

УДК 621.827.5

А. В. Щенятский, доктор технических наук, профессор

Е. С. Чухланцев, аспирант

Ижевский государственный технический университет

АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ ЭКСЦЕНТРИКОВЫХ МЕХАНИЗМОВ
И СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ИХ НАГРУЗОЧНОЙ СПОСОБНОСТИ

Рассмотрены различные механизмы перекоса. Проведена их классификация, выявлены области применения. Определены перспективные направления работ по созданию нового механизма перекоса.

Ключевые слова: механизм перекоса, эксцентрик, бурильные колонны

В настоящее время в машиностроении, нефтегазовом машиностроении, пищевой и авиационной промышленности широкое применение получили механизмы перекоса различного принципа действия и их видового исполнения [1].

Особое место занимают устройства перекоса [2], относящиеся к нефтегазовой промышленности, установка которых в низ бурильной колонны обеспечивает направленное отклонение скважины в процессе бурения, что в свою очередь предоставляет возможность для создания не только наклонно-направленных или вертикальных, но и горизонтальных скважин. Основным отличием горизонтальной скважины от вертикальной или наклонно-направленной является не точечное, а линейное вскрытие залежи, что позволяет существенно увеличить охват залежи, резко повысить поверхность фильтрации, увеличить коэффициент извлечения нефти (КИН), сократить влияние на окружающую среду, обеспечить значительный рост эффективности капитальных вложений [3].

Проведенный анализ различных конструкций механизмов перекоса, используемых для создания горизонтальных и наклонно-направленных скважин, показал, что особое место занимают устройства перекоса, в конструкции которых в настоящее время наряду с продольно-рычажными, радиально-пальцевыми, кулачковыми могут эффективно применяться эксцентриковые механизмы [4], обладающие компактностью исполнения, высокой нагрузочной способностью и возможностью обеспечения требуемой точности перемещения внешней или внутренней поверхностей.

Дальнейшие исследования эксцентриковых механизмов показали широкую значимость их применения в нефтегазовой отрасли, машиностроении, авиастроении и в других областях народного хозяйства. Многообразие подходов к проектированию, теории расчета, оценки технического состояния и совершенствованию существующих конструкций эксцентриковых механизмов (ЭМ) требует их классификации и дальнейшего разделения на несколько групп, принципиально отличающихся друг от друга. Проведенный анализ показал, что по назначению ЭМ можно разделить на три большие группы (рис. 1).

Эксцентриковый механизм может выполнять роль децентратора [5], в этом случае он предназначен для обеспечения требуемого угла отклонения бурильной колонны и фиксации ее элементов в заданном относительном положении. Обеспечение требуемых, взаимосвязанных смещений в радиальном и угловом направлениях

возможно с помощью поликонтактных эксцентриковых отклонителей [6]. Требуемое движение можно получить с помощью двух, трех и более контурных эксцентриковых механизмов (рис. 2). Однако наиболее простым и надежным, на наш взгляд, является двухконтурный ЭМ.

