

**Кучик Владимир Юрьевич,**  
курсант  
Научный руководитель Дубровская И. В.  
*Белорусский национальный технический университет*  
*г. Минск, Республика Беларусь*

## **ТЕОРИЯ МЕХАНИЗМОВ МАШИН В ВОЕННОМ ДЕЛЕ: ОТ КЛАССИЧЕСКИХ РЫЧАГОВ ДО БОЕВЫХ РОБОТОВ**

**Аннотация.** В статье рассмотрены основные положения теории механизмов машин (ТММ) в контексте военного машиностроения и вооружения. Показано, что классические понятия структурного анализа (звенья, кинематические пары, степень подвижности), кинематического и динамического анализа приобретают особую значимость при проектировании механизмов наведения и стабилизации вооружения, систем перезаряжания и подачи боеприпасов, подвесок боевых машин, а также приводов боевых робототехнических комплексов. Описано влияние ошибок структурного синтеза на появление избыточных связей и паразитных степеней свободы, приводящих к заклиниванию, люфтам и потере точности наведения. Показано, как методы кинематического анализа позволяют выявлять критические положения и профили движения в механизмах оружия и военной техники, а динамический анализ обеспечивает оценку отдачи, вибраций и ударных перегрузок, определяя требования к уравновешиванию, демпфированию и ресурсу.

**Ключевые слова:** теория механизмов машин; военная техника; кинематический анализ; динамический анализ; структурный синтез механизмов; механизмы наведения и стабилизации; автоматика оружия; боевые роботы; многозвенные механизмы; зубчатые и кулачковые передачи; вибродиагностика; боевая надежность.

Теория механизмов машин строится на определении машины как совокупности твердых тел, соединенных в пространстве кинематическими связями и предназначенных для совершения работы. Механизм – часть машины, изменяющая характер движения (изменяющая направление, величину, вид движения). Механизм не производит работу, а только определяет кинематику движения. Механизмы лежат в основе практически любого вида вооружения и военной техники: от спускового механизма ружья до систем наведения ракет, стабилизаторов вооружения на ББМ, приводов боевых машин, использующих робототехнику.

Задачам ТММ здесь предстоит решить задачи расчета схем и схем механизмов, кинематического и динамического проектирования, подбора параметров и обеспечения ресурса работы – все эти вопросы напрямую влияют на боевую надежность, живучесть и безопасность эксплуатации оружия. Основу структурного анализа механизма составляют понятия кинематической пары,

звена, степени подвижности. Звенья механизма – твердые тела, соединенные подвижными парами (вращательными, поступательными, винтовыми, сферическими и др.), позволяющими им относительно друг друга совершать движение определенного вида. В военной технике звеньями служат качающиеся рычаги спусковых и ударно-спусковых механизмов, коромысла и тяги механизма заряжания, звенья подвески опорных и направляющих катков, элементы приводов наведения орудия по горизонтали и вертикали. Число степеней свободы механизма (количество степеней свободы механизма – независимых степеней свободы) определяется по формулам Чебышева–Грублера–Кутцбаха. Ошибка в числе степеней свободы приводит к избыточному связям (закусыванию) механизма при стрельбе или подрыве и чувствительности к раскачкам корпуса, или, наоборот, к паразитным степеням свободы – люфтам и свободному движению, что сказывается на динамической точности наведения, кучности стрельбы, уходе точки прицеливания.

