

ВЛИЯНИЕ НЕРАВНОМЕРНОСТИ СКОРОСТИ РЕЗАНИЯ МЁРЗЛОГО ГРУНТА ПОДКОПОЧНОЙ МАШИНЫ НА ЭНЕРГОЁМКость ЕГО РАЗРУШЕНИЯ

Вершинин А.В., Ерасов И.А., Левшунов Л.С., Янкович А.В.

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: vav-shurik@mail.ru

В статье дается энергетическая оценка эффективности работы рабочего органа подкопочной машины для ремонта и содержания трубопроводов в зависимости от изменения скорости его вращения. Впервые представлены расчётные зависимости данного параметра для различных конструкций рабочих органов. Приведён расчёт, по результатам которого определены условия рационального применения того или иного типа установки фрезы в забое. Полученные результаты свидетельствуют о том, что вновь предложенная зависимость позволяет уточнить мгновенную затрачиваемую мощность при фрезеровании мёрзлого грунта на 40 %, а среднюю эффективную мощность фрезерования на 5 %. Кроме того, данная зависимость позволяет рационально расположить фрезу относительно забоя для обеспечения меньших затрат на фрезерование, которые могут быть снижены на 5–10 %.

Ключевые слова: подкопочная машина, мёрзлый грунт, сила резания, скорость вращения, затрачиваемая мощность.

THE INFLUENCE OF THE UNEVEN SPEEDS OF FROZEN GROUND BY MEANS EARTH-MOVING MACHINE, ON THE ENERGY INTENSITY OF ITS DESTRUCTION

Vershinin A.V., Erasov I.A., Levshunov L.S., Yankovich A.V.

Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E.Alekseyev, Nizhny Novgorod, Russia (603950, Nizhny Novgorod, street Minina, 24), e-mail: vav-shurik@mail.ru, mon-gosha@rambler.ru, wlev.lev@yandex.ru, ngtu-cdm@mail.ru

The article gives the energy estimation of the efficiency of work of the main movers of the machines for repair and maintenance of pipelines – wheeled and walking. Discusses a private task of definition of efficiency – efficiency mover, which is the ratio between the thrust and power of resistance movement. For the first time shows the calculated dependence of this parameter for. The results obtained indicate that the newly proposed dependence allows to specify the instantaneous power to be used when milling the frozen ground at 40%, and the average effective capacity of milling by 5%. In addition, this dependence allows us to rationally arrange the cutter relative to slaughter to ensure lower costs of milling, which can be reduced by 5–10 %.

Keywords: machine for excavation under the pipeline, frozen ground, cutting power, rotational speed, spent power.

Российская Федерация с 2005 года является мировым лидером по грузообороту, приходящемуся на трубопроводный транспорт. По своей рентабельности данный вид транспорта уступает только морскому транспорту. Однако в последние годы в развитии данного вида транспорта наметились и негативные тенденции. Так, снижаются инвестиции в основной капитал магистральной сети трубопроводов, закрываются целые проекты, такие как «Южный поток», снижаются затраты на ремонт и содержание трубопроводов, которые в настоящее время не превышают 1,1 % от общего объёма инвестиций, за последние 10 лет себестоимость перекачки нефтепродуктов возросла в 3,5 раза, а нефти – в 2 раза. В настоящее время доходность перекачки именно нефтепродуктов находится на критическом уровне. Такая характеристика экономической составляющей работы трубопроводного транспорта объясняется тем, что трубы, проложенные более 30 лет назад, практически полностью выработали свой ресурс и в настоящее время осуществляется их замена. Так как

большая часть трубопроводов проложена от мест добычи газа и нефти, расположенных на крайнем Севере нашей страны, то трубопроводы чаще всего прокладываются по болотистой [9, 10] местности, проходимость [3] по которой в условиях положительных температур является ограниченной. Плановое выполнение их ремонта, в связи с условиями эксплуатации, приходится на зимний период. Однако, повышая проходимость технологических машин вдоль трубопровода, одновременно снижается эффективность [2, 7, 8] работы землеройных машин, за счёт того, что им приходится разрабатывать не талый, а мёрзлый грунт. Поэтому при выполнении работ по повышению комплекса машин для ремонта и содержания трубопроводов, в первую очередь обращают внимание на подкопную машину, от работы которой более чем на 70 % зависит энергетическая работа всего комплекса в целом. Общий вид подкопной машины показан на рисунке 1.