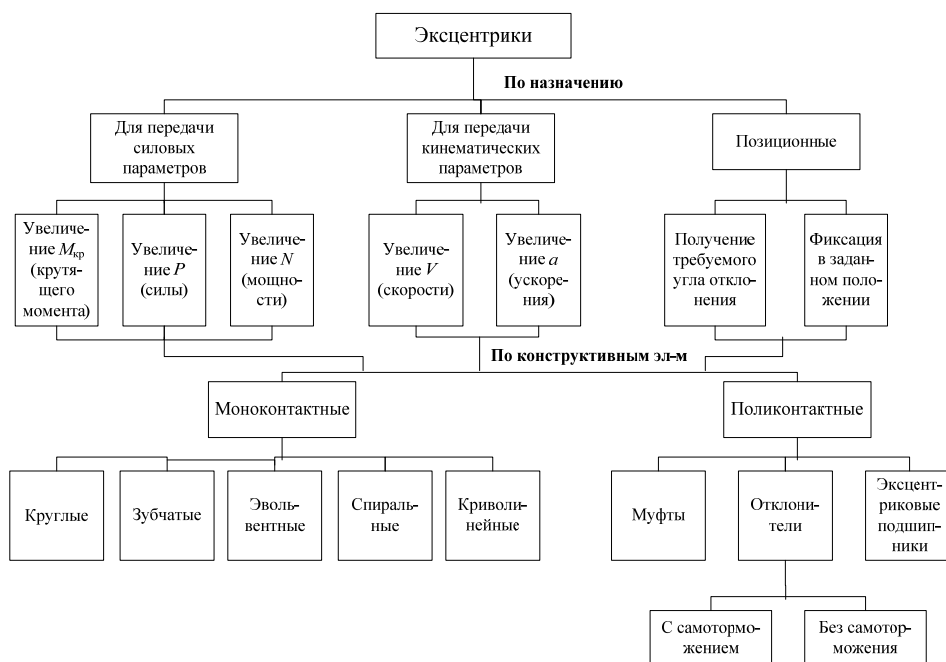


Рис. 1. Классификация конструкций современных эксцентриковых механизмов

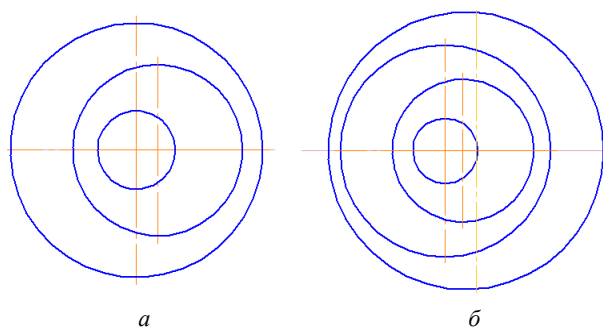


Рис. 2. Эксцентриковые механизмы: а – двухконтурные; б – трехконтурные

Следовательно, наиболее перспективным направлением является разработка конструкций двухконтурных поликонтактных эксцентриковых механизмов, в том числе и с самоторможением. В нашем случае механизм самоторможения – это соединение с небольшим натягом, приводящийся в движение путем введения масляной прослойки между контактными поверхностями.

Анализ существующего состояния теории расчета напряженно-деформируемого состояния (НДС) [7] ЭМ показал, что контактные задачи решаются на основе аналитического решения задачи Герца [8] для двух сопряженных криволинейных поверхностей (рис. 3) на основе ряда допущений:

- контакт происходит в условиях сухого трения с коэффициентом трения k ;
- пренебрегается зависимость величины коэффициента трения от величины относительной скорости смещения контактирующих поверхностей;
- линеаризация граничных условий;
- снесение граничных условий на недеформированные граничные поверхности;
- обе сопряженные криволинейные поверхности считаются идеально ровными.

Существующие научные школы, занимающиеся расчетом НДС и нагрузочной способности эксцентриковых механизмов, Б. Л. Абрамяна, В. М. Александрова, Ю. А. Амензаде и др., А. Г. Горшкова, Э. И. Григолюка и Д. В. Тарлаковского доказали возможность применения численных методов математического моделирования для расчета нагрузочной способности ЭМ.

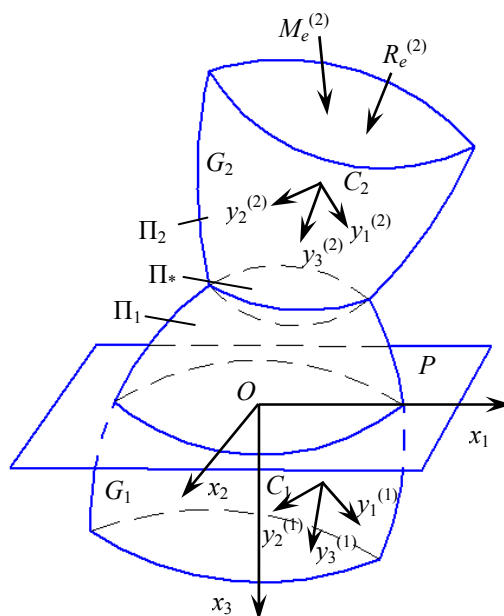


Рис. 3. Соударение двух сопряженных криволинейных поверхностей

Характерной особенностью таких задач является зависимость от времени области контакта – подвижность границ раздела типов краевых условий. Методы решения, используемые в задачах о штампе, в этих случаях, как правило, не применимы. Математические трудности, связанные с динамическими контактными задачами с подвижными границами, приводят к необходимости разработки специфических подходов [9].

