

Изменение тягово-скоростных характеристик транспортно-технологического средства с роторно-винтовым двигателем варьированием угла подъема винтовой лопасти в процессе движения

В.Н. Наумов¹, К.Е. Бяков¹

¹ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва 105005, Россия

Рассмотрено влияние угла подъема винтовой лопасти на тягово-скоростные характеристики транспортно-технологического средства с роторно-винтовым двигателем. Приведены результаты анализа компьютерного моделирования движения шнекохода с двигателем изменяемой геометрии.

E-mail: naumov-m9@yandex.ru, moiaberloga@yandex.ru

Ключевые слова: грунт, мобильный робототехнический комплекс, лопасть, двигатель, роторно-винтовой двигатель, шнековый двигатель, эластичная механика, болотистый грунт, глинистый грунт, илистый грунт.

Одним из наиболее важных и оригинальных параметров роторно-винтового двигателя (РВД), несомненно, является угол подъема винтовой лопасти, влияние которого на скоростные и тяговые характеристики машины очевидно и обязательно учитывается при создании шнекоходов. Однако следует отметить, что невозможность изменения данного параметра непосредственно в процессе движения заставляет инженеров делать выбор между указанными характеристиками еще на фазе проектирования, заведомо снижая тем самым рабочий диапазон характеристик транспортно-технологического средства (ТТС). Так, традиционно у тяговых машин угол подъема делают меньше 20...30°, у скоростных вездеходов 30° и выше [1].

Предположим, что существует возможность изменения угла подъема лопасти во время движения шнекохода. Подобная трансформация вполне реализуема, если, например, в качестве РВД использовать оболочки, внутри которых на опорных рейках с некоторым шагом размещены механизмы с закрепленными на них роликами. При вращении механизмов ролики будут бежать по внутренней поверхности оболочки, формируя некоторое подобие лопастей и превращая двигатель в эластичный шнек. Варьируя угол наклона генерирующей волну конструкции (например, с помощью обычного червячного редуктора), мы соответственно изменяем угол подъема и высоту винтовой лопасти.

Какие же преимущества дает возможность варьировать данный параметр? Ответить на данный вопрос можно, используя компьютерное моделирование движения ТТС с РВД.

Уравнения движения ТТС с РВД как твердого тела с условно постоянной собственной массой в связанной (подвижной) системе координат при допущении, что его главные оси инерции совпадают со связанными осями, на основании принципа Д'Аламбера представляют собой систему из шести уравнений [1].

В нашем случае решаемой задачей являлось исследование случая равномерного прямолинейного движения ТТС с РВД при условии трогания с места. После целесообразного упрощения системы и понижения порядка дифференциальных уравнений задача моделирования была сведена к определению значений и специфики изменения сил, действующих на ТТС с РВД, а также значений скоростей при варьировании основных параметров шнека для случая разгона с места. Нахождение сил сцепления и сопротивления движению проводили согласно работам Н.Ф. Кошарного [2].

Работоспособность модели была проверена путем сравнения полученных данных с результатами численного моделирования и экспериментальных испытаний движения ТТС с РВД, приведенными в диссертационной работе Ю.В. Щербакова из Нижегородского технического университета [3].

Принятое к исследованию в работе [3] подводное ТТС представляло собой специальную самоходную транспортно-технологическую машину, оснащенную установленными попарно с обоих бортов четырьмя роторами, с рабочим оборудованием (бульдозерным отвалом и (или) неполноповоротным экскаватором). Численные значения основных конструктивных параметров ТТС с РВД, используемые в работе [3], и основные параметры математической модели предлагаемых грунтов (в данном случае донных илистых) были внесены в созданную компьютерную модель.

Последующее сравнение зависимостей $V(t)$, полученных при моделировании разгона ТТС с РВД, с соответствующими графиками, приведенными в работе [3], показало, что результаты совпадают с погрешностью менее 5 %.

После проверки работоспособности модели было проведено исследование влияния геометрических параметров РВД — угла наклона винтовой лопасти и высоты лопасти — на скорость шнекового движителя и действующих на ТТС сил. При моделировании угол наклона винтовой лопасти изменяли в промежутке $5...45^\circ$ (большинство скоростных шнекоходов имеет меньшие значения угла; кроме того, при использовании эластичного РВД предлагаемой конструкции затруднительно добиться больших значений угла подъема).

Используя модель, удалось получить скорости и силы сцепления (тяги) при движении ТТС с РВД на разных типах донных илистых грунтов и при разных углах наклона лопасти. На рис. 1 приведены

графики зависимостей скорости РВД $V(\alpha)$ и изменения силы сцепления $\Delta P_\phi(\alpha)$ (для наглядности показаны именно изменения силы, а не ее абсолютные значения) от угла наклона лопасти. В качестве оснований из приведенных в работе [3] взяты наиболее различающиеся по значениям основных параметров грунта — пятнистая глина, земляная глина, а также “средний” между ними грунт.