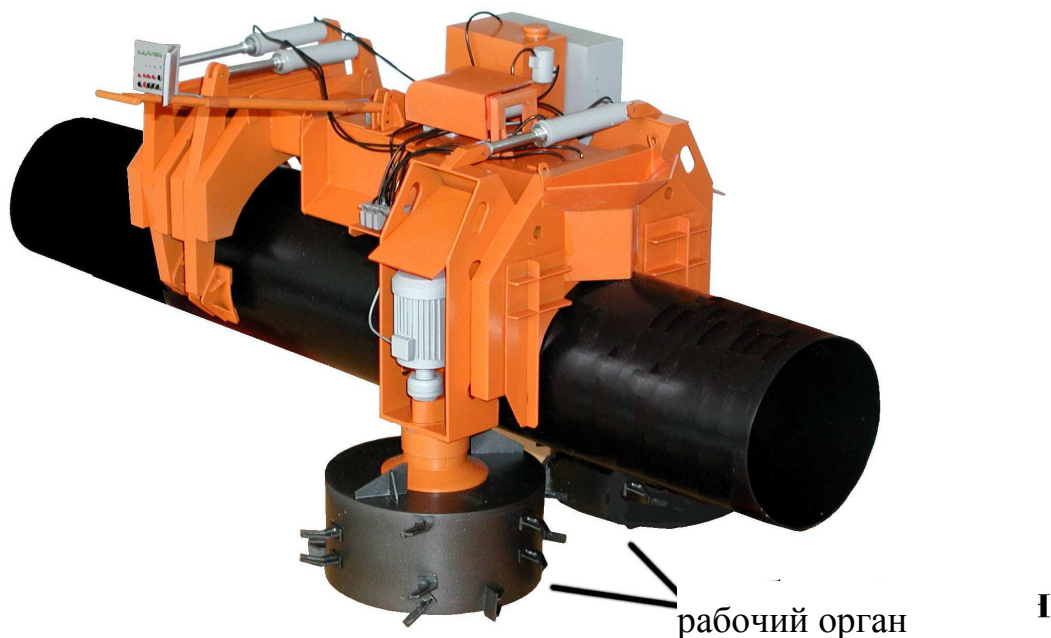


Рисунок 1. Подкопная машина ПТ-НН1020П

Резание мёрзлого грунта дискофрезерным рабочим органом имеет ряд особенностей, обусловленных физико-механическими свойствами грунта, кинематическими параметрами рабочего процесса и расположения рабочего органа относительно разрабатываемой поверхности в процессе её разрушения. При этом фреза в процессе работы будет подвергнута значительным динамическим нагрузкам, исследования, проведённые в Нижегородском государственном техническом университете [1,4-6], показывают, что во время только одного оборота фрезы, в зависимости от количества резцов и их схемы установки, величина крутящего момента может изменяться в 1,5–2,0 раза (см. рис. 2–4). При этом точка А на графиках соответствует началу взаимодействия нового резца с мёрзлым грунтом. При этом происходит общее увеличение силы резания и, соответственно, крутящего момента от дополнительного резца. Увеличение нагрузки на фрезу в данный

момент времени иллюстрирует участок АБ на рисунке 2, когда нагрузка возрастает практически мгновенно. Затем все резцы, находящиеся в забое, начинают резать грунт со всё более большей толщиной стружки, обусловленной тем, что резание происходит по сложной траектории, связывающей между собой вращательное вращение фрезы и поступательное движение подкопной машины. 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 на один резец меньше, а нагрузка на фрезу падает пропорционально силе резания верхнего слоя грунта. В дальнейшем оставшиеся резцы, 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 следующего резца, и весь процесс повторяется.

