

УДК 629.113

В.С. Макаров

**РАЗРАБОТКА НАУЧНО ОБОСНОВАННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ
ПО СОЗДАНИЮ ПОДВИЖНЫХ КОМПЛЕКСОВ МОНИТОРИНГА БЕРЕГОВЫХ ЗОН**

Нижегородский государственный технический университет им Р.Е.Алексеева

Рассматриваются актуальность создания подвижных комплексов мониторинга береговых зон, необходимых для обеспечения социально-экономической и экологической безопасности, а также хозяйственной деятельности на береговых территориях и прилегающих акваториях. Рассмотрены методики оценки подвижности при стохастическом задании условий движения и соответствующих параметрах взаимодействия движителей шасси подвижных комплексов мониторинга береговых зон, позволяющие производить выбор рациональных параметров специальных транспортно-технологических средств и подвижных комплексов мониторинга на стадии их разработки, а также выбор рационального движителя для заданных условий эксплуатации. Данный метод дает научно обоснованные технические решения для подвижных комплексов мониторинга береговых зон.

Ключевые слова: береговая зона, подвижный комплекс мониторинга, метод проектирования.

Порядка 40% населения Земли проживает на узкой прибрежной полосе вдоль океанов и морей. Прибрежные зоны Российской Федерации занимают около 2/3 ее границ и порядка 10% от береговых зон поверхности суши Земли. Кроме того, большая часть населения проживает вдоль береговых зон внутренних водных объектов, в частности, озер, прудов, рек, ручьёв, искусственных водохранилищ. *Для множества наблюдений береговая зона – это пограничная область суши и водной среды, состоящая из собственно берега, определяемого уровнем колебания воды при отливах и приливах, береговой линии и берегового склона.* Ширина береговой зоны может быть от нескольких десятков метров до нескольких сот метров. Основные факторы, определяющие характер береговой зоны – геологические, климатические, инженерная деятельность человека и др. Береговая зона характеризуется временным непостоянством и меняет свое положение в зависимости от времени года, штормовых условий, фазы прилива, давления атмосферы и многих других причин. Береговые зоны и прибрежные территории – это место проживания большого числа людей и их культурной деятельности. Как следствие, развиваются сопутствующие отрасли промышленности, сельское, лесное, рыбное хозяйства. Происходит добыча природных ископаемых, нефти, газа, руд. В прибрежных и береговых зонах последнее время развивается альтернативная энергетика. Также всегда береговые зоны являлись объектом туризма и отдыха, а также районами для научно-исследовательской деятельности. Поэтому обеспечение безопасности жизнедеятельности, государственной и экологической (техногенной и природной) безопасности на этих территориях является важной и актуальной задачей. Для обеспечения безопасности необходимо проводить мониторинг прибрежных территорий и прилегающих акваторий в широких территориальных и пространственно-временных рамках. Мониторинг может быть реализован либо посредством большого числа стационарных постов, либо с использованием подвижных комплексов. Наиболее целесообразным в настоящее время является создание подвижных наземных комплексов мониторинга береговых зон. Использование специальных шасси и роботов при таких измерениях представляется весьма перспективным. Такие системы подходят для долгосрочного развертывания, так как они дают возможность непрерывного получения данных, охватывая несколько сотен метров от береговой линии. При этом возникает ряд проблем, связанных с необходимостью обеспечения подвижности в труднодоступных береговых зонах при движении по водонасыщенному грунтовому и заснеженному опорному основаниям, и требует от шасси подвижных комплексов возможности адаптации собственной структуры к обширному диапазону условий эксплуатации. Особые условия экс-

плуатации требуют разработки научно обоснованных технических решений по созданию подвижных комплексов мониторинга (ПКМ) береговых зон.

При этом можно выделить следующие направления исследования:

- особые условия эксплуатации, не характерные для обычных наземных комплексов, обуславливают разработку методик и проведение исследований с целью получения характеристик дорожно-грунтовых поверхностей в береговой зоне с учетом сезонности;
- специфика устанавливаемого оборудования (его тип и массово-габаритные параметры) на подвижный комплекс мониторинга обуславливает разработку методов формирования облика и определения параметров шасси;
- необходимость длительной автономной работы подвижных комплексов мониторинга обуславливает разработку рациональных конструкций шасси, которая учитывает специфику работы в береговой зоне, а также энергоэффективного управления движением.

Поэтому разработка научно обоснованных технических решений по созданию комплексов мониторинга, работающих в условиях береговых зон с целью повышения безопасности, является актуальной для экономики нашей страны.

Анализ условий движения по береговым зонам позволил выделить основные характеристики дорожно-грунтовых оснований как в теплое время года [1-4], так и в зимний период [5-16]. Данные параметры используются для математического моделирования. Но также необходимо знать начальные условия, а именно характеристики шасси ПКМ, оптимизацию которых в дальнейшем нужно производить с учетом условий движения. Выбор этих параметров должен быть произведен с учетом специфики устанавливаемого оборудования (его типа и массово-габаритные параметров), и может быть получен основываясь на инженерном опыте [17-22]. Это позволяет выбрать исходные данные для проектирования и последующей оптимизации конструкции транспортно-технологических машин и шасси ПКМ.

