

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СИЛ СОПРОТИВЛЕНИЯ ВРАЩЕНИЮ РАБОЧЕГО ОРГАНА ПОДКОПОЧНОЙ МАШИНЫ

Вахидов У.Ш., Вершинин А.В., Колесниченко Н.А., Пуртов А.Р.

ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», г. Нижний Новгород, Россия (603950, ГСП-41, Н.Новгород, ул. Минина, д.24), e-mail: umar-vahidov@mail.ru

В статье рассматриваются вопросы определения величины силы сопротивления вращения рабочего органа машины для удаления грунта из под трубопровода. Авторами описывается процесс изменения силы резания в зависимости от количества резцов, установленных на фрезе. Полученные зависимости между величиной колебания нагрузки на рабочем органе и суммарной силой сопротивления, действующей на валу двигателя, позволяют оценить как затраты на разработку грунта, так и определить максимально-возможную производительность машины. В данной работе представлена методика экспериментального определения как суммарной величины силы резания действующей на вал двигателя, так и таких показателей, как её амплитуда, частота изменения и период действия. Впервые получены экспериментальные зависимости данного параметра для различных вариантов установки резцов на рабочем органе. Приведён расчёт, по результатам которого определены условия определения основных параметров изменения силы резания.

Ключевые слова: фрезерный рабочий орган, сила сопротивления резанию, величина колебаний нагрузки, экспериментальные исследования.

THE METHOD OF DETERMINATION OF STRENGTH OF THE RESISTANCE MOVEMENT OF THE BLADE SNOW PLOWS

Vahidov U.S., Vershinin A.V., Kolesnichenko N.A., Purto A.R.

Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E.Alekseyev, Nizhny Novgorod, Russia (603950, Nizhny Novgorod, street Minina, 24), e-mail: umar-vahidov@mail.ru

The article considers the issues of determine the magnitude of the force of resistance to rotation of the working body of the machine to remove the ground from under the pipeline. The author describes the process of change cutting forces depending on the number of cutters mounted on the cutter. The obtained relation between the magnitude of the fluctuations in the load on the working body and the total force acting on the shaft of the engine, allow us to estimate how the costs of development of the soil and to determine the maximum possible performance of the machine. This paper presents the method of experimental determination of both the total magnitude of the cutting force acting on the motor shaft, and metrics such as its amplitude, frequency changes and the validity period. First obtained experimental dependence of this parameter for different installation options cutters on the desktop authority. The above calculation, the results of which are defined terms definitions of key parameters change forces.

Keywords: milling the working body, the force of resistance to cutting, the amount of load fluctuations, experimental studies.

Развитие трубопроводного транспорта нефти, нефтепродукта и газа нашей страны находится на таком этапе, когда главной задачей является достижение максимальной эффективности производства и высокое качество продукции. В условиях современного производства от надежности функционирования таких сложных транспортных комплексов, какими являются магистральные трубопроводы, во многом зависит не только плановое развитие многих отраслей, но и их научно-технический прогресс.

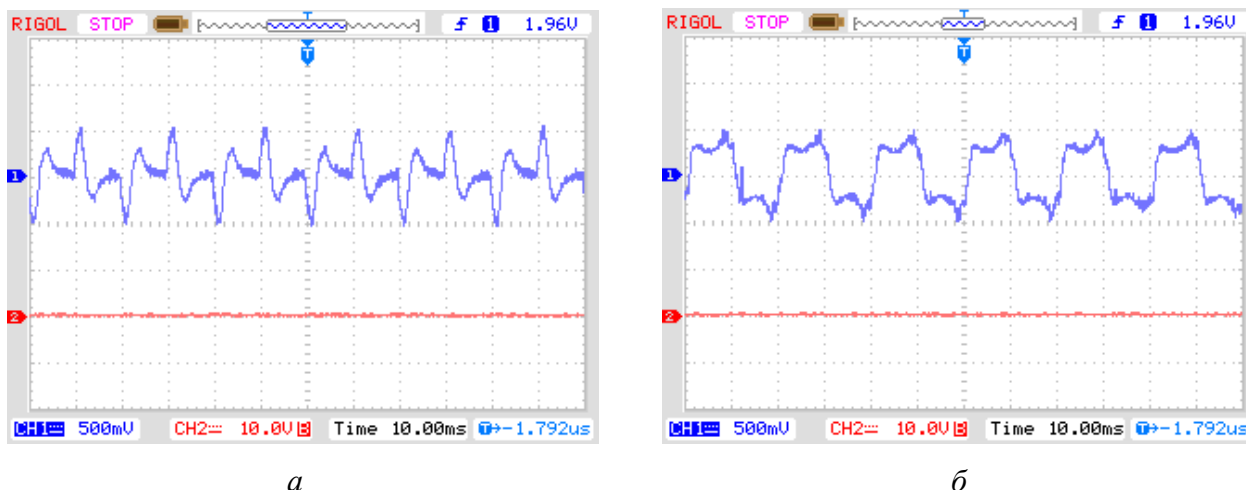
Для обеспечения надежной эксплуатации магистральных трубопроводов и восстановления их технических характеристик – ежегодно должна производиться замена 1500 км труб и 3000 км изоляционного покрытия. Ранее, в результате капитального ремонта