Следует отметить, что важнейшим параметром, характеризующим процесс фрезерования, является величина затрат энергии на осуществление данного процесса. Так как энергозатраты, связанные с разрушением слоя грунта, имеют две составляющие, то существует необходимость параллельного расчёта затрат мощности как на фрезерование мерзлого грунта, так и на усилие подачи. Мощность на фрезерование может быть определена как произведение крутящего момента на скорость вращения фрезы, а мощность на создание тягового усилия – как произведение скорости движения на величину этой силы [4]:

$$N_{фр} = \frac{V_{П}}{2\pi} \int_0^{2\pi} P_T(\psi) d\psi + \frac{V_P}{\pi D} \int_0^{2\pi} M_{KP}(\psi) d\psi, \quad (1)$$

Из данного выражения видно, что существующие методы расчёта мощности фрезерования слоя мёрзлого грунта основываются на том, что скорость резания является постоянной величиной. В действительности скорость резания направлена по касательной к траектории движения режущей кромки резца и по величине определяется геометрической суммой окружной скорости вращения фрезы (по режущей кромке резца) $\omega_{ф} \cdot R$ и скорости поступательного движения подкопной машины (скорости подачи) $V_{п}$.

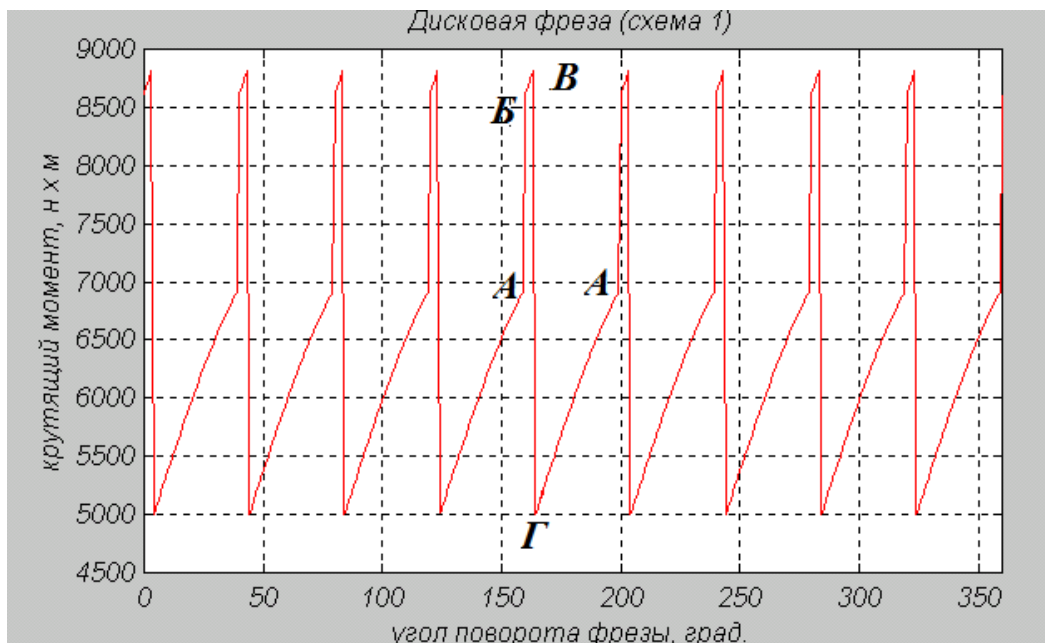


Рисунок 2. Изменение крутящего момента на фрезе в процессе фрезерования мерзлого грунта

На рис. 3 представлена схема для определения скорости и углов резания в зависимости от угла поворота фрезы φ .