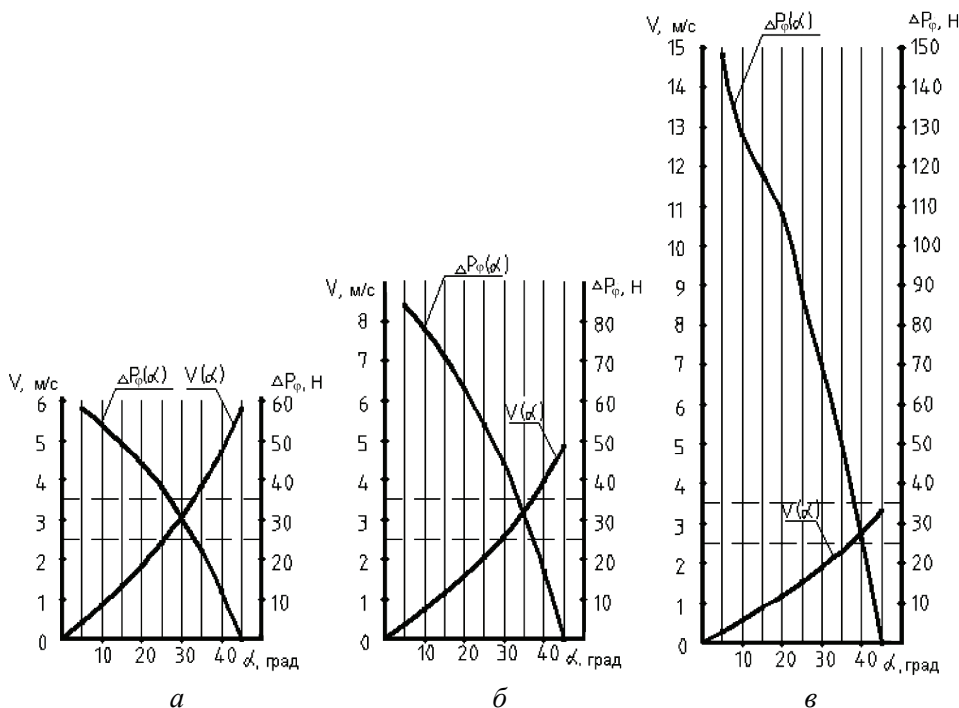


Рис. 1. Графики $V(\alpha)$ и $\Delta P_\phi(\alpha)$ для различных грунтов:
a — глина пятнистая; *б* — “средний” грунт; *в* — глина земляная

Приведенные зависимости позволяют наглядно изучить общий характер изменения указанных параметров при движении ТТС с РВД на различных типах донного грунта при изменении угла наклона лопасти. Очевидно, что РВД с изменяемой геометрией задействует гораздо более значительный диапазон скоростей, чем шнеки традиционной конструкции, и предоставляет возможность выбора оптимального режима движения ТТС для каждого определенного типа грунта. Смена режимов происходит путем изменения угла наклона лопасти РВД и заключается в выборе оптимального для данной ситуации соотношения между его скоростью и силой сцепления. Увеличение скорости шнека достигается путем увеличения угла наклона лопасти, а силы тяги — путем его уменьшения.

Кроме того, можно отметить, что пересечение графиков $V(\alpha)$ и $\Delta P_\phi(\alpha)$ вне зависимости от конкретного типа донного грунта находится вблизи значений $V = 3$ м/с и $\Delta P_\phi = 30$ Н. Также можно видеть,

что попадание в данную область на более твердых основаниях происходит вследствие увеличения угла наклона лопасти. Таким образом, можно сделать вывод, что эта область соответствует режиму движения ТТС с наиболее точно прогнозируемыми значениями тягово-скоростных характеристик РВД вне зависимости от типа донного грунта.

Будет ли существовать подобный режим для ТТС с другими геометрическими параметрами РВД? Мы рассматривали пример с машиной, имеющей в качестве движителя четыре шнека относительно небольшого диаметра, поскольку именно такой вариант шнекохода был приведен в работе [3]. Для исследования другого варианта РВД оставим в конструкции два шнека и увеличим их размер. Проведем моделирование движения ТТС по донным типам грунта с новыми параметрами движителя и получим графики $V(\alpha)$ и $\Delta P_\phi(\alpha)$ для данного варианта (рис. 2).

