l_{mo}}, \quad (16)$$

$$X_3 = \frac{m_e F_z l_n^2}{2l_n^2} = \frac{m_e F_z}{2}. \quad (17)$$

В соответствии с уравнениями получены итоговые эпюры внутренних силовых факторов, показанных на рис. 3.

Анализируя полученные эпюры, можно заметить, что нормальная реакция дорожного полотна приводит к сжатию переднего подвеса усилием $F_z \left(1 + \frac{m_e}{l_{mo}}\right)$ и растяжению заднего усилием $\frac{m_e F_z}{l_{mo}}$. При этом их значения по сравнению с усилиями деформации

изгиба ничтожно малы. Реакция дорожного полотна не вызывает изгиб подвесов, а приводит к плоскопараллельному смещению резаца.

Принцип независимости действия сил гласит, что совместное действие силы резания и нормальной реакции дорожного полотна определится алгебраической суммой каждой из внешних сил. Представим исходную систему, на которую воздействуют обе силы (F_τ , F_z), схемой представленной на рис. 4.

Правильность раскрытия статической неопределенности подтверждает равновесие узла (×E), в котором сходятся 3 силовых участка (передний подвес – режущая кромка резаца – корпус резаца) (рис. 5).

$$\sum F_{ix} = 0; \frac{F_\tau}{2} + \frac{F_\tau}{2} - F_\tau = 0; \quad (18)$$

$$\sum F_{iy} = 0; \frac{F_\tau l_n - 2F_z (l_{mo} + m_e)}{2l_{mo}} + F_z - \frac{F_\tau l_n - 2m_e F_z}{2l_{mo}} = 0; \quad (19)$$

$$\sum M_E = 0; \frac{F_\tau l_n}{4} - \frac{F_\tau l_n - 4m_e F_z}{4} + F_z m_e = 0. \quad (20)$$

Поскольку в узле E устанавливается равновесие сил, то адекватность раскрытия статической неопределенности системы крепления резаца на двух подвесах правомерна. Кроме того, очевидно, что равноопасное сечение обоих подвесов в системе находится в верхней и нижней заделках.

В каждой из них изгибающий момент равен $\frac{F_\tau l_n}{4}$.

