

УДК 621.01

## ПРОБЛЕМА СЛОЙНОСТИ ПЛОСКИХ ШАРНИРНЫХ РЫЧАЖНЫХ МЕХАНИЗМОВ

Л.Н. Гудимова, Л.Т. Дворников, Н.С. Большаков

Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк

E-mail: tmniok@yandex.ru

*Показана и обоснована необходимость представления кинематических схем механизмов в профильной плоскости на этапе кинематического и кинетостатического исследований. Раскрыто понятие слойности и приведены примеры построения кинематических схем в профильной плоскости в зависимости от взаимного движения звеньев относительно друг друга.*

### Ключевые слова:

Фасная плоскость, профильная плоскость, параллельный слой, слойность механизма.

В теории механизмов, начиная с исследований П.Л. Чебышёвым так называемых параллелограммных механизмов [1], традиционно учёные вполне удовлетворялись рассмотрением плоских шарнирных многозвенных цепей лишь в фасной плоскости [2], без учета их строения в плоскости профильной, хотя, казалось бы, очевидной была проблема проворачиваемости звеньев друг относительно друга. При полном провороте они должны располагаться в параллельных плоскостях, т. е. цепь должна строиться слойно, и хотя в реальном машиностроении эта проблема в обязательном порядке решается (иначе машины были бы неработоспособными), серьёзного научного обоснования этот вопрос до настоящего времени не получил.

Видимо, впервые про слойность плоских шарнирных механизмов был начат разговор в работе [3], опубликованной в 2006 г. Обратимся к развитию поднятых в этой работе вопросов.

Изображение структурной схемы механизма в плоскости движения, т. е. в плоскости, перпендикулярной геометрическим осям используемых в схемах шарниров, будем называть фасным. Изображение механизмов в другой – а, именно, профильной плоскости может давать наглядное представление о том, как должны быть расположены звенья, чтобы они «не мешали» друг другу при движении.

Обратимся к плоскому шарнирному четырёхзвенному механизму. Он может быть двухкривошипным (входное и выходное звенья во время движения совершают полные обороты вокруг стойки), кривошипно-коромысловым (только ведущее звено делает полный оборот) и двухкоромысловым (когда все звенья совершают качательные движения в плоскости). Если четырёхзвенник двухкривошипный (рис. 1, а), то при заданном движении кривошипу – 1 он через шатун – 2 заставит провернуться второй кривошип 3 относительно стойки. Такой механизм должен быть выполнен в четыре слоя.

На рис. 1, б, показаны слои параллельных плоскостей: I – в котором работает ведущий кривошип, II – где устанавливается шарнир, соединяющий кривошип – 1 с шатуном – 2, III – является плоскостью относительного движения шатуна – 2 и выходного кривошипа – 3, IV – плоскость соединения выходного кривошипа со стойкой.

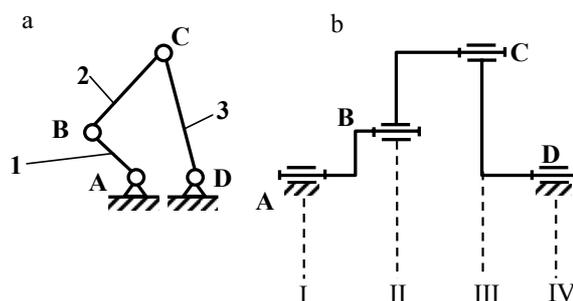


Рис. 1. Двухкривошипный механизм в плоскостях: а) фасной; б) профильной

Вообще число слоёв  $f$  таких проворачиваемых  $n$ -звенных механизмов может быть определено числом вращательных кинематических пар, т. е.

$$f = \frac{3n - W}{2},$$

где  $W$  – подвижность кинематической цепи.

В кривошипно-коромысловом механизме полный оборот совершает только звено 1, звенья 2 – шатун и 3 – коромысло будут поворачиваться относительно друг друга лишь на некоторый угол, отличный от  $360^\circ$  и могут располагаться в одной плоскости движения, так как шарниры  $C$  и  $D$  не будут «мешать» движению коромысла. Такой механизм может быть создан в три слоя (рис. 2, а).

Двухкоромысловый механизм, в котором все звенья совершают колебательные движения, можно создать в двух параллельных плоскостях (рис. 2, б).