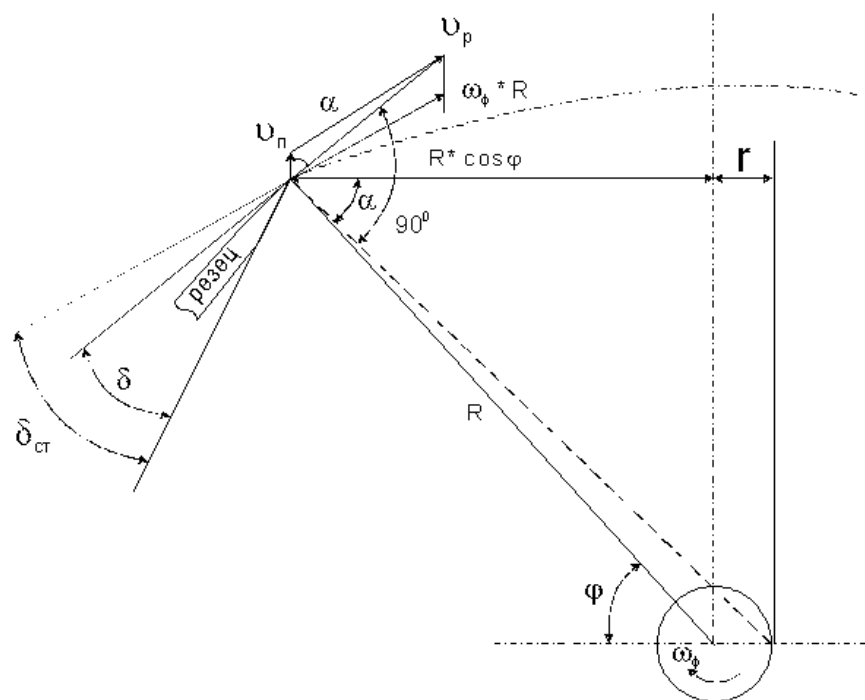


Рисунок 3. Расчетная схема для определения угла и скорости резания при фрезеровании мерзлого грунта фрезой

По правилу параллелограмма скорость резания будет равна

$$v_p = \sqrt{V_n^2 + \omega_\phi^2 \cdot R^2 + 2 \cdot \omega_\phi \cdot R \cdot V_n \cdot \cos \varphi}, \quad (2)$$

Эта формула показывает, что скорость резания при фрезеровании является переменной величиной. При $\varphi=0$ скорость резания равна арифметической сумме V_n и $\omega_\phi \cdot R$, при $\varphi=\frac{\pi}{2}$ она равна $\sqrt{V_n^2 + \omega_\phi^2 \cdot R^2}$, а при $\varphi=\pi$ – арифметической разности V_n и $\omega_\phi \cdot R$. Таким образом, изменение скорости резания резца в забое будет напрямую зависеть от взаимного расположения резца и забоя. Продифференцировав уравнение 2 по углу поворота фрезы, получим зависимость скорости изменения резания от угла поворота фрезы:

$$\frac{dV_p}{d\varphi} = \frac{-2 \cdot \omega_\phi \cdot R \cdot V_n \cdot \sin \varphi}{2 \sqrt{V_n^2 + \omega_\phi^2 \cdot R^2} + 2 \cdot \omega_\phi \cdot R \cdot V_n \cdot \cos \varphi} \quad (3)$$

То есть уравнение 1 примет вид:

$$N_{\phi p} = \frac{V_n}{2\pi} \int_0^{2\pi} P_T(\varphi) d\varphi + \frac{\omega_\phi \cdot R \cdot V_n}{\pi D} \int_0^{2\pi} \frac{\sin \varphi M_{KP}(\varphi)}{\sqrt{V_n^2 + \omega_\phi^2 \cdot R^2} + 2 \cdot \omega_\phi \cdot R \cdot V_n \cdot \cos \varphi} d\varphi \quad (4)$$

Сравнительный анализ изменения мощности фрезерования показан на рисунке 4.