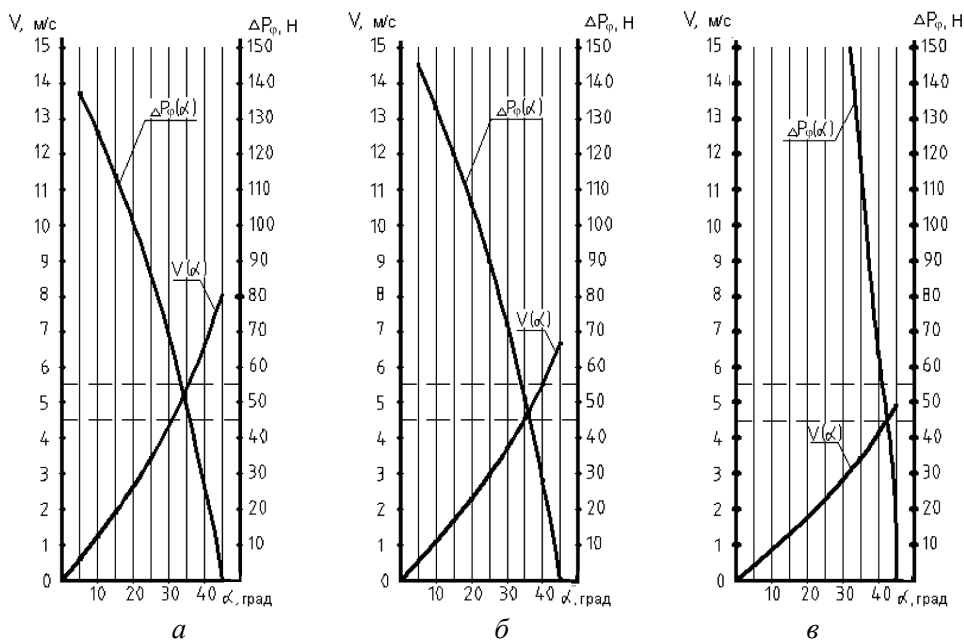


Рис. 2. Графики $V(\alpha)$ и $\Delta P_\phi(\alpha)$ для движителя с измененными параметрами:

а — глина пятнистая; *б* — “средний” грунт; *в* — глина землистая

Область, соответствующая режиму движения с наиболее точно прогнозируемыми значениями тягово-скоростных характеристик РВД, в данном случае также прослеживается, но лежит уже вблизи значений $V = 5$ м/с и $\Delta P_\phi = 50$ Н.

Рассмотрим еще один вариант, но уже с условием движения шнекохода по другому типу грунта. Анализ результатов (рис. 3) показывает, что область, соответствующая режиму движения с наибо-

лее точно прогнозируемыми значениями тягово-скоростных характеристик, существует и на графиках, полученных при моделировании передвижения ТТС с РВД (анализ проводили для первоначального варианта движителя с четырьмя шнеками) на разных типах снежного грунта. В качестве грунтов использовали следующие разновидности снежного покрова: фирновый повторно фирнизированный сухой сыпучий и фрикционно-связной уплотненный осевший, а также снег с усредненными параметрами.

