

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МНОЖЕСТВА КАТАСТРОФ И ПОЛОСЫ НЕУСТОЙЧИВОСТИ ПРИ ОЦЕНКЕ УСТОЙЧИВОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

К. В. Керус

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого, Республика Беларусь»*

Научный руководитель Т. В. Алфёрова, канд. техн. наук, доцент

С учетом увеличения требований к качеству передаваемой электрической энергии и устойчивости электроэнергетических систем (ЭЭС) не только в нормальном режиме, но и при аварийных ситуациях все большее внимание начинает уделяться различным методам моделирования процессов, происходящих в ЭЭС. Одним из востребованных видов абстрактного моделирования является математическое моделирование, которое позволяет абстрагироваться от физической природы объектов, с помощью математических зависимостей – математической модели. Математические модели описывают физическое поведение объекта с помощью математических выражений, которые могут быть решены только с помощью использования современных программных и программно-аппаратных вычислительных комплексов. Данные программно-аппаратные комплексы содержат точное описание моделируемых объектов и позволяют решать принципиально новые задачи, так как обеспечивают возможность всестороннего исследования характеристик рассматриваемого объекта моделирования. Математическая модель ЭЭС реализуется в основном в виде формальной модели – алгоритма, представленной как программа для ЭВМ.

В современном представлении математическая модель ЭЭС – это программа для ЭВМ, реализующая алгоритм решения систем уравнений, описывающих основные взаимосвязи между параметрами моделируемого объекта. Следует различать этап формирования математической модели и этап ее использования (эксплуатации).

Важнейшим вопросом анализа устойчивости ЭЭС является ее рассмотрение в виде динамической системы с большим количеством переменных. Для проведения анализа динамической устойчивости энергосистем используются две группы методов. Первая группа использует результаты численного интегрирования уравнений движения системы. На основании моделирования различных возмущений в различных точках энергосистемы оценивается реакция системы и устойчивость взаимного движения синхронных машин. Второй группой являются качественные методы исследования устойчивости. Недостатком первой группы методов является фрагментарность получаемых результатов. Только на основе массовых расчетов переходных процессов формируется общее представление об устойчивости рассматриваемой системы. Недостатком второй группы расчетных методов является трудность их применения для энергосистем любой структуры и размера, ограничения на сложность применяемой математической модели. В результате в проектной и эксплуатационной практике не используются программные разработки для качественного анализа устойчивости. Нарушение устойчивости связано с достижением критических состояний при взаимном движении объектов, выделяющихся в структурно неоднородной системе. Использование методов расчетов режимов, в методологию которых входит формализованная идентификация слабых элементов системы и факторов, влияющих на проявление различных слабых звеньев, является перспективным направлением по снижению размерности задачи исследования устойчивости энергосистем.

Проведение расчетных исследований структурных динамических свойств энергосистемы с использованием расширенной постановки задачи исследования устойчивости с помощью специализированных инструментальных средств позволяет провести полные исследования ее слабых звеньев и определить структуру и состав задач по управлению ею с целью обеспечения устойчивости. Важным промежуточным результатом является прогнозирование положений сечения асинхронного хода в системе при нарушениях устойчивости.

Для описания поведения ЭЭС при оценке устойчивости можно использовать «машину катастроф» Зимана (рис. 1 и 2). Эта машина состоит из диска, вращающегося вокруг вертикальной оси. К одной из точек на периферии диска прикреплены две резиновые нити. Свободный конец одной из нитей жестко закреплен в точке Q , а свободный конец другой – P – может свободно перемещаться в плоскости, параллельной плоскости диска. Карандаш, прикрепленный к резинке в точке P рисует на бумаге, лежащей на дощечке. Перемещая карандаш, осуществляют вращение диска, так что состояние системы описывается положением карандаша и диска. Если P плавно перемещать вне ромбовидной области, диск будет плавно поворачиваться в ту или в другую сторону. Но когда P попадает в область $ABCD$, положение меняется. Предположим, точка P движется по линии $UVWXYZ$ слева направо. При медленном движении точки диск плавно поворачивается. Но вот когда P выходит из ромба в точке Y , диск резко, скачком меняет угол поворота. Но когда P начинает перемещаться в обратном направлении по той же прямой, в точке Y никакого скачка не происходит. Он появляется на этот раз в точке V , там, где P выходит из ромба. Таким образом, поведение диска не меняется на прямо противоположное, когда P проходит прежний путь $ZYXWVU$ в обратном направлении. Когда P попадает в любую точку, находящуюся вне ромбовидной области $ABCD$, у диска есть только одно положение устойчивого равновесия. Когда же P попадает внутрь этой области, устойчивых положений уже два.