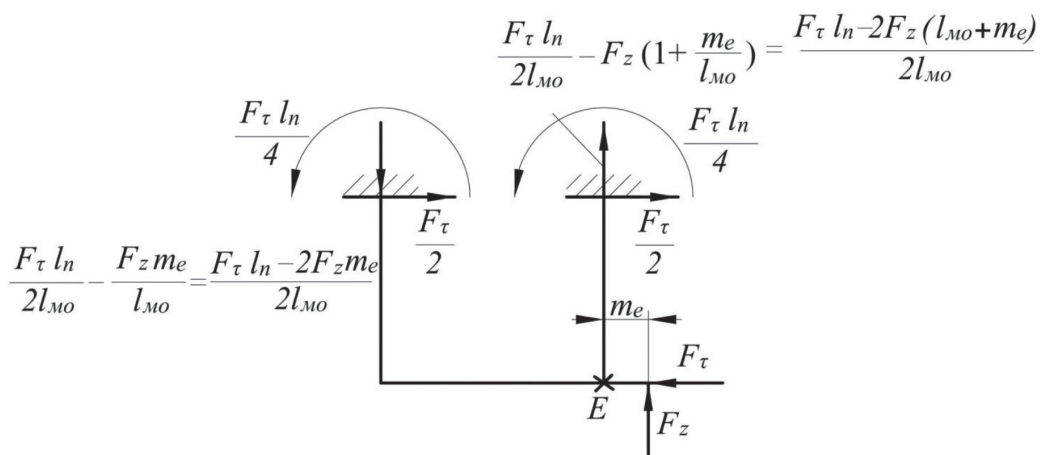


Рис. 4. Исходная система сил

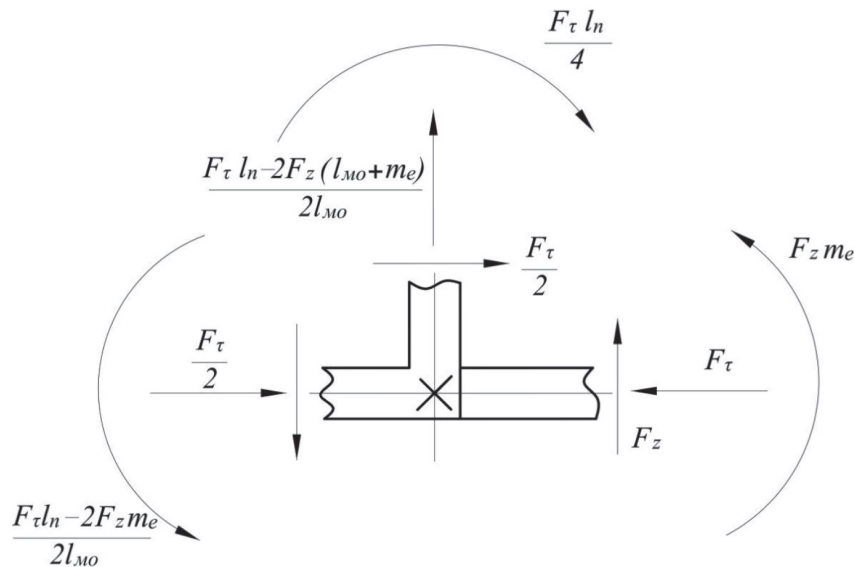


Рис. 5. Схема проверки адекватности раскрытия системы

Режущая способность резцов фрезы ограничена пределом текучести материала проволок каната σ_{τ} . Тогда

$$\frac{F_{\tau} l_n}{4} = [\sigma_{\tau}] W_x, \quad (21)$$

$$F_{\tau} = \frac{4[\sigma_{\tau}] W_x}{l_n}. \quad (22)$$

Это определяет режущую способность для двухподвесного крепления резцов на диске фрезы.

При этом W_x каната будет равен

$$W_x = \frac{J_x}{D/2} = \frac{2J_x}{D}. \quad (23)$$

Стабилизация рабочего положения резца при резании подтверждена экспериментально при испытании рабочего макета торцевой фрезы диаметром диска 310 мм.

Заключение

Исследованием характеристик подвеса резцов на двух параллельно смещенных канатах показано, что равноопасное сечение по обоим канатам находится в верхней и нижней заделках. Анализ смещения резцов показывает достижение стабилизации их положения при совместном воздействии усилий резания и реакции дорожного покрытия при контакте с дорогой в случае крепления резцов на двух параллельных подвесах. Увеличение смещения при этом не происходит, а действие вертикальной реакции приводит лишь к перераспределению сжимающих и растягивающих усилий в канатах подвеса.

са. Резец претерпевает плоскопараллельное смещение, сохраняя режущее положение относительно плоскости очищаемого дорожного полотна, что подтверждено испытаниями опытного макета торцевой фрезы.

Список литературы

1. Ганжа В.А. Обоснование конструкции и основных параметров дискового режущего инструмента для разрушения снежно-ледяных образований: дис. ... канд. техн. наук. – Нижний Новгород, 2011. – 185 с.
2. Пат. 91343 Российская Федерация, МПК E01H 5/12 (2006.01). Устройство для удаления снежно-ледяных образований с дорожных покрытий / Т.В. Жубрина; заявитель и патентообладатель Жубрина Татьяна Владимировна. – № 2008128856/22, заявл. 14.07.2008; опубл. 10.02.2010, Бюл. № 4. – 3 с.
3. Горшков А.С. Определение параметров торцевой фрезы для очистки дорог [Электронный ресурс] / А.С. Горшков, В.Ф. Кулепов, И.С. Никандров, А.Л. Малыгин, А.Д. Шурашов // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 5. URL: <http://www.science-education.ru/119-14651> (дата обращения: 16.03.2018).
4. Горшков А.С. Расчет подвесов режущих элементов торцевой фрезы для очистки прибордюрных зон улиц / А.С. Горшков, В.Ф. Кулепов // Инновации технических решений в машиностроении и транспорте: сборник статей Всероссийской научно-технической конференции для молодых ученых и студентов с международным участием / МНИЦ ПГСХА. – Пенза: РИО ПГСХА, 2015. – С. 55–58.
5. Строительная механика: учебное пособие для строительных специальностей вузов / А.А. Борисевич, Е.М. Сидорович и В.И. Игнатюк; кол. авт. Белорусский национальный технический университет. – Изд. 2-е, перераб. – Минск: БНТУ, 2009. – 756 с.
6. Краткий курс сопротивления материалов: учеб. пособие / А.Н. Дербасов [и др.]; под ред. Н.А. Ильичева; Новгород, гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева. – Н. Новгород, 2014. – 86 с.
7. Энергетические методы определения перемещений и решение статически неопределимых балок методом сил: учеб. пособие для студентов / И.А. Сабанаев, Ф.М. Алмакаева. – Казань: Казан. гос. технол. ун-т, 2008. – 41 с.
8. ГОСТ 3063-80. Канат одинарной свивки типа ТК конструкции 1x19 (1+6+12). Сортамент. – М.: ИПК издательство стандартов, 1996. – 5 с.