Проведенный анализ показал, что в рассматриваемых задачах о динамическом контакте тел, ограниченных выпуклыми поверхностями, в дополнение к обычным вопросам о задании типа контакта добавляется проблема определения в каждый момент времени области контакта Π^* . Также было установлено, что наибольшее

распространение имеют задачи с односторонним контактом: контактирующие поверхности могут воспринимать только сжимающие напряжения [10].

Одним из ярко выраженных примеров математического моделирования для решения сопряженной подвижной контактной задачи является задача соударения двух сопряженных криволинейных поверхностей (рис. 3).

В случае, когда тело G_2 , является абсолютно жестким, а G_1 – деформируемое, может быть использована криволинейная система (x_1, x_2, x_3) , совпадающая в начальный момент времени $t = 0$ с системой $(\varepsilon_1^{(1)}, \varepsilon_2^{(1)}, \varepsilon_3^{(1)}) : x_i = \varepsilon_i^{(1)}|_{t=0}$ [11].

В процессе взаимодействия тела G_k перемещаются, деформируются. Положение каждой точки $(\varepsilon_1^{(k)}, \varepsilon_2^{(k)}, \varepsilon_3^{(k)}) \in G_k$ в произвольный момент времени t определяется радиусом-вектором $r^{(k)}$ в системе координат $Ox_1x_2x_3$ [12]:

$$r = r^{(k)}(\varepsilon_1^{(k)}, \varepsilon_2^{(k)}, \varepsilon_3^{(k)}, t) = r_0^{(k)}(\varepsilon_1^{(k)}, \varepsilon_2^{(k)}, \varepsilon_3^{(k)}, t) + w^{(k)}(\varepsilon_1^{(k)}, \varepsilon_2^{(k)}, \varepsilon_3^{(k)}, t), r = r^{(k)} = r_0^{(k)} + w^{(k)}, \quad (1)$$

где $w^{(k)}$ – вектор перемещений; вектор $r_0^{(k)}$ характеризует начальное положение точки. Тройка чисел $\varepsilon_1^{(k)}, \varepsilon_2^{(k)}, \varepsilon_3^{(k)}$ фактически является лагранжевыми координатами точки.

Для определения закона движения (1) точек сплошных сред необходимо задать уравнение движения:

$$L_0^{(k)}(\varphi_{01}^{(k)}, \varphi_{02}^{(k)}, \dots, \varphi_{0m}^{(k)}) = 0. \quad (2)$$

Система функций $\{\varphi_{0j}^{(k)}\}$ полностью определяет состояние k -й среды. Операторы $L_0^{(k)}$ определяются выбором математической модели среды и могут иметь вид дифференциальных операторов и частных производных (например, акустические, упругие среды, тонкие оболочки), обыкновенных дифференциальных операторов (абсолютно жесткое тело), интегро-дифференциальных операторов (наследственные модели) и т. д. [13].

Поэтому предложенный ранее подход к решению задач контакта двух сопряженных криволинейных поверхностей не совсем подходит нашему случаю.

В нашем случае – в двухконтурном эксцентриковом механизме перекоса – в контакте находится несколько тел сразу (рис. 4).

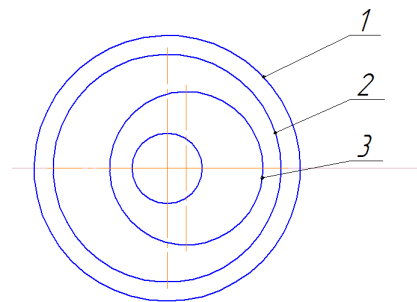


Рис. 4. Двухконтурный эксцентриковый механизм перекоса

Внешняя обойма 1 контактирует с встроенным эксцентриком 2 по внутренней поверхности, а внутренний эксцентрик 3, в свою очередь, контактирует с встроенным эксцентриком 2 по внешней поверхности. Тогда как встроенный эксцентрик 2 осуществляет мультиконтакт сразу с двумя телами: внешней обоймой 1 по внешней поверхности и внутренним эксцентриком 3 по внутренней поверхности.