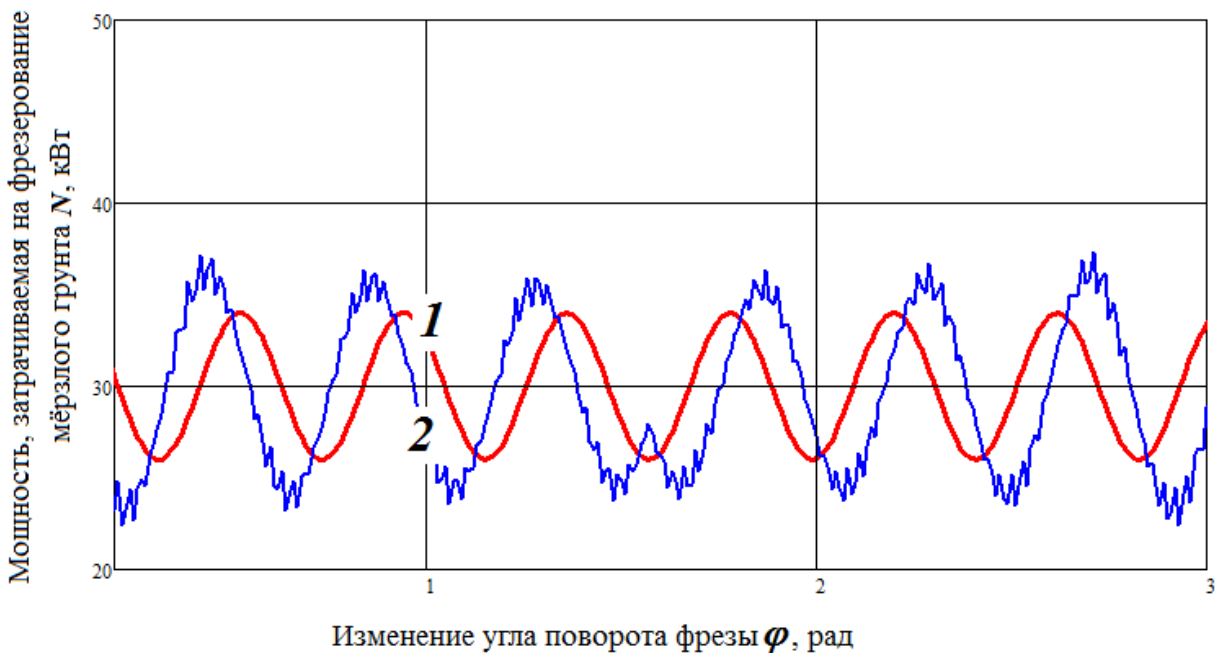


Рисунок 4. Изменение мощности фрезерования от угла поворота дисковой фрезы.

