

МНЕНИЕ ЧИТАТЕЛЯ

Прочитав в журнале «Артиллерийское и стрелковое вооружение» (2008, № 4) статью «Простой алгоритм для расчета индукционного ускорения электропроводящих тел в метательном устройстве», авторы которой В. Т. Чемерис, В. В. Машталир и Ю. А. Гусак, хотелось бы поделиться следующими соображениями.*

Разработка электромагнитных метательных устройств для крупных объектов (массой от нескольких граммов до сотен килограммов и выше) на базе индукционного ускорителя представляется одним из наиболее перспективных направлений развития таких систем для достижения высокой стартовой скорости и ускорения объектов на относительно коротком активном участке разгона. Применение таких метательных устройств позволяет развивать новые виды вооружений (от стрелкового до крупногабаритного артиллерийского наземного, морского и аэрокосмического базирования) и модернизировать существующие. Соответствующие исследования осуществляются сегодня практически во всех развитых государствах.

На базе индукционного ускорителя эффективно разрабатываются системы «активной брони» для бронетанковой техники, электромагнитные катапульты для запусков самолетов с палубы кораблей, комплексы ПВО, системы запуска на низкие околоземные орбиты небольших спутников и беспилотных самолетов, устройства активной защиты особо важных объектов и др.

Индукционные ускорители могут эффективно взаимодействовать с иными типами ускорителей, например, химическими взрывными, кинетическими и др. Так, при установке индуктора на выходе из ствола пушки можно обеспечивать дополнительное ускоре-

ние традиционного снаряда без кардинального изменения его конструкции.

Индукционные ускорители применяются в различных промышленных системах и научных исследованиях: в ударно-конденсаторной сварке, комплексах для испытаний ответственной аппаратуры на ударные нагрузки, испытаниях объектов аэрокосмической техники на микрометеоритное воздействие и др. Для специалистов не секрет, что индукционные ускорители имеют целый ряд общеизвестных преимуществ по сравнению с другими типами электромагнитных ускорителей.

Как показывают исследования, эффективность индукционных ускорителей традиционных конструкций, оцениваемая как отношение кинетической энергии ускоряемого объекта к значению запасаемой импульсной энергии источника питания, довольно низкая (не более 25–30 %). Это, видимо, можно объяснить различной скоростью протекания и несогласованностью электромагнитных, механических и тепловых быстропротекающих процессов импульсного характера.

Исходя из этого, авторами статьи обоснованно выбран подход к созданию оптимизационной модели для выбора исходных параметров ускорителя по критерию максимального КПД. Поскольку оптимизационные исследования предусматривают многократное решение исходной задачи определения выходных параметров ускорителя, она, несомненно, должна иметь минимальное время расчета. Исходя из этого, авторами статьи выбрана упрощенная математическая модель на основе двух индуктивно связанных контуров с изменяемой магнитной связью.

Оригинальными элементами и новыми подходами в предлагаемой математической модели являются:

– расчет собственных и взаимных индуктивностей по однотипным формулам, что повышает достоверность исходных данных для последующего расчета;

* Автор статьи д-р техн. наук, проф. Болюх В. Ф. — специалист в области импульсных электромеханических преобразователей индукционного типа, соавтор монографии «Лінійні електро- механічні перетворювачі імпульсної дії». — Харків: НТУ «ХПИ». — 2006. — 259 с.

– аппроксимация зависимости взаимной индуктивности от перемещения довольно простыми и оригинальными зависимостями;

– учет изменения во времени сопротивления индуктора и якоря с учетом скин-эффекта и взаимного пространственного положения;

– переход к безразмерным величинам, что позволяет оперировать более общими формулами и параметрами, а также сократить количество критериев, определяющих режим работы ускорителя.

К числу исходных конструктивных параметров ускорителя авторами справедливо отнесены как геометрические (диаметры и длины катушек), массовые (полная масса якоря), электрические (сопротивления, индуктивность, взаимоиндуктивность), тепловые (средняя температура за время рабочего импульса) индукторы и якоря, так и электрические параметры емкостного накопителя. Однако при этом не рассмотрены такие вопросы, как выбор проводникового материала для индуктора и якоря, влияние условий охлаждения проводников, учет противодействующих сил (трения, сопротивления воздуха), соотношение между «чистой» массой полезного ускоряемого объекта и полной массой якоря. Все это определенным образом ограничивает возможности программы.

Представляется целесообразным дополнить перечисленные выше исходные конструктивные параметры такими независимыми переменными как диаметр, форма, количество витков обмотки, коэффициент заполнения индуктора, толщина изоляции между витками, внутренний диаметр якоря и т. д. При таком подходе, очевидно, можно исключить из расчета электрические параметры индуктора и якоря (сопротивление, индуктивность, взаимоиндуктивность), а также тепловые, поскольку они будут определяться их геометрическими параметрами. Отметим также, что при размерном анализе сопротивлений и индуктивностей контуров следует иметь в виду, что они являются взаимозависимыми параметрами и не могут рассматриваться как исходные и независимые друг от друга.

Представленная модель, к сожалению, несколько ограничена отсутствием уравнения для учета влияния джоулевых потерь на

сопротивления активных проводников, поскольку температура индуктора, и особенно якоря, может достигать больших величин при повышении удельных электромагнитных нагрузок. Исходя из этого, целесообразно электромеханическую математическую модель дополнить тепловыми уравнениями.

Результаты математического моделирования в целом отвечают основным физическим процессам в индукционном ускорителе. Однако представление их только в безразмерной форме с использованием обобщенных критериев подобия затрудняет количественный анализ полученных данных. Желательно было бы рассмотреть влияние уровня запасенной энергии накопителя на характеристики ускорителя. Кроме того, видимо, нецелесообразно задавать одинаковую среднюю температуру для проводников индуктора и якоря, ведь с увеличением энергии, подаваемой от емкостного накопителя, температура будет существенно возрастать в первую очередь в проводнике якоря.

Показанный на графиках характер изменения КПД ускорителя как функции времени в целом соответствует реальности. Однако возникает вопрос о необходимости проведения дальнейших оптимизационных расчетов и оценки величины КПД при вариации различных конструктивных факторов, в первую очередь — начального положения якоря и его начальной скорости. В работе правильно показана тенденция роста КПД ускорителя с увеличением начальной скорости якоря. Однако этот вопрос заслуживает более детального исследования.

Расчеты выполнены с использованием пакета программ МАТЛАБ, однако, к сожалению, в работе дана очень краткая информация о программной реализации расчетного алгоритма.

В целом статья представляет собой определенный научный вклад в понимание физических процессов индукционного ускорения. Кроме того, она имеет и практическую ценность, поскольку предлагаемая авторами математическая модель позволяет многократно снизить расчетное время при учете всех основных физических процессов.

В. Ф. Болюх