С другой стороны, рассматриваемые неподвижные соединения, в том числе и полисоединения [14], показали, что применение численных методов является эффективным и дает хорошие практические результаты.

В данных работах рассматриваются неподвижные соединения без зазора, с допущением идеальной геометрии тел и отсутствием условий проскальзывания.

В нашем случае линия контакта не находится в одной плоскости. Так как детали ЭМ передают нагрузку с помощью механической передачи, которая, в свою очередь, может быть различных типов, то возникает необходимость расчета интегрированной в ЭМ передачи и самого ЭМ.

Современная теория расчета ЭМ представляет собой отдельный расчет кинематических параметров и отдельный расчет нагрузочной способности и НДС каждого ЭМ.

Дальнейшие исследования двухконтурных ЭМ с самоторможением показали, что величина передаваемой нагрузки изменяется в зависимости от того, какой из эксцентриков при этом используется. Также было установлено, что особое влияние на величину нагрузки оказывает тип выбранной механической передачи движения.

Проведенный анализ современных теорий расчета ЭМ показал, что теории совместного расчета НДС, нагрузочной способности и кинематических параметров ЭМ с самоторможением нет.

Поэтому развитие подобной теории потребует решения следующих задач:

- определить наиболее эффективную геометрию ЭМ с самоторможением с учетом интегрированной механической передачи;

- анализ схем нагружения ЭМ;
- анализ конструкций ЭМ;
- определение зазора между элементами ЭМ;
- анализ интегрированных в ЭМ механических передач;
- анализ и учет условий контактного взаимодействия.

Решение всех этих задач позволит реализовать теорию расчета ЭМ с самоторможением.

Библиографические ссылки

1. Попов Д. Н., Панаиотти С. С., Рябинин М. В. Гидромеханика : учебник для вузов / под ред. Д. Н. Попова. – 2-е изд., стереотип. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. – 384 с.
2. Лукьянов В. Т. Развитие теории управления искривлением скважин при бурении : автореф. дис. д-ра техн. наук : 05.15.10. – Краснодар, 1998. – 45 с.
3. Там же.
4. Заявка № 2011120651/03. Управляемый механизм перекося / Е. С. Чухланцев, А. В. Щенятский (РФ) – 2011.
5. Там же.
6. Лукьянов В. Т. Развитие теории управления искривлением скважин при бурении.
7. Кулиш Е. В. Исследование напряженно-деформированного состояния прессовых полисоединений со сплошной и с разрезной втулкой // Интеллектуальные системы в производстве. – 2008. – № 2 (12). – С. 20–25.

8. Там же.
9. Шалашилин В. П., Горишков А. Г., Трошин В. Н. Сопротивление материалов : учеб. пособие. – М. : Изд-во МАИ, 2000. – 616 с.
10. Там же.
11. Сопротивление материалов с основами теории упругости и пластичности / Г. С. Варданян [и др.] ; под. ред. Г. С. Варданяна. – М. : Изд-во АСВ, 1995. – 568 с.
12. Там же.
13. Ицкович Г. М., Минин Л. С., Винокуров А. И. Руководство к решению задач по сопротивлению материалов : учеб. пособие для вузов / под ред. Л. С. Минина. – М. : Высш. шк., 1999. – 592 с.
14. Кулиш Е. В. Напряженно-деформированное состояние и нагрузочная способность прессовых полисоединений : автореф. дис. канд. техн. наук. – Ижевск, 2009. – 20 с.

A. V. Shchenyatskiy, Doctor of Technical Sciences, Professor, Izhevsk State Technical University

E. S. Chukhlantsev, Postgraduate Student, Izhevsk State Technical University

Analysis of Cam Mechanism Designs and Existing Methods of Their Load Capacity Calculation

Different skewing mechanisms are considered in the article. Classification of the mechanisms is carried out and their application areas are determined. The work upcoming trends to create new skewing mechanisms are defined.

Key words: skewing mechanism, cam, drillstring

Получено: 02.11.11