Методика задания параметров дорожно-грунтовых оснований, характерных для береговых зон, по данным, полученным в [1-4], позволяет оценить конструкцию ПКМ. Для расчета подвижности ПКМ при движении по песчано-гравийным опорным основаниям береговых зон целесообразно использовать математическую модель расчета контактных напряжений движителя с полотном пути, приведенную в работах Я.С. Агейкина, Н.С. Вольской [23-25]. Расчет нормальных и сдвиговых напряжений производится по зависимостям [23-25]:

$$q_{\beta} = \left[\frac{(H_{\Gamma} - z)}{b(1 + 1,75\varphi_0)(k_{\beta_1} \cdot b \cdot \rho \cdot X_1 + k_{\beta_2} \cdot c_0 \cdot X_2 + k_{\beta_3} \cdot \rho \cdot X_3 \cdot z) \cdot \cos\beta} + \frac{a \cdot b}{E \cdot z} \operatorname{arctg} \frac{(H_{\Gamma} - z)}{a \cdot b \cdot \cos\beta} \right]^{-1};$$

$$\tau = \left[q_{\beta} \cdot \operatorname{tg} \varphi_0 + c_0 \left(1 - \frac{S_{t_0}}{S_t} \right) \right] \left[1 - \exp \left(- \frac{S_{t_0}}{k_{\tau}} \right) \right].$$

Зависимости для расчета обобщенных функций сопротивления и сцепления определяются исходя из значений напряжений, возникающих в элементарной площадке с последующим интегрированием по площади контакта.

$$\Phi_f = b M_a^{-1} \int_0^{h_t} p dh, \quad \Phi_{\varphi} = b M_a^{-1} \int_A \tau dA.$$

Расчетные схемы для колесного и гусенично-модульного движителей приведены на рис. 1 [23-25].

Анализ соотношения обобщенных функций сопротивления и сцепления позволяет оценить возможность движения шасси в условиях береговых зон по песчаным и песчано-гравийным опорным основаниям, а также оценить значения конструкционных параметров, при которых не будет происходить потеря подвижности шасси. В соответствии с этим была разработана методика, блок-схема которой приведена на рис. 2.

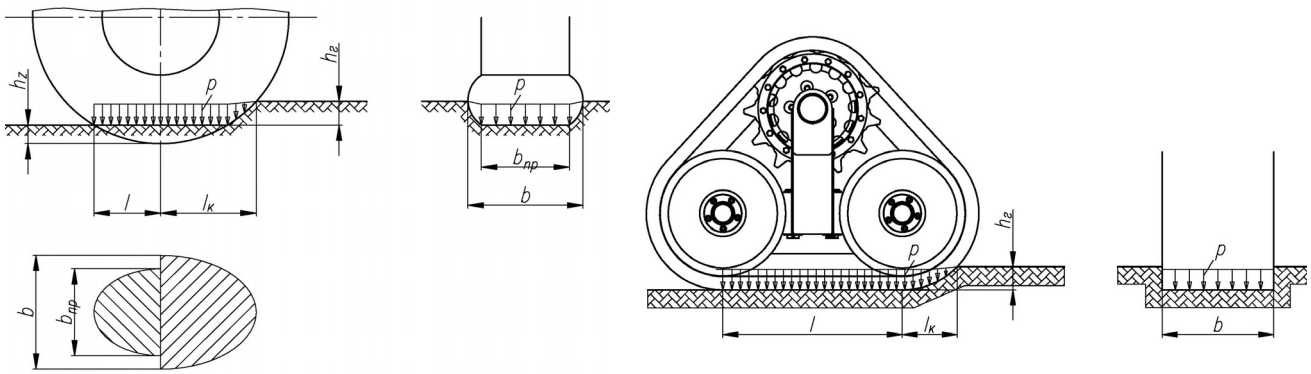


Рис. 1. Расчетные схемы взаимодействия колесного и гусенично-модульного движителей с грунтом