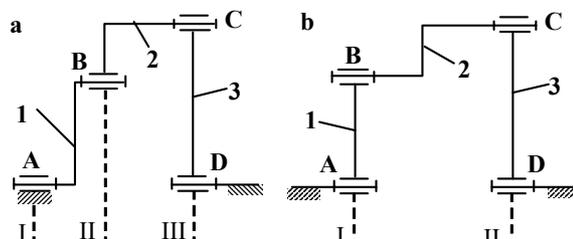


Рис. 2. Четырёхзвенный шарнирный механизм: а) кривошипно-коромысловый, б) двухкоромысловый

Остановимся более подробно на вопросе расположения звеньев при проектировании механизма в профильной плоскости. Чтобы обеспечить линейным звеньям полное проворачивание друг относи-

тельно друга, необходимо исключить наложение их в процессе движения (рис. 3, *a, b*). Очевидно, что при таком соединении они окажутся непроворачиваемыми, т. к. будут «мешать» друг другу при движении.

Провернуться они смогут лишь тогда, когда будут разнесены по разным плоскостям, т. е. должно быть создано двухслойное соединение (рис. 3, *c*). Если механизмы помимо линейных звеньев имеют в своём составе и трехпарные, которые тоже должны проворачиваться на полный оборот при движении, то очевидно, что трехпарное звено нельзя представлять в таком виде, как это показано на рис. 4, *a*. Расположенные таким образом шарниры не позволят звену сделать полный оборот, поэтому только при расположении шарниров в трех параллельных плоскостях так, как показано на рис. 4, *b, и c* трехпарное звено будет полноповорачиваемым.

Приступая к проектированию механизмов, в которых, в качестве кривошипа, используются трехпарные звенья с возможностью полного проворота, это необходимо учитывать. Звенья, входящие в соединение с двумя свободными шарнирами, не могут располагаться в один слой с трехпар-

ным звеном, т. к. в процессе движения обязательно произойдет наложение их друг на друга. Соединение в один слой возможно лишь в том случае, когда трехпарное звено будет выполнять функцию коромысла.

Весьма полезно поднятую проблему рассмотреть, привлекая метод компьютерного макетирования связей соединения звеньев с различным характером движений, т. е. с точки зрения слойности. Покажем это на конкретных примерах. Рассмотрим соединение «привод – кривошип» (рис. 5). Если при работе механизма кривошип совершает качательное движение, то рационально располагать кривошип и шатун в один слой (рис. 5, *a*). И вполне очевидно, что для того, чтобы осуществить полный проворот линейного кривошипа, необходимо шатун расположить в другом слое (рис. 5, *b*), иначе такое соединение окажется неработоспособным.

Если при соединении трех линейных звеньев все они должны быть полноповорачиваемыми, т. е. каждое звено имеет возможность совершения полного проворота в процессе работы, то при проектировании в профильной плоскости их необходимо располагать в три параллельных слоя (рис. 6, *a*).

