

УДК 629.113.03:551.578.46

В.Г. Атапин (НГТУ), В.В. Сбоев (НГТУ), А.И. Родионов (НГТУ)

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВНЕДОРОЖНЫХ СРЕДСТВ

(обзор работ, выполненных под научным руководством профессора,
д.т.н., ак. ПАНИ Г.С. Мигиренко)

Свою автобиографическую книгу [1] Г.С. Мигиренко назвал «Жизнь – это деяние». В книге он вспоминает основные моменты своей большой жизни: научной, педагогической, общественной, личной. Его жизнь служит ярким примером того, что в любой сфере человеческой деятельности можно добиться высоких результатов. Георгий Сергеевич – ученый, педагог, руководитель, контр-адмирал.

Преклоняясь перед его многогранным талантом, мы коснемся здесь только научной деятельности Г.С. Мигиренко, отраженной в более чем 500 публикациях. Учитывая широту его научных интересов, которые включают исследования в области механики и математики (гидромеханика, теоретическая механика, теория взрыва, гидродинамика больших скоростей, прочность машин и конструкций и др.), здесь мы ограничимся обзором работ, выполненных за последние 25 лет. Эти работы связаны, главным образом, с решением проблемы создания бездорожного транспорта для регионов Сибири и Крайнего Севера. Основные научные результаты по рассматриваемой проблеме получены под научным руководством профессора Г.С. Мигиренко в отраслевой научно-исследовательской лаборатории внедорожных транспортно-технологических средств (ОНИЛ ВТТС), созданной в 1989 году при кафедре теоретической механики и сопротивления материалов НГТУ.

Работы проводились по заданию ГКНТ и АН СССР, а также Миннефтегазстроя СССР с финансированием лаборатории рядом организаций:

- ССО Обьтрубопроводстрой (с 1987 г.),
- Семипалатинский машзавод (с 1990 г.),
- Миннефтегазстрой (с 1990 г.),
- ПО им. В.П. Чкалова, г. Новосибирск (с 1990 г.),
- ГКНТ по госбюджету.

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Одной из важных народно-хозяйственных проблем является эффективное круглогодичное обеспечение грузовых и пассажирских перевозок, а также ведение строительно-монтажных работ в бездорожных районах страны, особенно Севера Российской Федерации. Сезонность поступления грузов, необходимость создания больших страховых межнавигационных запасов вызывают неудобства и материальные потери. При небольших грузопотоках в прямом и обратном направлении, характерных для многих предприятий добывающей промышленности Крайнего Севера, создание круглогодично действующей сети наземных дорог экономически нецелесообразно. В этой связи объективно формулируется задача широкого использования различных внедорожных и вездеходных транспортных и транспортно-технологических средств (ВТС, ВТТС): колесных и гусеничных транспортеров и тягачей, снегоболотоходов, легких снегоходных машин, судов на воздушной подушке и др.. Однако, их номенклатура весьма ограничена, потребность в этих средствах удовлетворяется на 10-15 % (по данным ГКНТ). Кроме того, они не в полной мере отвечают техническим, эксплуатационно-экономическим и экологическим требованиям районов эксплуатации (Крайний Север, тундра, Среднее Приобье и др.).

Для передвижения по этим территориям необходимы принципиально новые, нетрадиционные средства. Они не только разрешили бы проблему перевозок в условиях бездорожья, но и предоставили бы возможность для установки на них различного технологического оборудования, создания передвигающихся комплексов для непрерывной прокладки магистральных трубопроводов в любое время года в условиях грунтов с низкой несущей способностью. В основу создания таких внедорожных транспортных средств были положены два принципа [2]:

1) скольжение – использовано для создания универсальных глассирующих аппаратов (УГА). УГА (рис. 1) предназначен для движения по воде, снегу, льду, болоту, мелким водоемам, зарослям и камышам;

2) пневмохождение – использовано для создания двух типов пневмохода: колесный (ПВХ-К) и гусеничный (ПВХ-Г). Основу ПВХ-К (рис. 1) составляют колеса, выполненные из тонкого прочного материала и разделенные на секции радиального направления – сектора, в которые подается последовательно воздух. При соприкосновении с грунтом секция опорожняется. ПВХ-Г (рис. 1) имеет две или более гусениц, состоящих из прочных и гибких лент, несущих на себе полые плиты-камеры, заполняемые воздухом из герметичного резервуара.

Создание нетрадиционной внедорожной техники потребовало ее теоретического обоснования и экспериментального исследования опытных образцов [2-6 и др.].