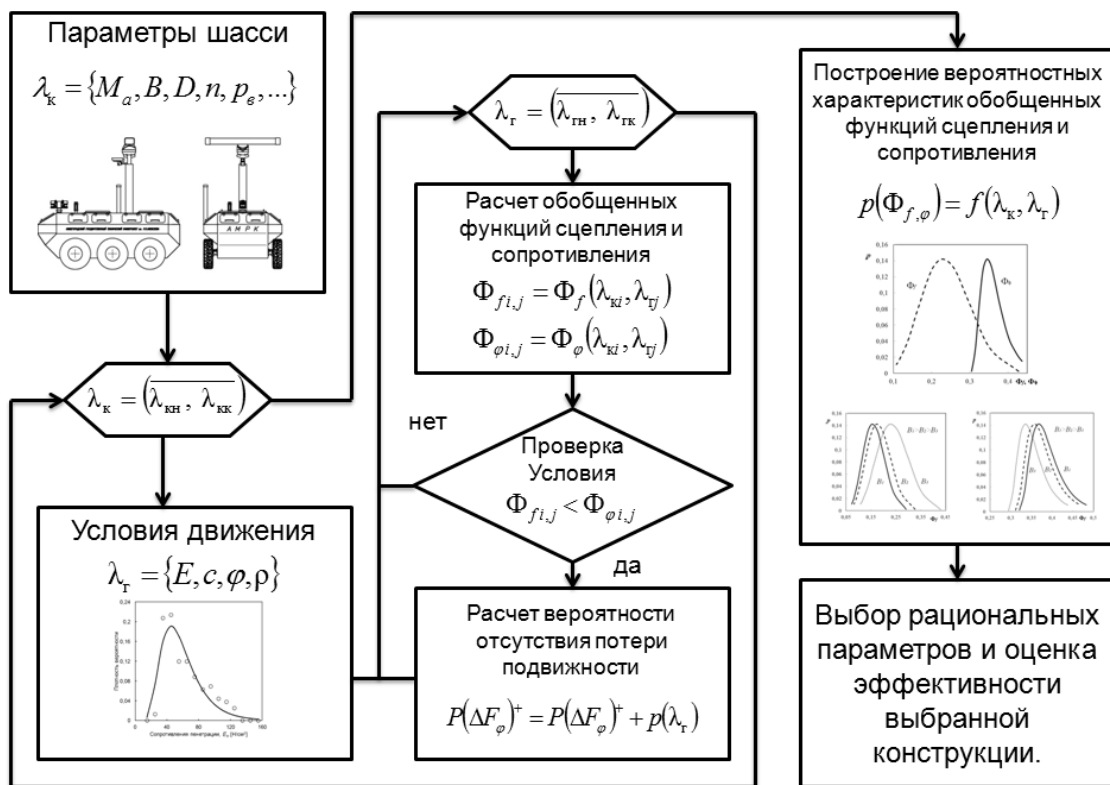


Рис. 2. Блок-схема методики оценки конструкционных параметров шасси ПКМ и расчета критерия эффективности

В предложенной методике используется цикл со счётчиком (перебор), в котором базовые параметры шасси ПКМ $\lambda_k = \{M_a, B, D, n, p_v, \dots\}$ изменяют своё значение от заданного начального значения $\lambda_{кн}$ до конечного значения $\lambda_{кк}$ с некоторым шагом $\Delta\lambda_k$, и для каждого параметра тело цикла выполняется один раз. Начальные значения параметров λ_k задаются исходя из инженерного опыта [17-22] и требований к конструкции предоставляемых техническим заданием. В данной работе проанализировано изменение значений параметров от среднего на 20%:

В качестве данных о характеристиках опорного основания выступают значения $\lambda_r = \{E, c, \phi, \rho\}$, а также их статистические характеристики, которые задаются, используется цикл со счётчиком (перебор). Основные параметры опорного основания λ_r изменяют своё

значение от заданного начального значения $\lambda_{ГН}$ до конечного значения $\lambda_{ГК}$ с некоторым шагом $\Delta\lambda_{Г}$, и для каждого параметра тело цикла выполняется один раз. При этом каждому значению $\lambda_{Г}$ соответствует свое значение плотности вероятности $p(\lambda_{Г})$.

Для каждого соотношения параметров $\lambda_{Г}$ и $\lambda_{К}$ рассчитывается значения обобщенных функций сопротивления Φ_f и сцепления Φ_{φ} . Проверяется условие $\Phi_f < \Phi_{\varphi}$. Если условие выполняется, то рассчитывается коэффициент, учитывающий вероятность того, что машина не потеряет подвижность по условию опорной проходимости при заданных условиях $\lambda_{Г}$ и $\lambda_{К}$. Изменяя параметры опорного основания $\lambda_{Г}$ и получая значения Φ_f и Φ_{φ} , строятся зависимости, учитывающие вероятностные характеристики в виде $p(\Phi_f) = f(\lambda_{Г}, \lambda_{К})$ и $p(\Phi_{\varphi}) = f(\lambda_{Г}, \lambda_{К})$ при заданных $\lambda_{К}$.

Анализ существующих алгоритмов управления распределения мощности по двигателям с целью оценки эффективности и расхода топлива при движении шасси в условиях береговых зон при разных условиях движения позволил дать рекомендации по их применимости. Решение данной задачи рассмотрено на примере регулирования потоков мощности в трансмиссии для многофункционального вездеходного транспортного средства с гидрообъемной трансмиссией (ГОТ).

Основные уравнения для расчета параметров движения машин с ГОТ подробно рассмотрены в работах: С.В. Бахмутова, Р.Х. Курмаева, А.В. Лепешкина, С.Б. Шухмана и др. [26-30]. Анализ различных алгоритмов управления для трансмиссий с индивидуальным приводом подробно рассмотрен в работах В.А. Горелова, Г.О. Котиева, И.А. Плиева, и др. [31-34]. В качестве исследуемых были приняты следующие законы управления трансмиссией: индивидуальное регулирование внешнего скольжения колес борта по известной линейной скорости движения центра масс шасси; «высокопороговое» регулирование колес борта шасси – сигнал подается датчиком «сильного» колеса, т. е. находящегося в лучших условиях движения; регулирование буксования колес по средней угловой скорости колес борта шасси.

На основании математических моделей была разработана программа в MATLAB/Simulink, позволяющая выбрать регулировки трансмиссии таким образом, чтобы обеспечивать наибольшую эффективность и топливную экономичность при движении в условиях береговых зон. Для оценки энергетической эффективности используется показатель, равный отношению «полезной» работы силы тяги на колесах. Так как в каждый момент времени оцениваемые параметры принимают разные значения, то рассматривался интегральный показатель за время движения машины, по зависимостям [35]:

- для эффективности $K_{\text{эф}}^{\text{инт}} = \int_T K_{\text{эф}} dt$, где $K_{\text{эф}}$ – коэффициент эффективности в каждый момент времени; T – общее время движения;
- для топливной экономичности $Q_{\text{эф}}^{\text{инт}} = \int_T Q dt$.

Было получено [35], что эффективность работы системы управления ГОТ тем выше, чем изменчивее характеристики опорных оснований, по которым едет машина. Поэтому можно сделать вывод о том, правильно выбранные алгоритмы управления позволяют повысить эффективность работы ГОТ до 10% и снизить расход топлива до 18%.