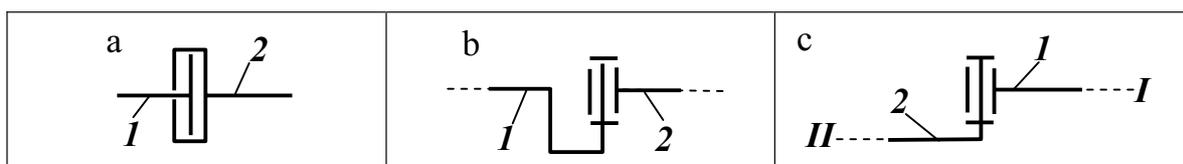


Рис. 3. Соединения в профильной плоскости двухпарных звеньев

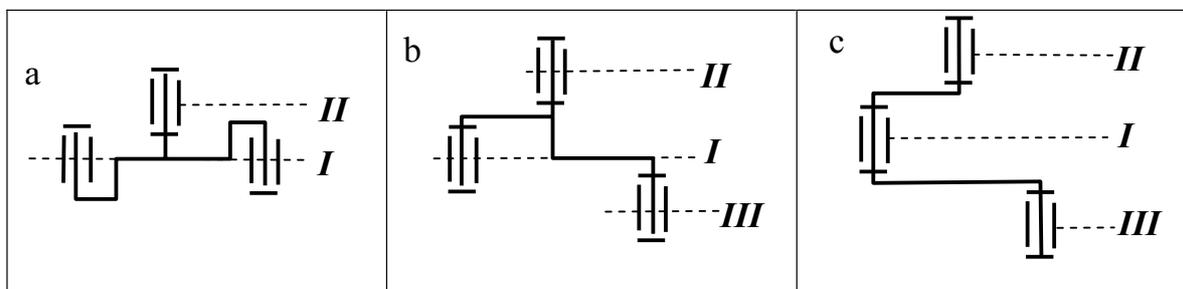


Рис. 4. Соединения в профильной плоскости трехпарных звеньев

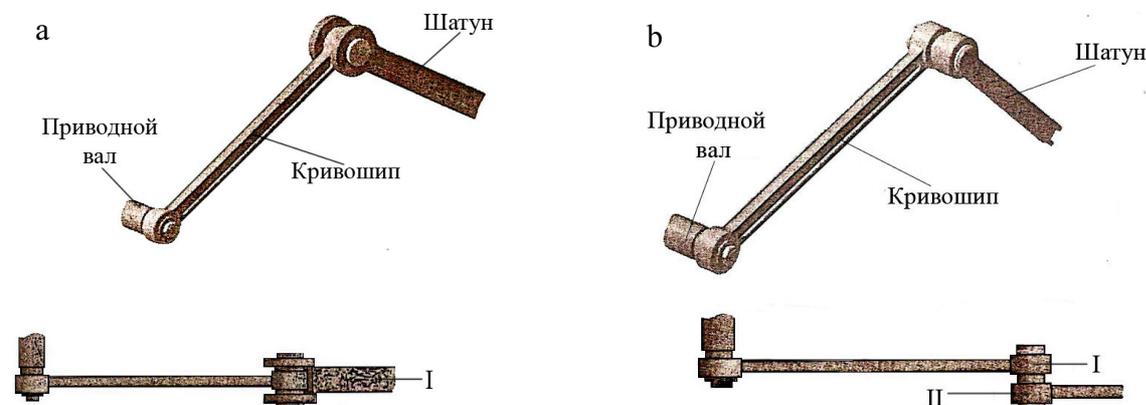


Рис. 5. Соединения звеньев «привод – кривошип»

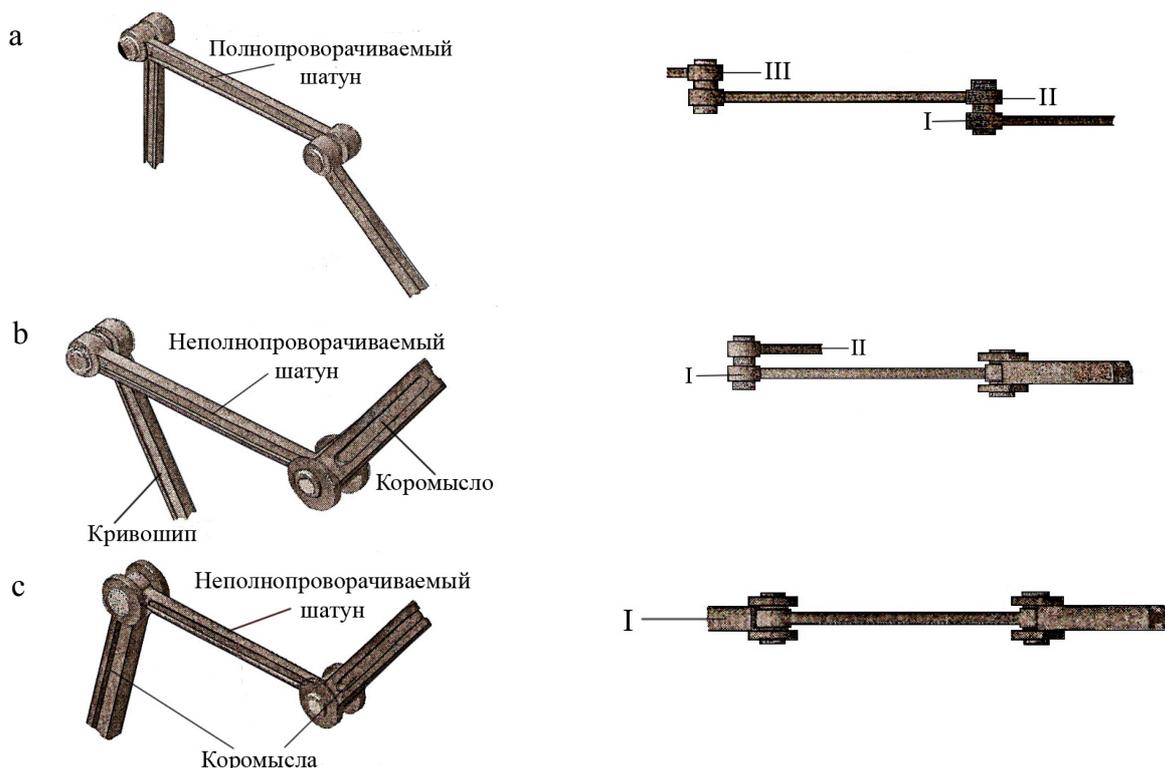


Рис. 6. Различные способы соединения трёх линейных звеньев

В случае, когда два звена неповорачиваемые, т. е. имеют возможность только поворота на некоторый угол, а третье является полноповорачиваемым, тогда рационально располагать звенья в двух параллельных плоскостях (рис. 6, *b*). Когда все три звена при работе механизма совершают лишь колебательные движения, то в профильной плоскости их можно расположить в один слой (рис. 6, *c*).