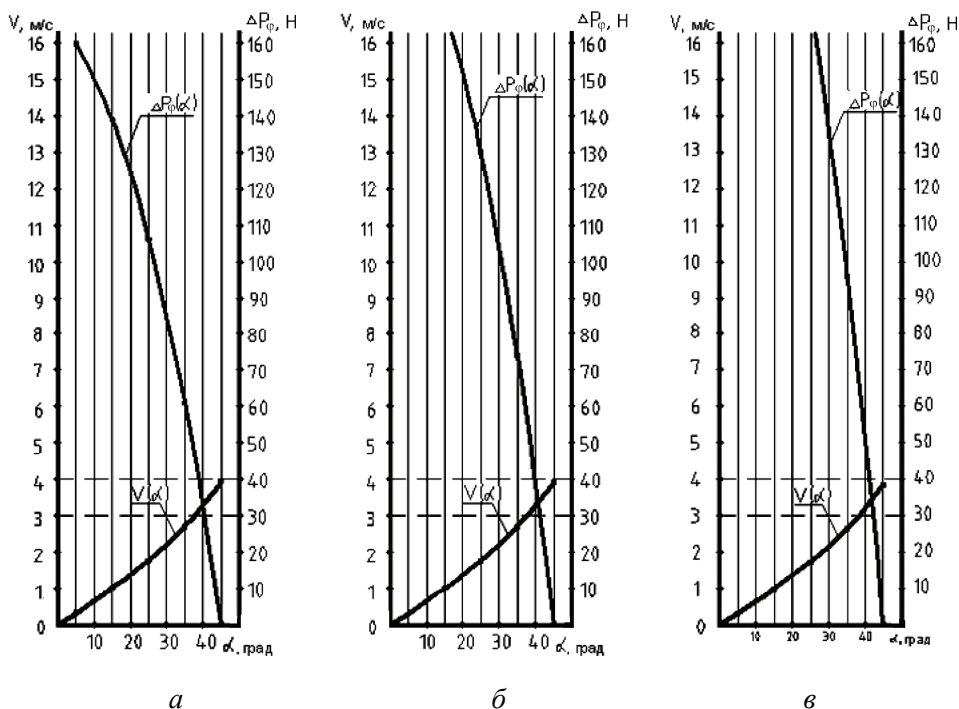


Рис. 3. Графики $V(\alpha)$ и $\Delta P_\phi(\alpha)$ для варианта движения ТТС по различным снежным грунтам:

a — фирновый повторно фирнизированный; *б* — “средний” снежный; *в* — фрикционно-связной уплотненный осевший

Представим теперь полученные при моделировании движения результаты в виде графиков зависимостей изменения силы сцепления от скорости РВД (рис. 4).

Данное представление является не только наглядным, но и удобным графическим инструментом анализа движения ТТС с РВД на разных типах грунта и выбора оптимальных параметров движителя. Предположим, что при прямолинейном движении робот или машина заезжает одним шнеком на грунт с другими характеристиками. Тогда, естественно, скорость на одном шнеке (назовем его по аналогии с гусеничными машинами забегающим) становится больше, чем на дру-

гом — отстающем. Это обязательно привело бы к уводу ТТС и необходимости выравнивания движения путем изменения скорости вращения шнеков. Построив графики для каждого конкретного РВД и соединив соответствующие точки, можно получить значения V и ΔP_ϕ для машины (робота), а также скорректировать движение изменением угла подъема винтовой лопасти. Используя датчики скорости шнеков, подобную настройку можно проводить автоматически.

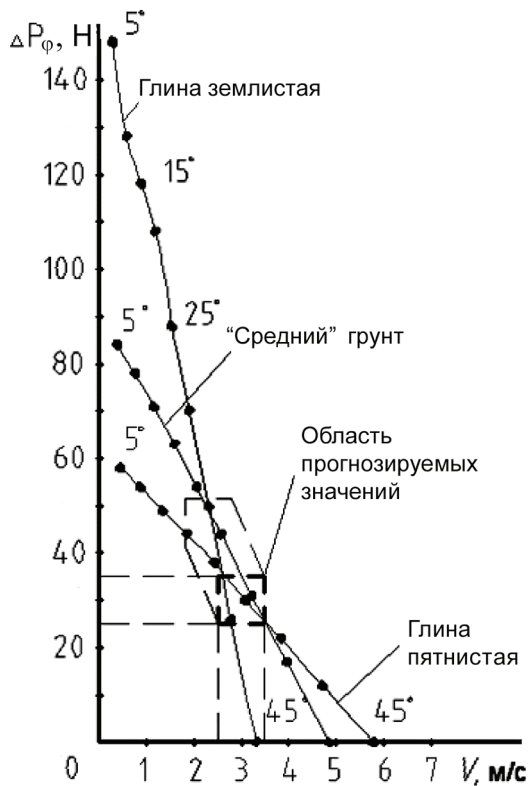


Рис. 4. Область, соответствующая режиму движения с наиболее точно прогнозируемыми значениями тягово-скоростных характеристик РВД (для первого варианта моделирования)

Таким образом, имея возможность изменять угол подъема винтовой линии, можно добиться варьирования скорости шнека в широком диапазоне (в том числе и при преодолении водных препятствий) и улучшения тяговых свойств ТТС. Кроме того, подобная трансформация шнека непосредственно в процессе движения позволяет обеспечить устойчивое движение путем подстройки и попадания в зону, соответствующую режиму движения с наиболее точно прогнозируемыми значениями тягово-скоростных характеристик V и ΔP_ϕ даже при наличии информации о значениях лишь самых общих параметров грунта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Роторно-винтовые машины. Основы теории движения / И.О. Донато, В.А. Жук, Б.В. Кузнецов и др. — Н. Новгород: ТАЛАН, 2000. — 451 с.
2. Кошарный Н.Ф. Техничко-эксплуатационные свойства автомобилей высокой проходимости. — Киев: Высшейш. шк., 1981. — 208 с.
3. Щербаков Ю.В. Разработка методики расчета и выбор рациональных параметров движения подводного транспортно-технологического средства с роторно-винтовым двигателем. Дисс. канд. техн. наук. — Н. Новгород: НГТУ. — 2000. — 167 с.

Статья поступила в редакцию 05.10.2012