заменялось по 600 км труб и 820 км изоляционного покрытия по стране. В 2013 году было заменено только 300 км изоляционного покрытия, в 2014 году было заменено лишь 100 км. Данная ситуация, обусловленная недостаточным финансированием. Это чревато ростом вероятности аварий. Величина данного параметра при современном состоянии трубопроводной сети составляет до 2-ух крупных в год на каждую 1000 км трубопроводов.

Если развитие и совершенствование строительства трубопроводов является первым направлением в решении проблемы транспорта газа, нефти и нефтепродуктов, то капитальный ремонт (который обеспечивает долговечное сохранение трубопроводов в эксплуатационном состоянии) – является вторым направлением в решении этой проблемы транспорта.

Одним из путей повышения качества и эффективности ремонта трубопроводов является выбор рациональных параметров машины для удаления грунта из-под трубопровода, наряду с затратами на передвижение и эффективностью движения [4-8] значительная часть сопротивления (до 20 % всех энергетических затрат комплекса машин) приходится именно на фрезерование. Так как каждый тип установки резцов на фрезерном рабочем органе характеризуется своей величиной силы резания, которая в свою очередь является определяющей в силе сопротивления движения машины, то для определения рациональных параметров установки резцов наиболее информативно будет сравнение именно зависимостей относительного колебания силы резания от общей величины энергоёмкости разрушения грунта. Теоретические зависимости, определяющие данную величину были приведены в работах [2, 3 и 9]. Экспериментальных исследований данного параметра до настоящего времени не проводилось.

Наиболее простым способом найти усилие, действующее на рабочий орган, имеющий электрический привод, является определение произведения напряжения на электромоторе на потребляемую силу тока. Данная работа была выполнена с использованием комплекса измерительной аппаратуры RIGOL. В общем виде результаты работы могут быть проиллюстрированы полученными зависимостями, показанными на рис. 1. С учётом того, что мощность на фрезерование представляет собой произведение крутящего момента на частоту вращения рабочего органа, накладывая на полученные результаты по мощности такую величину как скорость вращения рабочего органа (определяемую исходя при помощи индуктивного датчика скорости, применяемого в автомобильной промышленности), можем получить реальное значение крутящего момента, а, зная расстояние от режущей кромки резца до оси вращения фрезы, и силу резания.



а

б

Рис.1. Графические зависимости изменения мощности вращения фрезерного рабочего органа подкочной машины; а – при свободном вращении б – при фрезеровании грунта;

1 – изменение силы тока; 2 – изменение напряжения

Полученные данные показывают, что изменением напряжения при вращении электромотора можно пренебречь, а амплитуда колебания тока, оставаясь постоянной, изменяет время своего воздействия, тем самым увеличивая потребляемую электромотором мощность.

Следует отметить, что величина силы резания грунта не является постоянной величиной и зависит от суммарного усилия резания каждого из резцов. В общем виде эта зависимость может быть представлена на рисунке 2 [1].