Для математического анализа работы такого устройства используется трехмерное пространство, в котором по вертикальной оси откладывается энергия равновесных положений диска X , а по горизонтальным осям – координаты точки P . Возникает поверхность со складкой, изображающая собой совокупность всех равновесных положений диска. Проекция складки на плоскость образует часть ромбовидной области, примыкающей к точке A . Когда P находится вне заштрихованной области, каждому ее положению соответствует единственное значение X и единственная точка на поверхности: состояние системы здесь описывается однозначной функцией. Но когда P оказывается внутри заштрихованной площади, одному положению P соответствуют три значения X на разных частях складки. Функция здесь перестает быть однозначной.

Такая модель хорошо объясняет поведение диска. При движении P слева направо X движется вдоль гладкой поверхности до тех пор, пока не достигается край перегиба. Дальнейшее нарастание координаты приводит к резкому перескоку X с верхнего на нижний уровень – так называемая «катастрофа» Тома. При движении P в обратном направлении – справа налево – X перемещается плавно по нижней поверхности складки, пока не достигнет ее края. Дальнейшее изменение координаты приводит снова к «катастрофе» – скачку с нижнего на верхний уровень. Эта простейшая модель, в которой энергия равновесия зависит всего от двух независимых переменных – координат точки P .

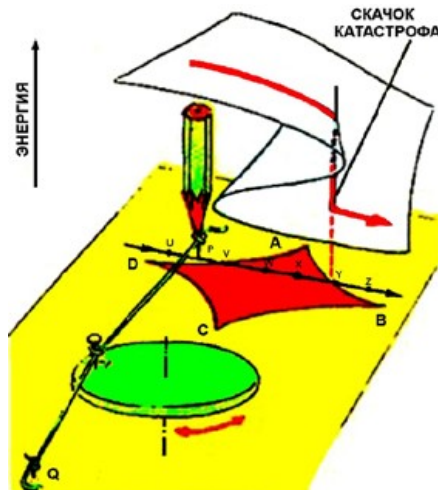


Рис. 1. «Машина катастроф» Зимана

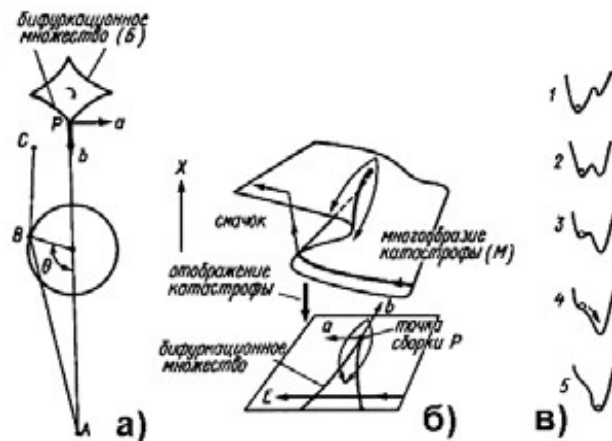


Рис. 2. Машина Зимана (а); геометрия катастрофы сборки (б); графики функции потенциальной энергии $U_{ab}(\phi)$ (в)

Состояние «машины катастроф» описывается тремя числами. Положение острого карандаша задается двумя координатами (они называются управляющими параметрами). Положение диска определяется еще одним числом – углом поворота (внутренний параметр системы – управляемый параметр). Если все три числа заданы, и определены степени растяжения резинок, то определена потенциальная энергия всей системы. Диск поворачивается так, чтобы эту энергию минимизировать. При фиксированном положении карандаша потенциальная энергия – функция от положения диска, т. е. функция, заданная на окружности. Эта функция может иметь в зависимости от значений управляющих параметров один или несколько минимумов.