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

В основу теоретических исследований разработчики новой техники [2,6] положили следующие основные закономерности:

$$\frac{G}{S_k} \leq [p], \quad \frac{T}{S_k} \leq [\tau], \quad (1)$$

где G – общий вес аппарата, S_k – суммарная площадь опирания (касания) на поверхность среды, $[p]$ – допускаемое давление на грунт, T – тяга, $[\tau]$ – допускаемое касательное напряжение. В случае глассирования масса УГА уменьшается за счет подъемной силы, а площадью касания является площадь редана.

Из зависимостей (1) следует, что

$$\frac{G}{T} \leq \frac{[p]}{[\tau]} \quad \text{и} \quad T = G \frac{[\tau]}{[p]}. \quad (2)$$

Таким образом, при заданной массе ВТТС тяга может регулироваться за счет соотношения допускаемых нормальных и касательных нагрузок на подложку.

Универсальный глассирующий аппарат (УГА). УГА впервые предложил к.т.н., доцент В.В.Сбоев [8]. Ему принадлежат первые теоретические и экспериментальные результаты, полученные на опытном образце. В дальнейшем это направление получило теоретическое обобщение в работах Г.С. Мигиренко [2,4,5 и др.], в которых была создана обобщенная математическая модель УГА, учитывающая движение аппарата по вертикальной оси, боковые качания вокруг направления движения, устойчивость движения, прочность. На базе этой математической модели исследованы вопросы подобия при движении аппарата по снегу. Установлено, что для соблюдения подобия в экспериментах по движению УГА необходимо удерживать постоянными числа Кулона, Фруда, Рейнольдса, Коши и Пекле:

$$Ku = \frac{fP}{\rho v^2}, \quad Fr = \frac{v}{\sqrt{gl}}, \quad Re = \frac{vl}{\nu}, \quad Ks = \frac{E}{\rho v^2}, \quad \Phi e = \frac{ct}{\rho v^2},$$

где числа Ku – Кулона, Fr – Фруда, Re – Рейнольдса, Ks – Коши, Φe – Пекле.

Пневмовездеходы (ПВХ). При проектировании ПВХ основным требованием выдвигается соответствие массы машины допускаемой нагрузке на поверхность грунта [2]. В связи с этим были разработаны теоретические основы и методика расчета необходимых характеристик пнев-

модвижителей – колеса и гусеницы. В частности, уравнения движения колесного пневмодвижителя [2]