Таким образом, выбрав варианты конструкции, для которых вероятность отсутствия потери подвижности будет минимальна. Определившись с алгоритмами распределения потоков мощности по двигателям, обеспечивающим наибольшую эффективность и наименьший расход топлива, можно сравнить выбранные конструкции по условию обеспечения наибольшего времени автономной работы или расхода топлива. Этот показатель особенно важен для ПКМ автономного движения.

Одним из способов, позволяющим решать поставленные задачи, является имитационное моделирование в программных комплексах, таких как Adams, Универсальный механизм и др. На рис. 3 показана блок-схема методики моделирования динамики мобильного робототехнического комплекса (МРК) [2, 4, 36, 37] и расчета эффективности по условию минимального расхода топлива (наибольшего пробега) при случайных условиях задания движения в береговых зонах, при выбранных рациональных параметрах шасси, обеспечивающих движение без потери подвижности и при выбранных алгоритмах управления распределения мощности по двигателям.

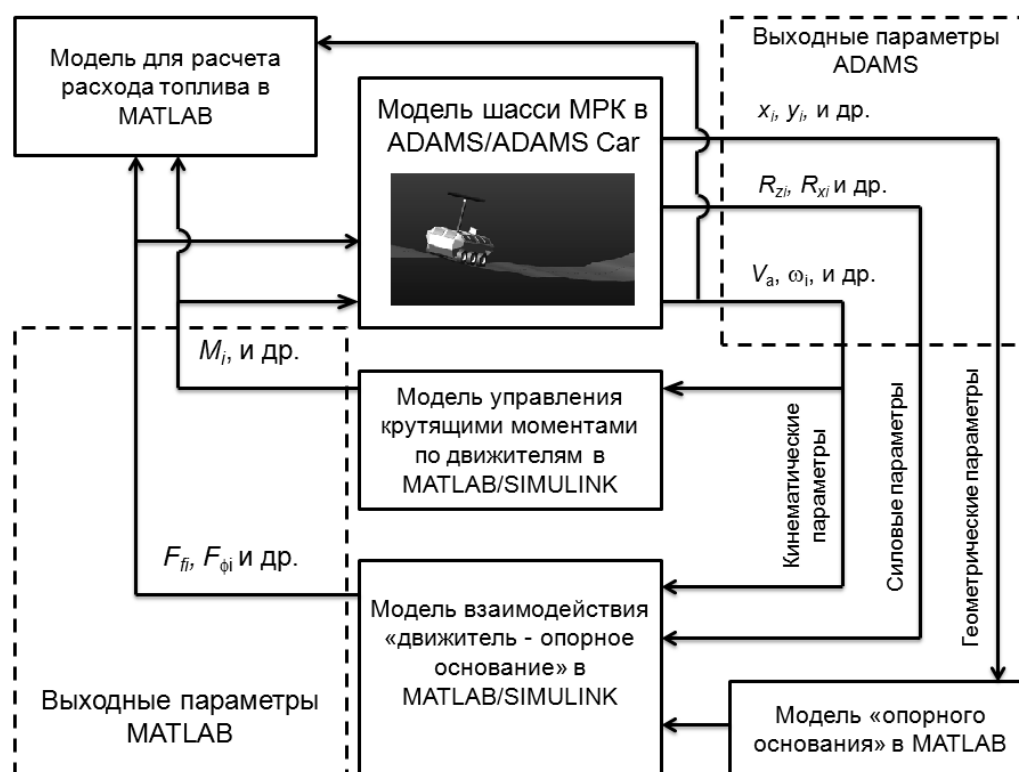


Рис. 3. Блок-схема методики моделирования динамики МРК

Расчет для колесного и гусеничного вариантов шасси МРК показал, что расход топлива при одном и том же пробеге со скоростями 10 км/ч (обусловлены спецификой работы МРК) для первого варианта на 17% меньше для песчано-гравийного и песчаного опорных оснований.

Таким образом, при правильно выбранных конструкционных параметрах шасси МРК колесный вариант будет предпочтительнее с точки зрения расхода топлива при движении по песчаным и песчано-гравийным опорным основаниям береговой зоны.

При движении ПКМ в зимний период по снежному полотну пути необходимо учитывать, что параметры снега меняются значительно на протяжении всего периода [5-16]. Поэтому рассмотрим более подробно методику расчета эффективности специальных шасси по снежному полотну пути с учетом изменчивости характеристик в течение зимнего периода. Для расчета проходимости машин целесообразно использовать подход, описанный в работах профессора Л.В. Барахтанова [38, 39]. Совместное рассмотрение зависимости запаса силы тяги от высоты снега и тяговой характеристики машины позволяет построить поверхность проходимости в зависимости от высоты снега и скорости движения машины.

Для расчета тяговой силы и сил сопротивления нужно знать нормальные и сдвиговые напряжения, наиболее удобной математической моделью для снежного полотна пути являются зависимости [16, 38, 39]:

$$q = h\gamma(1 - hh_{\max}^{-1})^{-1}, \tau = 0,8e^{-K_1\delta\ell} [c_0A + Bq \operatorname{tg} \varphi_0].$$

Для расчета сил, возникающих при движении колесной машины по снегу, целесообразно использовать методику расчета, предложенную В.В. Беляковым [38, 40], для гусеничных машин Л.В. Барахтановым [38, 39]. Рассмотрев аналитические зависимости для расчета сил сопротивления, сцепления, запаса силы тяги, тяговой силы и зная параметры снежного покрова и параметры машины, можно оценить эффективность движения машины в течение зимнего периода.