Структурный синтез в военной технике – построение механизма, обеспечивающего заданный режим движения (например, закон наведения орудия, закон стабилизации, траекторию движения бронезлемента, шаг «ноги» шагающего робота) при высокой надежности и малой чувствительности к загрязнению, обледенению, износу, боевым повреждениям. Кинематический анализ механизма заключается в решении задачи нахождения положений, скоростей и ускорений звеньев при заданном движении ведущего звена. Особенно важны такие системы в механизмах наведения и стабилизации, где требуется обеспечить заданную траекторию поворота башни или возвышения орудия с минимальными рывками и перегрузками для сохранения точности при стрельбе на ходу, а также в механизмах перезарядки и подачи боеприпасов (ленточное подающее устройство, автоматика стрельбы, автоматы заряжания орудий танков), где необходимо точно согласовать траектории движения подающего лотка, выбрасывателя и досылателя, чтобы избежать задержек и утыканий при стрельбе. Кинематический анализ применяется и к складным, трансформируемым конструкциям – выдвигным антеннам, складным опорам пусковых установок, боевым модулям на шасси. В плоскостных механизмах применяются векторные методы, методы плоскостей скоростей и ускорений, аналитические методы выявления «мертвых точек» (позиций, в которых может застревать затвор при выстреле или перезарядке), критических положений с перегрузками, приводящими к разрушению при автострельбе, оптимизации траекторий движения кулачков, рычагов, зубчатых передач для обеспечения плавности и предсказуемости работы при износе и загрязнении. В кинематических моделях оружия и техники (манипуляторы для разминирования, боевые модули дистанционного действия, приводы радиолокационных станций) используются матричные методы, кватернионы, теория винтовых движений – для описания пространственной траектории с учетом ориентации и ограничений по сектору обстрела, углам маскировки, габаритам шасси. Динамика изучает влияние сил и моментов на движение звеньев и характер рабочего цикла. В артиллерии – силы отдачи и отката орудий, ударные нагрузки при выстрелах

и наездах на препятствия, высокоскоростные циклические нагрузки в механизмах автоматики и подачи. Методами Лагранжа, принципа Даламбера, теории колебаний вычисляются инерционные силы и моменты, реакции в шарнирах и опорах, требуемые мощности приводов. Главные задачи – минимизировать колебания корпуса и башни после выстрела, чтобы повторная прицельная наводка не занимала много времени, обеспечить динамическое уравнивание механизмов наведения и стабилизации, чтобы исключить раскачку и колебания при езде по неровной местности, определить предельные режимы стрельбы, при которых механизмы автоматики еще справляются без заеданий и отказов, рассчитать нагрузки на механизмы подвески (рычаги, торсионы, амортизаторы) при взрывах и прыжках, чтобы ходовая осталась на ходу. В скоростных механизмах военной техники динамический анализ позволяет заранее выявить участки, где сосредоточены динамические усилия, и вовремя усилить или переработать конструкцию, применение демпфирующих элементов, откатных амортизаторов, противооткатных устройств. Суть синтеза механизмов по заданному закону движения в задачах военной техники сводится к обеспечению заданного закона наведения вооружения (линейного, программного или временного адаптивного с учетом движения цели и системы), оптимальной траектории движения манипулятора прицельного звена для минимизации времени цикла и вероятности срывов, заданного закона изменения усилия спускового крючка при безопасном обращении и высокой точности прицельной стрельбы, траектории движения манипулятора саперного робота, обеспечивающей безопасный подход к взрывоопасному объекту и его манипуляцию. В качестве основного инструментария применяются аналитические и графоаналитические методы синтеза, аппроксимационные подходы и все более активно – методы компьютерной оптимизации (генетические алгоритмы, многокритериальные методы, глобальный поиск), при этом критериями служат минимизация массы и габаритов, максимизация точности и скорости наведения, снижение чувствительности к износу и люфтам, устойчивости к внешним возмущениям (отдаче, вибрациям и т. д.). Значительное значение имеют передаточные функции и передаточные отношения между перемещениями, скоростями и силами входного и выходного звеньев.