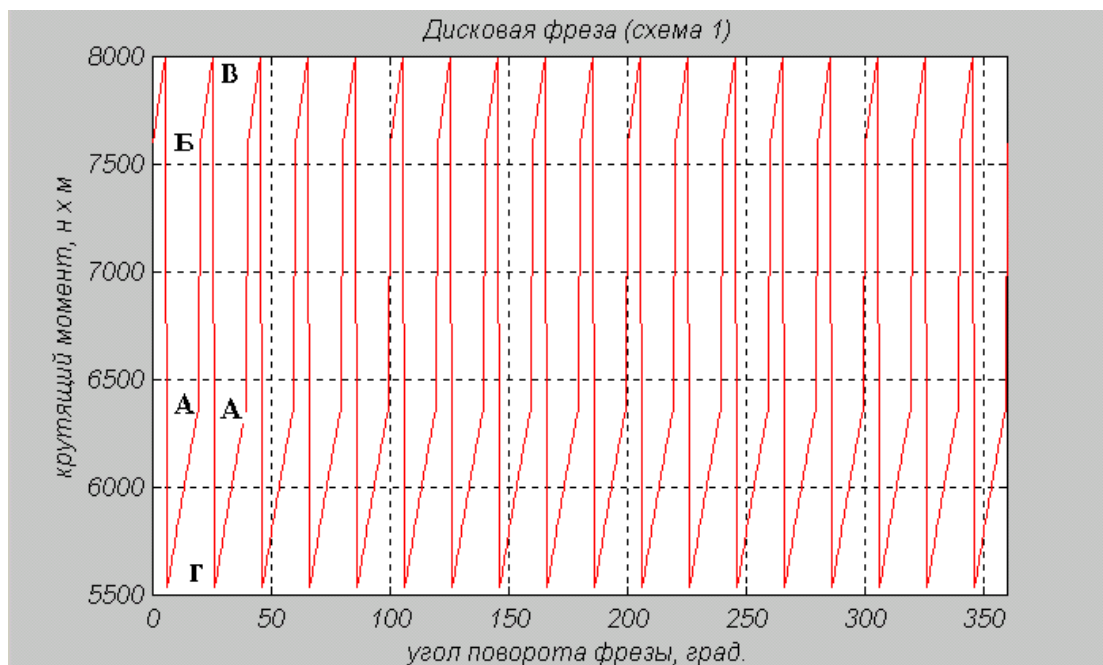


Рис. 2. Изменение крутящего момента на фрезе в процессе фрезерования грунта

На рисунке 2 приведён график изменения крутящего момента за один оборот фрезы диаметром 1,37 метра с 18 зубьями одинаковой толщины. При этом угол резания составлял

40 градусов, скорость резания – 3,27 м/с, скорость подачи – 1 км/час, ширина прорези – 0,1 метра, температура воздуха – -20⁰С, применяемый способ резания – блокированный в угле. Из рисунка видно, что фреза в процессе работы будет подвергнута значительным динамическим нагрузкам. Крутящий момент будет меняться от 5,5кНм до 8кНм. Разница составит 68 %. При этом точка А на рисунке соответствует началу взаимодействия нового резца с грунтом. Величина крутящего момента на это время равная 6,4кНм обеспечивается резанием грунта тремя резцами, находящимися в данный момент в забое. Увеличение силы резания и, соответственно, крутящего момента от дополнительного резца составит 1.2кНм, для условия резания мёрзлого грунта при температуре 0⁰С. Увеличение нагрузки на фрезу в данный момент времени иллюстрирует участок АБ на рисунке, когда нагрузка возрастает практически мгновенно. Затем все четыре резца, находящиеся в забое, начинают резать грунт со всё более низкой температурой. Заглубление резца под действием подачи машины приводит к линейному росту нагрузки на рабочем органе, который иллюстрируется участок БВ на графике 2. В точке В происходит выход из забоя одного из резцов, в результате чего в забое остаётся только три резца, а нагрузка на фрезу падает пропорционально силе резания верхнего слоя грунта. В нашем случае мгновенное уменьшение нагрузки составит 2,5кНм, что проиллюстрировано участком ВГ на рисунке 2. В дальнейшем три резца, срезая всё более толстую стружку, в результате поворота фрезы будут способствовать линейному увеличению нагрузки, о чём свидетельствует участок ГА на рисунке 2. И, наконец, в точке А происходит внедрение в мёрзлый грунт четвёртого резца, и весь процесс повторяется.