1 – ранее применяемая зависимость, 2 – разработанная зависимость

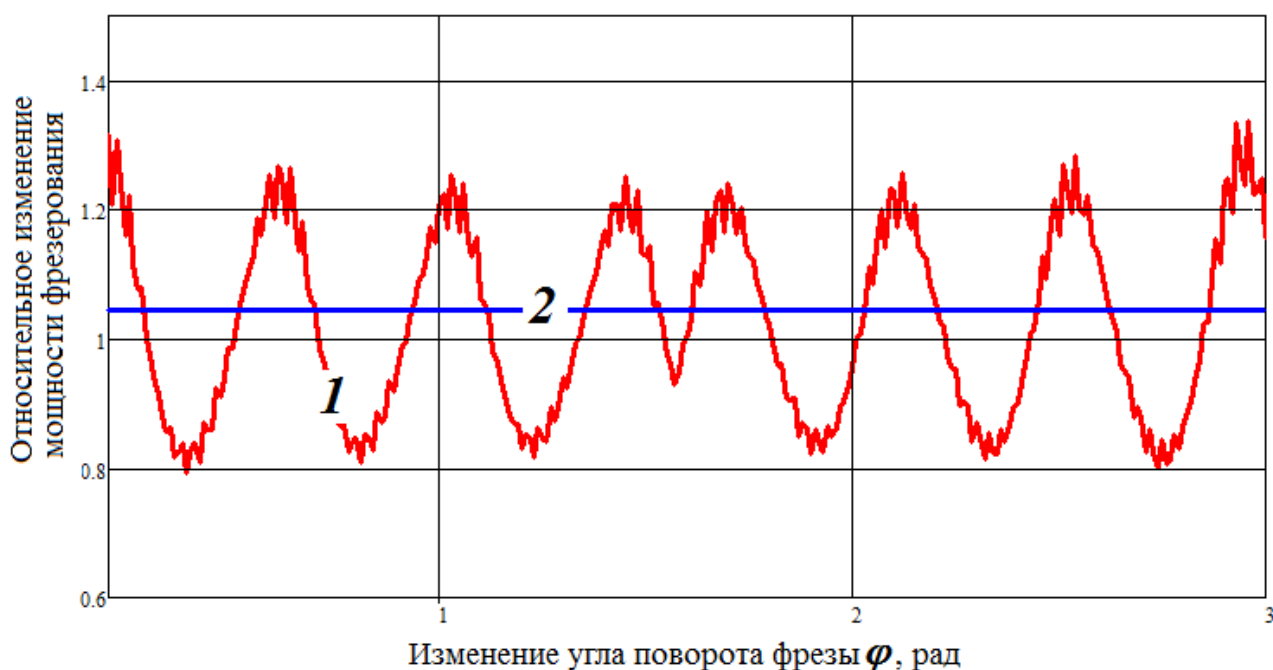


Рисунок 5. Относительное изменение расчётной мощности фрезерования от угла поворота дисковой фрезы.

1 – мгновенная, 2 – средняя за оборот

Полученные результаты свидетельствуют о том, что вновь предложенная зависимость позволяет уточнить мгновенную затрачиваемую мощность при фрезеровании мёрзлого грунта на 40 %, а среднюю эффективную мощность фрезерования на 5 %. Кроме того, данная зависимость позволяет рационально расположить фрезу относительно забоя для обеспечения меньших затрат на фрезерование, которые могут быть снижены на 5–10 %.

Список литературы

1. Артюшкин, А.В. Очистная машина для ремонта и содержания трубопроводов. Рекомендация по выбору типа двигателя / А.В. Артюшкин, В.С. Макаров, Ю.И. Молев // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6. – С.51.
2. Беляков, В.В. Оценка эффективности специальных транспортных средств при движении по снегу / В.В. Беляков, Д.А. Галкин, А.С. Зайцев, Д.В. Зезюлин, Е.М. Кудряшов, В.С. Макаров // Труды НГТУ им. Р.Е.Алексеева. – 2012. – № 2. – С. 156-166.
3. Беляков, В.В. Подвижность наземных транспортно-технологических машин / В.В. Беляков, Д.В. Зезюлин, В.Е. Колотилин, В.С. Макаров // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2013. – № 4 (101). – С. 72-77.
4. Вахидов, У.Ш. Машины для разработки льда, снега и мёрзлого грунта / У.Ш. Вахидов, И.А. Ерасов, Ю.И. Молев, В.А. Шапкин. – Нижний Новгород: Изд-во НГТУ, 2014. – 175 с.

5. Вершинин, А.В. Повышение эффективности дискофрезерных рабочих механизмов для разрушения мёрзлых грунтов/ А.В. Вершинин, В.С. Зубов, А.М. Тютнев // Строительные и дорожные машины. – 2012. – № 8. – С.42.
6. Гасенин, И.А. Выбор рациональных конструктивных параметров рабочего органа машины для подкопа трубопровода в мёрзлом грунте: дисс. ... канд. техн. наук по специальности 05.05.04. – Нижний Новгород, 2004. – 182с.
7. Зезюлин, Д.В. Расчетный анализ влияния параметров двигателей на показатели эффективности колесных машин при движении по снежному полотну пути / Д.В. Зезюлин, В.С. Макаров, В.В. Беляков // Леса России и хозяйство в них. – 2012. – Т. 1-2, № 42-43. – С. 41-42.
8. Макаров, В.С. Оценка эффективности движения колесных машин на основании статистических характеристик снежного покрова / В.С. Макаров [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева.
9. Макаров В.С. Определение характеристик микропрофиля дорог, предназначенных для движения транспортно-технологических машин / В.С. Макаров, К.О. Гончаров, В.В. Беляков, Д.В. Зезюлин, А.М. Беляев, А.В. Папунин, А.В. Редкозубов // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 5. URL: www.science-education.ru/105-7111.
10. Редкозубов А.В., Результаты замеров микропрофиля дорожно-грунтовых оснований, предназначенных для движения транспортно-технологических машин / А.В. Редкозубов, Д.В. Зезюлин, В.С. Макаров, В.В. Беляков // Международный журнал экспериментального образования. – 2013. – № 10 – С. 409-412.

Рецензенты:

Беляков В.В., д.т.н., профессор кафедры «Автомобили и тракторы» ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», г. Нижний Новгород.

Вахидов У.Ш., д.т.н., заведующий кафедрой «Строительные и дорожные машины» ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», г. Нижний Новгород.