Для расчета проходимости, подвижности и эффективности шасси МРК по снегу в стохастической постановке для начала необходимо задаться параметрами снега в каждый момент времени [5-16]. Для описания наступления совместного события, а именно сочетания всех возможных значений высоты и плотности необходимо ввести матрицу состояний снежного покрова размерностью $n \times n$, где ij -й элемент представлен в следующем виде: $[\rho_i, H_j, p(\rho H)_{ij}]$, где ρ_i – плотность его элемента; H_j - высота -го элемента; $p(\rho H)_{ij}$ - вероятность сочетания ρ_i и H_j , определяется как произведение вероятностей соответствующих элементов. Задаваясь параметрами машины, исследуют возможность ее движения и силовые факторы. Принципиальная блок-схема приведена на рис. 4.

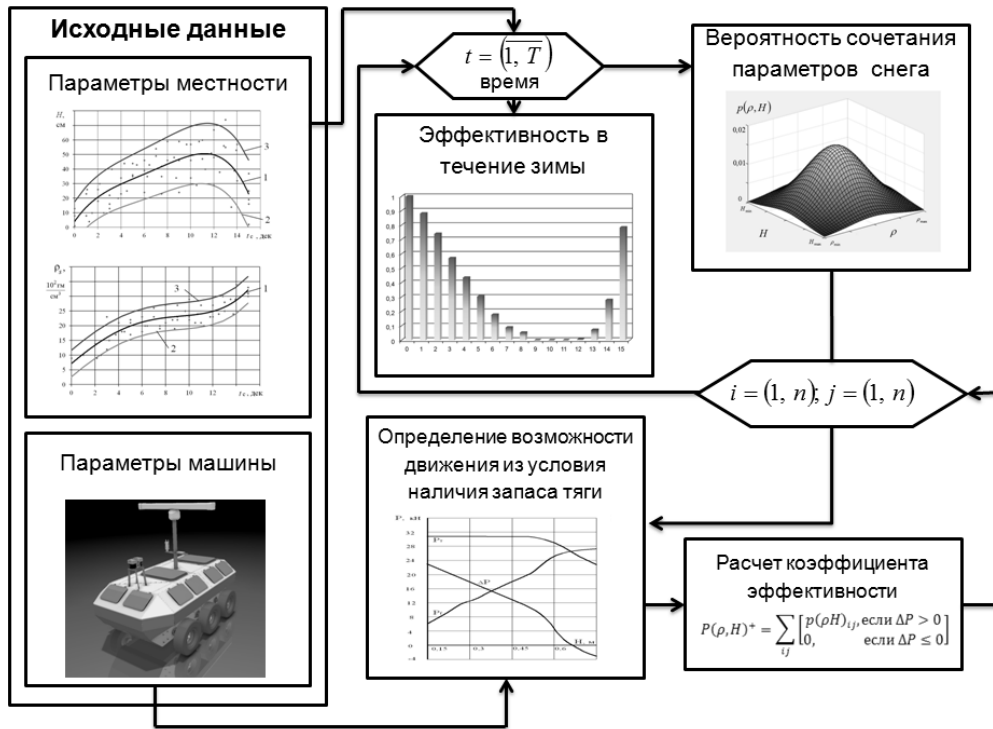


Рис. 4. Блок-схема методики расчета эффективности специальных шасси по снежному полотну пути с учетом изменчивости характеристик в течение зимнего периода

Критерий по потери проходимости можно определить так, вероятность возможного времени движения шасси в течение зимнего времени без потери проходимости: $K_{ТА} = \sum_{t=0}^T \frac{[P(\rho, H)^+]_i}{T+1}$, где $[P(\rho, H)^+]_i$ – накопленная вероятность в момент времени t , определяется исходя из возможности движения с заданными параметрами ρ_i и H_j . Фактически можно определить исходя из следующих соображений:

$$P(\rho, H)^+ = \sum_{ij} \begin{cases} p(\rho H)_{ij}, & \text{если } \Delta P > 0, \\ 0, & \text{если } \Delta P \leq 0, \end{cases}$$

где ΔP – запас силы тяги.