Усилие резания на одном резце в настоящее время принято определять из уравнения [3]:

$$P = P_{ЭТ} \cdot \left(\frac{h}{q}\right)^n \cdot [1 + \beta \cdot (b - 0,01)] \cdot (1 + (k \cdot (t - 5^\circ))^m) \cdot (1 + \xi \cdot V) \cdot [1 + \zeta \cdot (\alpha - 40^\circ)^2] \cdot \mu, \quad (1)$$

где: $P_{ЭТ}$ – эталонная сила резания мерзлого грунта (Н), получаемая при резании мерзлого грунта толщиной $h=0,01$ (м), резцом шириной $b=0,01$ (м), угле резания $\alpha=40^\circ$, скоростью резания $V=0$ (м/с), при температуре мерзлого грунта -5°C .

t – модуль температуры мерзлого грунта на момент испытаний;

Коэффициенты $n = 0,47$, $q=0,01$ (м), $\beta=0,865$ (1/м), m , $\xi=0,1$ (с/м), и $\zeta=3,2 \cdot 10^{-3}$ (1/град²) характеризуют степень зависимости изменения силы резания от изменения соответственно глубины резания, ширины резца, температуры, скорости резания и угла забоя;

k – коэффициент, характеризующий зависимость прочностных свойств мерзлого грунта от температуры (1/град);

μ – коэффициент блокированности резания.

Тогда уравнение замедления вращения рабочего органа под действием переменной силы резания примет вид:

$$\varepsilon = \frac{\sum_{i=1} P_i l \omega}{J} \rightarrow a = \frac{\sum_{i=1} P_i}{m} = \frac{\sum_{i=1} \int_{v_1}^{v_2} P_i}{m} = \frac{P_p}{m} \left(1 + \int_{v_1}^{v_2} \xi d v\right), \quad (2)$$

где P_i – сила резания на i – ом резце, P_p – составляющая силы резания без учёта скорости, l – расстояние от резца до оси вращения фрезы, ω – частота вращения фрезы, v – линейная скорость резания, а m – масса рабочего органа. Решая данное уравнение, получим:

$$a = \frac{P_p}{m} (1 + \xi(v_2 - v_1)) = \frac{(v_2 - v_1)}{t} \rightarrow \frac{P_p}{m} t + \frac{P_p}{m} \xi t (v_2 - v_1) = (v_2 - v_1) \rightarrow \Delta v = \frac{\frac{P_p}{m} t}{\left(1 - \frac{P_p}{m} \xi t\right)} \quad (3)$$

С учётом того, что период изменения усилия на рабочем органе зависит от скорости вращения фрезы и количества установленных резцов, уравнение (3) примет вид:

$$\Delta P_p = m \frac{\Delta v}{2\pi n (1 + \xi \Delta v)} \rightarrow \frac{\Delta P_p}{P_p} = \frac{n_1}{\Delta n} \frac{\Delta v}{(1 + \xi \Delta v) v_1}, \quad (4)$$

где n – количество установленных на фрезе резцов. Решение данного уравнения показано на рисунке 3