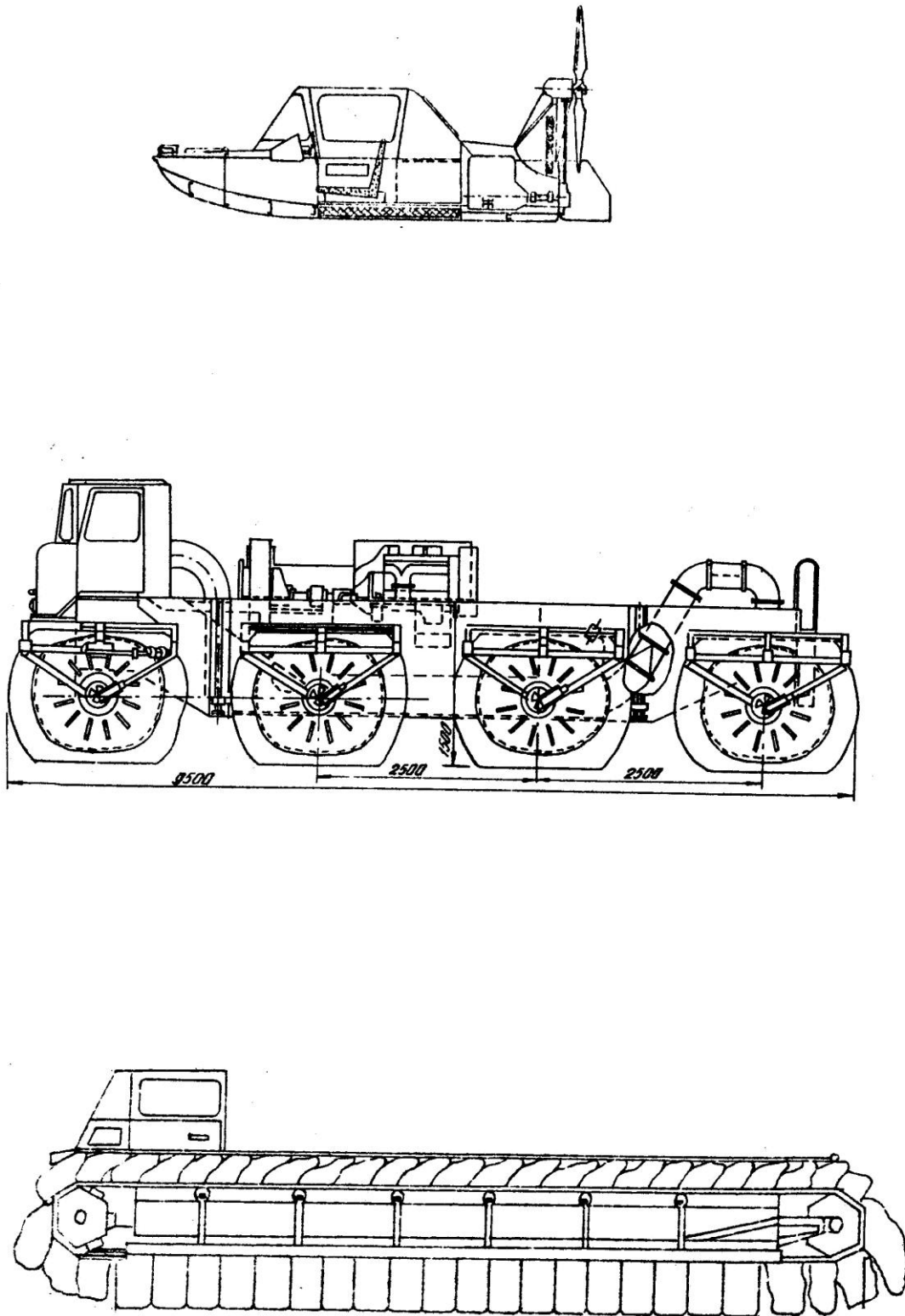


Рис.1. Внедорожные транспортные средства:

УГА (верхний), ПВХ-К (средний), ПВХ-Г (нижний)

$$\begin{aligned} m\ddot{x} &= F_c - R_x - F_T \\ m\ddot{z} &= N - G \\ I_o\ddot{\theta} &= M - (F_c - R_x)z_c - M_{CT}, \end{aligned} \quad (3)$$

позволили оптимизировать как его конструктивные элементы, так и выбрать оптимальные режимы движения; здесь M_{CT} – момент трения в паре ось движителя – ступица, z_c – координата центра масс пневмодвижителя, F_T – сила тяги, F_c – сила сцепления, G – вес движителя, N – нормальная реакция, R_x – сила сопротивления грунта движению, M – момент, развиваемый движителем.

Решение этих и ряда других задач проектирования ВТТС позволили перейти на уровень их практической реализации и создания реальных машин.

3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ.

По результатам научных исследований были созданы:

- 1) на Новосибирском авиационном заводе им. В.П. Чкалова – двухместный глсссирующий снегоход-амфибия (ГСА), 1990 г;
- 2) на Семипалатинском машиностроительном заводе – экспериментальный образец пневмовездехода колесного (1991 г.) с максимальной удельной нагрузкой на грунт 0,01 МПа;
- 3) на Опытном заводе СО РАН и НЭТИ – экспериментальный образец пневмовездехода гусеничного (1990 г.) с удельным давлением на грунт не более 0,007 МПа с грузом 4 т.

Этому предшествовал очень большой объем экспериментальных исследований. Отразим основные, на наш взгляд, результаты.

УГА. По результатам экспериментальных исследований снежного покрова как среды движения, взаимодействия снега с опорной поверхностью, влияния природных факторов, опорной поверхности и скорости движения на коэффициент суммарного сопротивления снега В.В. Сбоевым [2] было предложено плоскокилеватое днище с центральной лыжеобразной частью. Такие обводы позволяют легко глсссировать по воде, рыхлому снегу и болотам. Для движения по плотному снегу и льду используются полозья и подрезы на днище. По результатам экспериментов было установлено, что при одинаковых условиях сопротивление плоскокилеватой опоры всегда меньше. Так, с изменением температуры снега 0÷(- 41°С) сопротивление у плоскокилеватой опоры возрастает в 1,6 раза, а у плоской – в 6,3 раза. Отмечено, что наиболее резкое повышение сопротивления наблюдается у плоской опоры из углеродистой стали. Минимальные сопротивления соответствуют плоскокилеватой опоре из фторопласта и полиэтилена. Обнаружена возможность глсссирования опорной поверхности по снегу уже при скорости 1-2 м/с. Хотя глсссирование по снегу внешне напоминает гидроглсссирование (при скорости 5-10 м/с), они существенно различаются. Процесс глсссирования по снегу мало изучен и его исследование представляет интерес для механики и инженерной гляциологии.