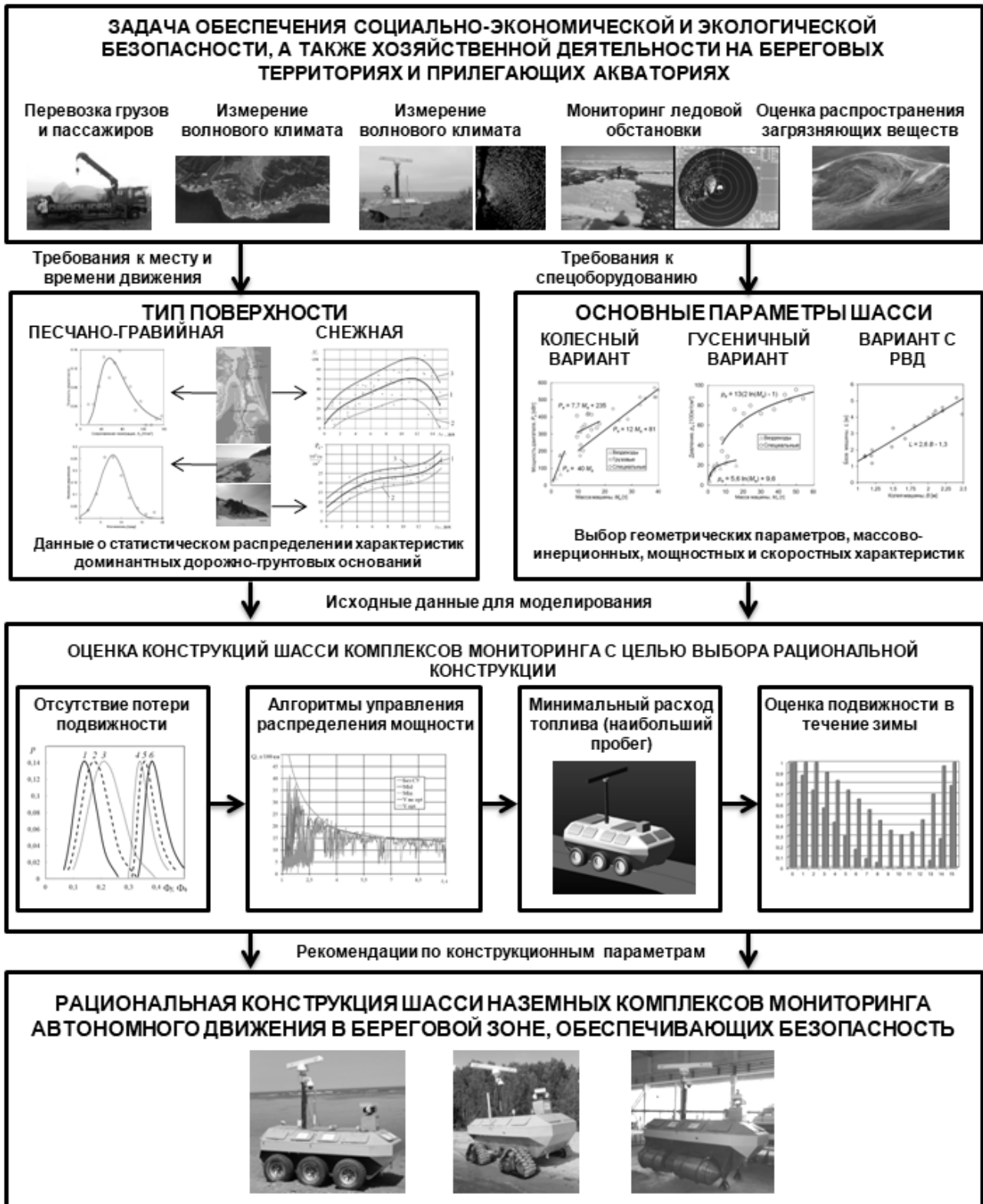


Рис. 5. Блок-схема метода проектирования шасси комплексов мониторинга, работающих в условиях береговых зон и обеспечивающих социально-экономическую и экологическую безопасность, а также хозяйственную деятельность на береговых территориях и прилегающих акваториях

В соответствии с предложенной методикой были проведены расчеты, пример для МРК на колесном и гусеничном ходу на прилегающих территориях берега залива Терпения

о. Сахалин. С точки зрения возможности передвижения в зимнее время составляет для МРК с колесным двигателем $K_{ТА} = 0,34$, с гусеничным – $K_{ТА} = 0,70$.

Таким образом, используя последовательность действий, изложенных в данной статье, можно предложить метод проектирования шасси ПКМ, работающих в условиях береговых зон и обеспечивающих социально-экономическую и экологическую безопасность, а также хозяйственную деятельность на береговых территориях и прилегающих акваториях. Блок-схема методики показана на рис. 5.

На основании потребности в обеспечении безопасности в той или иной деятельности формируются требования к месту и времени мониторинга, и требования к исследовательскому оборудованию. Зная место и время проведения мониторинга, определяют тип поверхности, на которой будет работать исследовательский комплекс. Это может быть либо песчано-гравийное опорное основание, либо снежное полотно пути. При необходимости проводят дополнительные замеры характеристик берега. Требования к оборудованию дают данные по необходимым габаритам шасси и массе перевозимого груза. Это позволит определить основные параметры шасси на основании регрессионных уравнений соотношения параметров машин.

После выбора исходных данных производят анализ конструкций с точки зрения выбора рациональных для заданных условий эксплуатации. Сначала оценивают конструкцию с точки зрения отсутствия потери проходимости и выбирают приемлемые варианты. Далее производят оценку и выбор алгоритмов управления распределения потоков мощности по двигателям. Используя полученные данные, оценивают возможности времени автономного движения. При этом выбирают машину с наименьшим расходом топлива. Далее подвижность вариантов шасси производят по критерию вероятности возможного времени движения шасси в течение зимнего времени без потери проходимости.

Таким образом, указанная последовательность действий позволяет дать рекомендации к рациональным конструкциям шасси подвижных комплексов мониторинга, работающих в условиях береговых зон и обеспечивающих социально-экономическую и экологическую безопасность, а также хозяйственную деятельность на береговых территориях и прилегающих акваториях.

Представленные результаты получены при финансовой поддержке грантов Президента Российской Федерации для государственной поддержки ведущих научных школ Российской Федерации НШ-6637.2016.5 и молодых ученых - кандидатов наук МК-5854.2016.5.