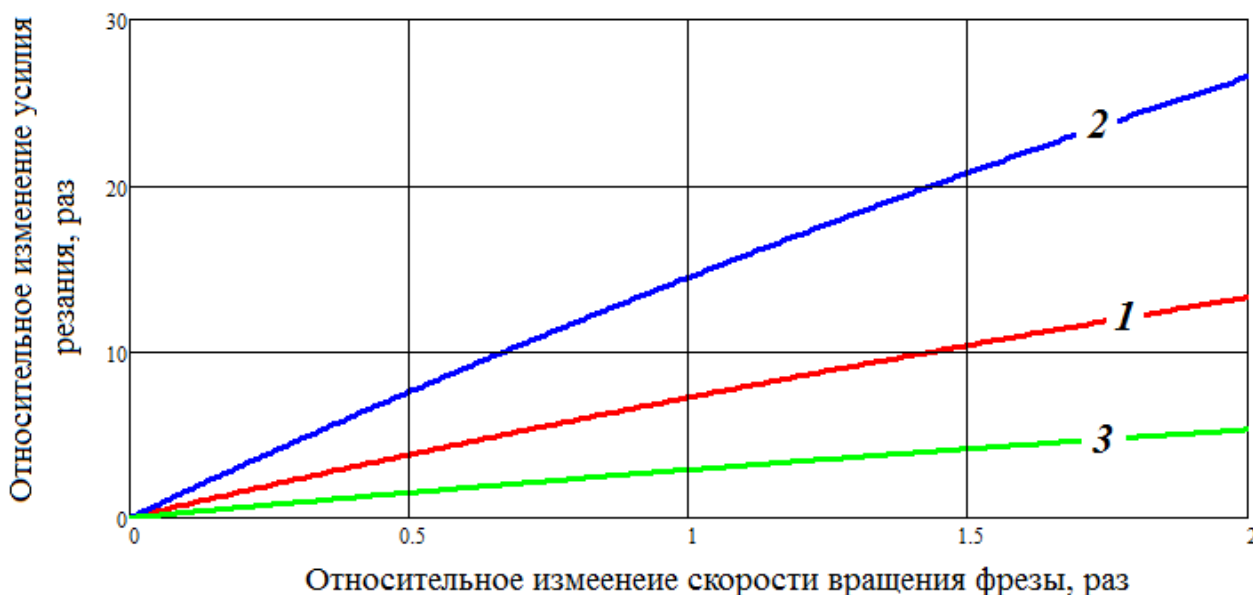


Рис. 3. Изменение усилия резания (крутящего момента на фрезе) в зависимости от относительного изменения скорости вращения фрезы;
 1 – базовое количество резцов; 2 – уменьшенное в 2 раза количество резцов; 3 – удвоенное количество резцов

Полученные данные свидетельствуют о том, что частота воздействия силы резания и её амплитуда оказывают существенное изменение в усилии резания. Особенно резко возрастает усилие резания и соответственно момент сопротивления вращению в случае, если в забое не остаётся ни одного резца. Следует отметить, что разница в максимальных и минимальных скоростях вращения фрезы определяется параметрами рабочих характеристик двигателя (мотор-редуктора). Для наиболее распространённых типов привода, а именно асинхронных двигателях колебания скорости вращения фрезы могут достигать величины, равной $\Delta n_{PO} = 0,15 \frac{n_{НОМ}}{i} = 0,15 n_{НОМ PO}$ [10], см. рисунок 4, где $n_{НОМ}$ – номинальные обороты электродвигателя, а i – передаточное отношение редуктора. То есть пределы колебаний могут достигать 15 %, что (согласно уравнения 4) даёт увеличение силы сопротивления резанию, а значит, и моменту сопротивления на валу рабочего органа более чем в 2 раза, в результате чего процесс резания может быть нарушен, так как стандартное отношение номинального и максимального крутящих моментов асинхронных двигателей не превышает 2.

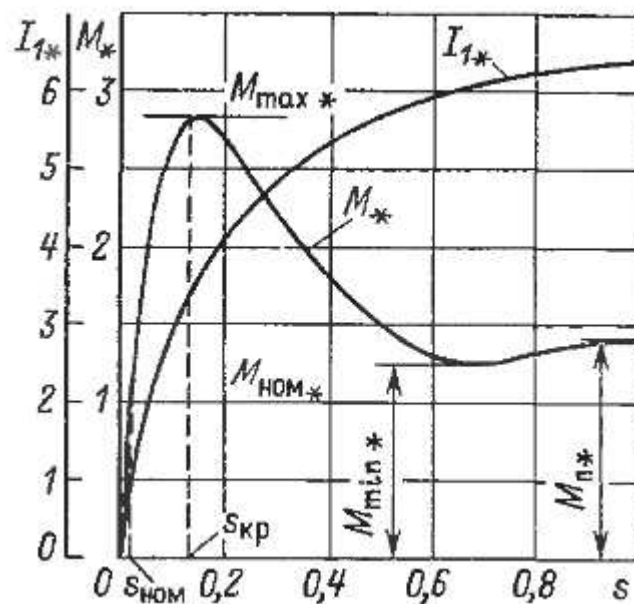


Рис. 4. Стандартная зависимость изменения мощности на валу асинхронного электродвигателя от величины скольжения [10]