Если при изменении управляющих параметров положение минимума меняется плавно, то скачка не происходит. Скачок происходит при тех значениях управляющих параметров, для которых локальный минимум исчезает, слившись с локальным максимумом; после скачка диск оказывается в положении, отвечающем другому локальному минимуму. Состояния, при которых диск находится в равновесии, образуют в трехмерном пространстве состояний машины гладкую поверхность. Если проектировать эту поверхность на плоскость управляющих параметров вдоль оси внутреннего параметра, то получится следующая проекция (складка) – кривая катастроф. На рис. 3 видно почему переход управляющих параметров через линию катастроф иногда вызывает, а иногда не вызывает скачок (это зависит от того, какой части поверхности отвечает положение диска). Пользуясь этим рисунком, можно переходить с одного места поверхности равновесий на другое без скачков.

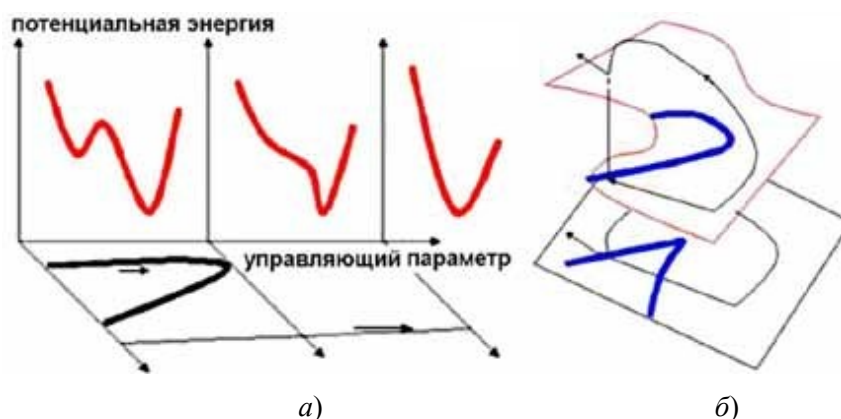


Рис. 3. Потенциальная энергия машины катастроф (а);
поверхность равновесий машины катастроф (б)

Таким образом, для построения простейших моделей поведения ЭЭС в различных режимах для оценки устойчивости необходимо и достаточно построения математической модели в виде «машины катастроф», которая дает достаточно полное представление о состоянии ЭЭС при каких-либо внешних воздействиях на нее.

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

В. Д. Козлов

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель Т. Г. Фильчук

В последние годы в мире наблюдается устойчивая тенденция роста использования электротранспорта и в частности электромобилей, что обусловлено воздействием следующих преимуществ: снижение расходов на топливо, снижение загрязнения окружающей среды, снижение шума, безопасность и др. Перспективы распространения электромобилей достаточно высокие. Сегодня в Беларуси насчитывается около 1200 электромобилей в сравнении с 400 электрокарами на начало 2020 г.

По мнению экспертов, у электромобилей есть множество плюсов: это и снижение загрязнения воздуха, и повышение потребления электроэнергии в стране в связи с вводом БелАЭС и внедрение новых технологий. Но покупателей, конечно, в первую очередь волнуют стоимость и инфраструктура. Совет Евразийской экономической комиссии 16 марта постановил обнулить пошлины на импорт электромобилей в Россию и другие страны объединения. Документ был размещен на сайте Евразийского экономического союза 4 апреля. Решение вступило в силу через месяц после публикации документа – 4 мая. В ЕАЭС входят: Россия, Армения, Киргизия, Казахстан и Беларусь. Нулевые пошлины будут действовать до 31 декабря 2021 г. Глава государства подписал указ, предусматривающий освобождение от уплаты НДС и другие льготы [1].

Белорусские автолюбители, сравнивая покупку электромобиля и авто с двигателем внутреннего сгорания, в первую очередь оценивают эффективность. Экономическая составляющая складывается из двух факторов – стоимости электромобиля и стоимости владения им. Сегодня электромобили дороже, чем обычные авто. Отмена НДС указом Президента и таможенной пошлины решением ЕЭК делают покупку