ПВХ. При создании ПВХ решался комплекс практических задач, в частности:

- исследования пневмодвижителей шагающего типа, как гусеничного, так и колесного, на стендах и моделях;
- создание конструкций испытательных стендов и их изготовление;
- поиск новых технических решений, материалов, конструкций, автоматизации управления, двигательных установок и т.д.

При создании ПВХ-К был предложен эффективный и простой способ повышения силы тяги и проходимости шагающих колесных пневмодвижителей [9]. Он заключается в том, что необходимый дополнительный вращающий момент создается самим движителем за счет активного взаимодействия его опорных элементов с рольгангом, установленным сверху. С 1980 г. создано и исследовано несколько экспериментальных конструкций пневмодвижителей, вклю-

чая и натурный макет пневмовездехода. Экспериментальные исследования подтвердили высокую эффективность таких пневмодвижителей. В частности, самоходная модель 2,5×1,5 м передвигалась с тяговой нагрузкой на крюк, составляющей 0,3-0,4 от общего веса при давлении в камерах менее 2 кПа. В связи с высокой эластичностью камер давление пневмодвижителей на грунт такое же. Оно позволяет передвигаться практически по любому слабонесущему грунту, не приводит к разрушению растительного покрова. Одновременно с созданием и исследованием пневмодвижителей и опытных машин на их базе, проведено углубленное изучение особенностей их взаимодействия с различными средами. Достигнутые на экспериментальных машинах результаты свидетельствуют о превосходстве ПВХ по проходимости и экологичности, а при эксплуатации на грунтах с несущей способностью менее 20 кПа и по экономичности над другими наземными машинами.

Для проверки теоретических предпосылок была изготовлена модель ПВХ-Г в масштабе 1:10. Работа пневмодвижителя гусеничного типа подобна работе традиционных секционированных пневмогусеничных движителей, но отличается тем, что эластичные камеры пневмогусеницы негерметичны и наполняются воздухом только в рабочей части гусеницы. Это осуществляется автоматически, когда пневмотрак с эластичной камерой попадает под воздуховод. При выходе из-под воздуховода камеры опорожняются. Поочередное наполнение камер в передней части гусеницы и воспроизводит принцип шагания. Исследованы вопросы, касающиеся влияния давления в камерах на устойчивость, преодолеваемого угла подъема, силы тяги и др.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обобщение проведенных исследований, как в теоретическом плане, так и в части практических испытаний различных макетных образцов ВТТС, патентно-информационный поиск и анализ внедорожной и вездеходной техники позволяет сделать вывод, что успешная реализация идей пневмошагания открывает новое и очень перспективное направление в развитии внедорожной техники. В развитие этого направления существенный вклад внесли работы, выполненные сотрудниками ОНИЛ ВТТС при кафедре теоретической механики и сопротивления материалов НГТУ под научным руководством профессора Г.С. Мигиренко. Во многом проведенную работу можно классифицировать как пионерскую.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мигиренко Г.С. Жизнь – это деяние. – Новосибирск: Издательство НГТУ, 1997. - 152 с.
2. Бездорожные транспортно-технологические средства / Под ред. Академика В.Е. Накорякова и профессора Г.С. Мигиренко. Сб. науч. трудов. – Новосибирск: Издательство Института теплофизики СО АН СССР, 1988. - 122 с.
3. Мигиренко Г.С. К проблеме бездорожного транспорта для Сибири // Изв. СО АН СССР, 1982, № 13. Сер. Техн. наук. Вып. 3. - С. 97-101.
4. Мигиренко Г.С. Уравнения движения универсального глассирующего аппарата // Вопросы виброзащиты и вибротехники. – Новосибирск: НЭТИ, 1986. С. 3-9.
5. Мигиренко Г.С. Вопросы подобия при движении тела по снегу // Вопросы динамики механических систем. – Новосибирск: НЭТИ, 1983. - С. 3-9.
6. Мигиренко Г.С. Основные закономерности создания экологически чистых транспортных и технологических средств для Крайнего Севера // Вопросы динамики механических систем. – Новосибирск: НЭТИ, 1991. - С. 5-15.
7. Мигиренко Г.С. Транспорт будущего начинается в Сибири // ЭКО, 1983, № 4. - С.16-22.
8. А.с. 279353 СССР. Аэросани-амфибия / В.В. Сбоев, П.М. Алабужев, Л.М. Минкевич и др. – БИ, 1970, № 26.
9. А.с. 1412158 СССР, МКИ В60В19/00. Движитель транспортного средства / Г.С. Мигиренко, А.Г. Золотов, О.И. Попелюх. – 1986. - (ДСП).