Аппроксимируя зависимость между номинальным и максимальным моментом прямой линией получим уравнение колебаний вращения рабочего органа, приводимым в действие асинхронным двигателем:

$$\frac{\Delta M_p}{M} = 13,333 \frac{\Delta v}{v_1} = \frac{n_1}{\Delta n (1 + \xi \Delta v) v_1} \Delta v \rightarrow \frac{n_1}{(1 + \xi \Delta v) \Delta n} = 13,333$$

Откуда:

$$\Delta v = \frac{1}{\xi} \left(\frac{n_1}{13,333 \Delta n} - 1 \right) \quad (5)$$

Тогда относительное колебание крутящего момента и усилия резания может быть определено как:

$$\frac{\Delta P_p}{P_p} = \frac{\Delta M_p}{M} = \frac{\frac{n_1}{13,333} - 1}{\xi v_1}, \quad (6)$$

Полученные данные позволяют на этапе проектирования определить как величину относительного колебания крутящего момента и силы сопротивления вращения рабочего органа подкочечной машины, так и при заданном значении $\frac{\Delta M_p}{M}$ для конкретного двигателя определить минимально возможное количество резцов в забое.

Список литературы

1. Артющкин А.В., Богачёв Д.В., Молев Ю.И. Прижимные движители рабочего оборудования машин для ремонта трубопроводов. – М.: Журнал «Строительные и дорожные машины», 2012. – № 8. – С. 22-25.
2. Артющкин А.В. Очистная машина для ремонта и содержания трубопроводов. Рекомендации по выбору типа движителя / А.В. Артющкин, В.С. Макаров, Ю.И. Молев, В.А. Шапкин // Современные проблемы науки и образования: электронное научно-техническое издание. – 2013. – № 6; URL: www.science-education.ru/113-10925
3. Вахидов У.Ш. Машины для разработки льда, снега и мёрзлого грунта: учебное пособие / У.Ш. Вахидов, И.А. Ерасов, Ю.И. Молев, В.А. Шапкин. – Н.Новгород: НГТУ, 2014. – 175с.
4. Вахидов У.Ш., Макаров В.С., Беляков В.В. Определение характеристик микропрофиля в поймах рек Северного Кавказа // Интеллектуальные системы в производстве. – 2011. – № 1. – С. 82-88.
5. Вахидов У.Ш., Макаров В.С., Беляков В.В. Математическое описание дорог типа «stone-road» // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 3; URL: www.science-education.ru/103-6376.
6. Гончаров К.О., Макаров В.С., Беляков В.В. Влияние экскавационно-бульдозерных эффектов, возникающих при криволинейном движении колеса на сопротивление качению // Наука и образование: электронное научно-техническое издание. – 2010. – № 6. – С. 3.

7. Зезюлин Д.В., Макаров В.С., Беляков В.В. Расчетный анализ влияния параметров движителей на показатели эффективности колесных машин при движении по снежному полотну пути // Леса России и хозяйство в них. – 2012. – Т. 1-2. – № 42-43. – С. 41-42.
8. Макаров В.С., Гончаров К.О., Беляков В.В., Зезюлин Д.В., Беляев А.М., Папунин А.В., Редкозубов А.В. Определение характеристик микропрофиля дорог, предназначенных для движения транспортно-технологических машин // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 5; URL: www.science-education.ru/105-7111.
9. Моделирование процессов взаимодействия со средой рабочих органов дорожно-строительных машин / В.И. Баловнев [и др.]. – М.: Высш. шк., 1981. – 335 с.
10. Справочник по электрическим машинам: В 2 т. / пол общ. ред. И. П. Копылова и Б. К. Клокова. Т. 1. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 456 с.: ил.

Рецензенты:

Молев Ю.И., д.т.н., профессор кафедры «Строительные и дорожные машины» ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», г. Нижний Новгород.

Шапкин В.А., д.т.н., профессор кафедры «Строительные и дорожные машины» ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», г. Нижний Новгород.