В военной технике – при конструировании зубчатых передач приводов поворота башни, наведения орудий, редукторов движителей, где важны стабильность передаточного отношения, высокая несущая способность и минимальный люфт для обеспечения высокой точности наведения; в кулачковых механизмах автоматики стрельбы и синхронизации подачи патронов и предохранительных устройств, где профиль кулачка выбирается так, чтобы толкатель перемещался по заданному закону без ударных нагрузок и заеданий; в рычажных механизмах спусковых, предохранительных и блокирующих устройств, где передаточные отношения определяют усилие на рычаге, ход, чувствительность и безопасность. Теоретические основы эвольвентного зацепления, фундаментальные решения ТММ для рычажных и кулачковых механизмов прямо переходят в точность наведения, надежность автоматики

и безопасность стрелка и экипажа. На современном этапе ТММ развивается в тесной связи с компьютерным моделированием, САПР (CAD/CAE). Для военной техники это имитационное испытание механизмов наведения и стабилизации в виртуальной среде с учетом реальных траекторий движения, отдачи и внешних воздействий, многокорпусная динамика (МВД) и конечные элементы (FEA) для совместного анализа кинематики и прочности механизмов, донатурная проверка конструкции боевого робота или боевого модуля на слабые места и сингулярные положения. Боевые роботы и дистанционно управляемые модули представляют собой пространственные многосвязные робототехнические комплексы с многосвязными манипуляторами, ходовыми устройствами (колесными, гусеничными, шагающими) и преобразователями (сгибаемыми/раскладываемыми для транспортировки и боевой работы). Внутри ТММ реализованы алгоритмы прямого и обратного интегрирования кинематических уравнений, анализа сингулярностей (точек, в которых управляемость теряется), синтеза оптимальных траекторий и режимов движения, минимизирующих энергоресурсы и обеспечивающих скрытность за счет плавности и отсутствия резких маневров. Не менее значима интеграция ТММ с системным и междисциплинарным подходами. Военное дело все реже рассматривает механизм как самодостаточную систему. Все чаще он входит в сложную цепочку приводов, электроники управления, датчиков и элементов интерфейса. Для инженера-конструктора это требование к способности опознавать по вибрационным и кинематическим признакам зарождающиеся деформации и повреждения в конструкциях, применять методы вибродиагностики, технического зрения и предиктивного обслуживания для предупреждения отказов в условиях боевого развертывания, понимать, что люфт в паре или незначительное изменение передаточного отношения приведут к неточности, задержке выстрела или заклиниванию в решающий момент. Сочетание теоретических разработок с методами сигнального анализа и машинного обучения создает базу для построения систем предупреждения отказов механизмов танков, БМП, артиллерийских установок и боевых роботов – от простейшего рычага до многоосного манипулятора.

Несмотря на стремительное развитие информационных и интеллектуальных технологий, теория машин и механизмов остается базовой дисциплиной инженерного образования, а в прикладном аспекте – неотъемлемой частью разработки надежных и живучих боевых машин. Тенденция четкая: ТММ не исчезает, а эволюционирует – в него все активнее проникает вычислительная механика, методы оптимизации, элементы материаловедения и системного проектирования. Иначе говоря, механизмы становятся не просто «работающими», а компактными, энергоэффективными, способными выдерживать боевые нагрузки – все то, что нужно современному «военному ремеслу» конструктора вооружения.

### Список использованных источников

1. Артоболевский, И. И. Теория механизмов и машин / И. И. Артоболевский. – М. : Наука, 1988.
2. Чебышев, П. Л. Собрание сочинений. –Т. 4 : Механизмы / П. Л. Чебышев. – М. : АН СССР, 1955.
3. Малышев, Н. Н. Теория механизмов и машин : учебник для вузов / Н. Н. Малышев, В. М. Троицкий. – М. : Машиностроение, 2006.
4. Троценко, В. Т. Динамика и прочность механизмов машин / В. Т. Троценко, В. А. Петров. – К. : Техника, 1990.
5. Воробьев, А. Ф. Конструирование и расчет систем автоматического перезаряжания и подачи боеприпасов / А. Ф. Воробьев. – М. : Машиностроение, 1985.