Библиографический список

1. **Макаров, В.С.** Статистическое моделирование грунтовых поверхностей береговых зон как полотна пути мобильных робототехнических комплексов мониторинга, контроля и диагностики природной среды / В.С. Макаров, В.И. Филатов, В.В.Беляков // Инновации на транспорте и в машиностроении: сб. тр. IV международной научно-практической конференции; под ред. В.В. Максарова / отв. ред. И.В. Павлов. – СПб.: Национальный минерально-сырьевой университет «Горный». – 2016. – Т. IV. – С. 83–86.
2. **Куркин, А.А.** Исследования прибрежных районов охотского моря с использованием наземного мобильного робота / А.А. Куркин [и др.] // Экологические системы и приборы. – 2016. – № 8. – С. 11–17.
3. **Макаров, В.С.** Экспериментально-теоретические исследования физико-механических характеристик песчаного грунта / В.С. Макаров, Д.В. Зезюлин, В.В. Беляков // Электронный научный журнал «Транспортные системы» («Transport systems»). 2016. № 2. URL: http://transport-systems.ru/assets/2_001.pdf (дата обращения: 27.11.2016).

4. **Zaytsev, A.** Coastal monitoring of the Okhotsk Sea using an autonomous mobile robot / A. Zaytsev, [et al.] // Science of Tsunami Hazards. – 2017. – V. 36. – № 1. – P. 1–12.
5. **Макаров, В.С.** Статистический анализ характеристик снежного покрова // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 1; URL: <http://www.science-education.ru/107-8289> (дата обращения: 05.02.2013)
6. **Макаров, В.С.** Оценка эффективности движения колесных машин на основании статистических характеристик снежного покрова / В.С. Макаров [и др.] // Труды НГТУ. – Н. Новгород, 2013. – №1(98). – С. 150–157.
7. **Макаров, В.С.** Формирование снежного покрова в зависимости от ландшафта местности и оценка подвижности транспортно-технологических машин в течение зимнего периода / В.С.Макаров [и др.] // Труды НГТУ. – Н.Новгород, 2013. – №2(99). – С. 155–160
8. **Макаров, В.С.** Характер изменения снежного покрова как полотна пути с учетом неравномерности его залегания на местности / В.С. Макаров [и др.] // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 4; URL: <http://www.science-education.ru/110-9696> (дата обращения: 23.07.2013).
9. **Макаров, В.С.** Многоуровневая модель снега как полотна пути для транспортно-технологических машин на примере территории Российской Федерации / В.С. Макаров, Д.В. Зезюлин, В.В. Беляков // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 10 (часть 2). – С. 270–276.
10. **Макаров, В.С.** Снег как полотно пути для транспортных средств / В.С. Макаров, Д.В. Зезюлин, В.В. Беляков // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – №4. – С. 21–24.
11. **Беляков, В.В.** К вопросу выбора экспериментальных данных для составления статистических моделей снежного покрова как полотна пути для транспортно-технологических машин / В.В. Беляков [и др.] // Труды НГТУ. – Н.Новгород, 2014. – №1(103). – С. 136–141.
12. **Макаров, В.С.** Анализ влияния местности на параметры снежного покрова / В.С.Макаров, Д.В. Зезюлин, В.В. Беляков // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – №8. – С. 21–25.
13. **Makarov, V.** Prediction of all-terrain vehicles mobility in snowscape scenes / V. Makarov, D. Zeziulin, V. Belyakov // 18th International Conference of the International Society for Terrain-Vehicle Systems, ISTVS 2014; South Korea.
14. **Макаров, В.С.** Обзор исследований по влиянию местности на характеристики снежного покрова / В.С. Макаров, Д.В. Зезюлин, В.В. Беляков // Труды НГТУ. – Н.Новгород, 2014. – №3(105). – С. 154–162.
15. **Папунин, А.В.** О влиянии ландшафта местности на характеристики снежного покрова и на проходимость транспортных средств / А.В. Папунин [и др.] // Труды НГТУ. – Н.Новгород, 2014. – №4(106). – С. 331–335.
16. Полотно пути транспортно-технологических машин (справочные материалы к теории «машина-местность»): учебник / под ред. В.В. Белякова, А.А. Куркина; Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород, 2014. – 447 с.
17. **Зубов, П.П.** Обзор существующих конструкций сочлененных гусеничных машин и рекомендации по выбору их параметров / П.П. Зубов [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2015. – № 2 (109). – С. 170–176.
18. **Барахтанов, Л.В.** Обоснование рациональной конструкции вездеходного транспортного средства с колесной формулой 8x8 / Л.В. Барахтанов [и др.] // Вестник машиностроения. – 2015. – № 6. – С. 3–5.
19. **Колотилин, В.Е.** Статистическая модель выбора геометрических параметров, массово-инерционных и мощностных характеристик транспортно-технологических машин на роторно-винтовых / В.Е. Колотилин [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2015. – № 3 (110). – С. 156–208.
20. **Береснев, П.О.** Статистическая модель выбора геометрических параметров, массо-инерционных, мощностных и скоростных характеристик многоосных колесных транспортно-техноло-

- гических машин / П.О. Береснев [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2015. – № 4 (111). – С. 136–150.
21. **Макаров, В.С.** Анализ параметров сочлененных гусеничных машин / В.С. Макаров [и др.] // Беспилотные транспортные средства: проблемы и перспективы: сб. матер. 94 международной научно-технической конференции: Ассоциации автомобильных инженеров / НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород, 2016. – С. 195–198.
 22. **Береснев, П.О.** Статистическая модель выбора геометрических параметров, массоинерционных, мощностных и скоростных характеристик гусеничных транспортно-технологических машин / П.О. Береснев [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород, 2016. – №1(112). – С. 109–164.
 23. **Агейкин, Я.С.** Вездеходные колесные и комбинированные движители. Теория и расчет / Я.С. Агейкин. – М.: Машиностроение, 1972. – 184 с.
 24. **Агейкин, Я.С.** Проходимость автомобилей / Я.С. Агейкин. – М.: Машиностроение, 1981. – 232 с.
 25. **Вольская, Н.С.** Разработка методов расчета опорно-тяговых характеристик колесных машин по заданным дорожно-грунтовым условиям в районах эксплуатации: дисс. ... докт. техн. наук: 05.05.03 / Вольская, Н.С. – М., 2010.
 26. **Шухман, С.Б.** Теория силового привода колес автомобилей высокой проходимости / С.Б. Шухман, В.И. Соловьев, Е.И. Прочко. – М.: Агробизнесцентр, 2007. – 336 с.
 27. **Белоусов, Б. Н.** Прикладная механика наземных тягово-транспортных средств с мехатронными системами: монография / Б. Н. Белоусов, С. Б. Шухман; общ. ред. Б. Н. Белоусов. – М.: Агроконсалт, 2013. – 610 с.
 28. **Шухман, С. Б.** Гидрообъемный привод большегрузных полноприводных автомобилей для эксплуатации на грунтах с низкой несущей способностью / С. Б. Шухман, А. В. Лепёшкин, Р. Х. Курмаев // Приводная техника. – 2007. – № 6.
 29. **Курмаев, Р.Х.** Использование гидрообъемных трансмиссий в конструкции автотранспортных средств / Р.Х. Курмаев, С.Е. Петров // Известия «МАМИ». – 2009. – № 2. – С. 108–115.
 30. **Шухман, С.Б.** Схемные решения автоматического управления гидрообъемной трансмиссией полноприводного АТС / С.Б. Шухман, С.В. Бахмутов, В.Э. Маляревич // Автомобильная промышленность. – 2007. – №3. – С. 15–18.
 31. **Горелов, В.В.** Закон управления с функцией систем активной безопасности для электромеханических трансмиссий многоосных колесных машин / В.В. Горелов [и др.] // Известия ВУЗов. Машиностроение. – 2013. – № 9. – С. 56–66.
 32. **Горелов, В.А.** Разработка закона управления индивидуальным приводом движителей многоосной колесной машины / В.А. Горелов, Г.О. Котиев, А.В. Мирошниченко // Известия ВУЗов. Машиностроение. – 2012. – № 1. – С. 49–59.
 33. **Горелов, В.А.** Алгоритм управления индивидуальным приводом колесных движителей транспортных средств / В.А. Горелов, Г.О. Котиев, А.В. Мирошниченко // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 2011. Спец. вып. «Энергетическое и транспортное машиностроение». – С. 39–58.
 34. **Bauer, M.** Fuzzy logic traction controllers and their effect on longitudinal vehicle platoon systems / M. Bauer, M. Tomizuka // Vehicle system dynamics. – 1996. – V. 25. – P. 277–303.
 35. **Береснев, П.О.** Оценка энергоэффективности вездеходного транспортного средства с гидрообъемной трансмиссией / П.О. Береснев [и др.] // Известия Московского государственного технического университета МАМИ. – 2016. – № 1 (27). – С. 2–8.
 36. **Kurkin, A.** Unmanned Ground Vehicles for Coastal Monitoring / A. Kurkin [et al.] // International Journal of Imaging and Robotics. Volume 17; Issue No. 1; Year 2017; – P. 64–75.
 37. **Kurkin, A.A.** Autonomous Mobile Robotic System for Environment Monitoring in a Coastal Zone / A.A. Kurkin [et al.] // Procedia Computer Science. – 2017. – № 103– P. 459–465.
 38. Снегоходные машины / Л.В. Барахтанов, В.И. Ершов, С.В. Рукавишников, А.П. Куляшов. – Горький: Волго-Вятское кн. изд-во, 1986. – 191 с.
 39. **Барахтанов, Л.В.** Повышение проходимости гусеничных машин по снегу: дисс. ... докт. техн. наук: 05.05.03 / Барахтанов Л.В. – Горький, 1988. – 352 с.

40. **Беляков, В.В.** Взаимодействие со снежным покровом эластичных движителей специальных транспортных машин: автореф. дисс...докт. техн. наук: 05.05.03 / Беляков В.В. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999. – 32 с.

*Дата поступления
в редакцию 22.07.2017*

V.S. Makarov

**DEVELOPMENT OF SCIENTIFICALLY BASIC TECHNICAL DECISIONS
ON CREATING MOBILE COMPLEXES
OF MONITORING OF THE COASTAL ZONES**

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alekseev

This article discusses the relevance of the mobile complexes coastal zone monitoring necessary to ensure socio-economic and environmental security, as well as economic activities in the coastal areas and adjacent water areas.

Methods for estimating the mobility under stochastic setting of the conditions of motion and corresponding parameters of the interaction of the chassis movers of mobile complexes coastal zone monitoring are considered. They make it possible to select the rational parameters of special transport-technological means and mobile monitoring complexes at the stage of their development, as well as the choice of a rational propulsor for the given operating conditions. The method provides scientifically-based technical solutions for mobile complexes coastal zone monitoring.

Key words: coastal zone, mobile monitoring complex, design method