Рассмотрим соединение звеньев в механизме, в состав которого входит трехпарное звено. При использовании такого звена в качестве полноповорачиваемого кривошипа, соединяющегося с приводным валом, работоспособность достигается только при расположении шарниров в три слоя. Такое соединение представлено на рис. 7. Если трехпарное звено выполняет функцию коромысла, то при конструировании располагать его целесообразно в одном слое с приводным валом.

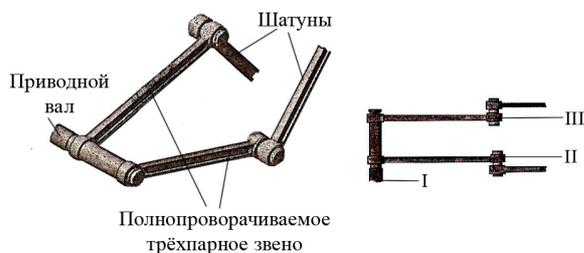


Рис. 7. Соединения трехпарного звена с приводом

По такому же принципу необходимо конструировать трехпарное звено при соединении его с неповорачиваемыми звеньями. Если такое звено

располагается внутри кинематической схемы механизма и должно быть поворачиваемым, то необходимо обеспечить пятислойное исполнение его с другими звеньями для полной работоспособности механической системы, рис. 8.

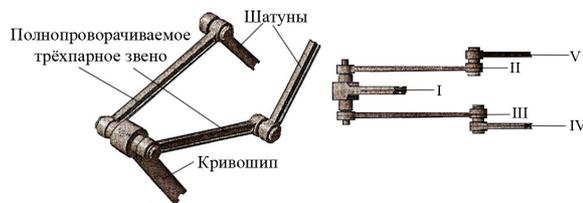


Рис. 8. Соединение трехпарного звена со звеньями механизма

Таким образом, рассматривая проблему слойности на первоначальном этапе исследования сложных механизмов, можно давать конкретные рекомендации конструкторам не только по оптимизации габаритных размеров разрабатываемого механизма, но и о его полной работоспособности.

Обратимся к простейшим плоским механизмам, а именно к механизмам, содержащим в своем составе не более пяти подвижных звеньев. Все такие механизмы могут быть идентифицированы, их всего девять, все они показаны на рис. 9.

Рассмотрим слойное строение всех шестизвенных механизмов (рис. 9, *a-l*). Учтём, что приведенные на рис. 9 шестизвенные механизмы помимо двухпарных звеньев имеют в своём составе и трехпарные.

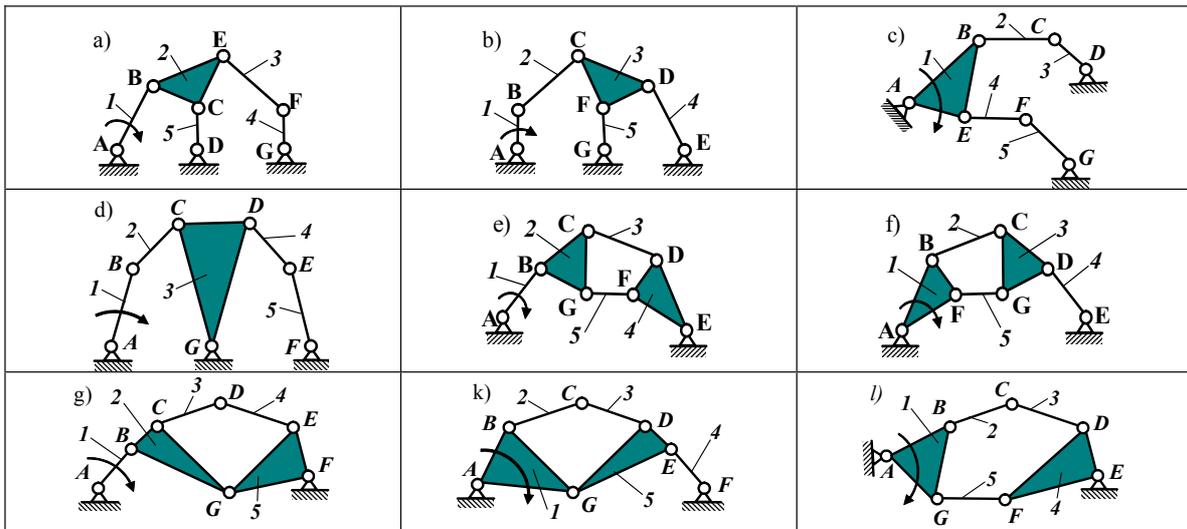


Рис. 9. Шестизвенные плоские механизмы

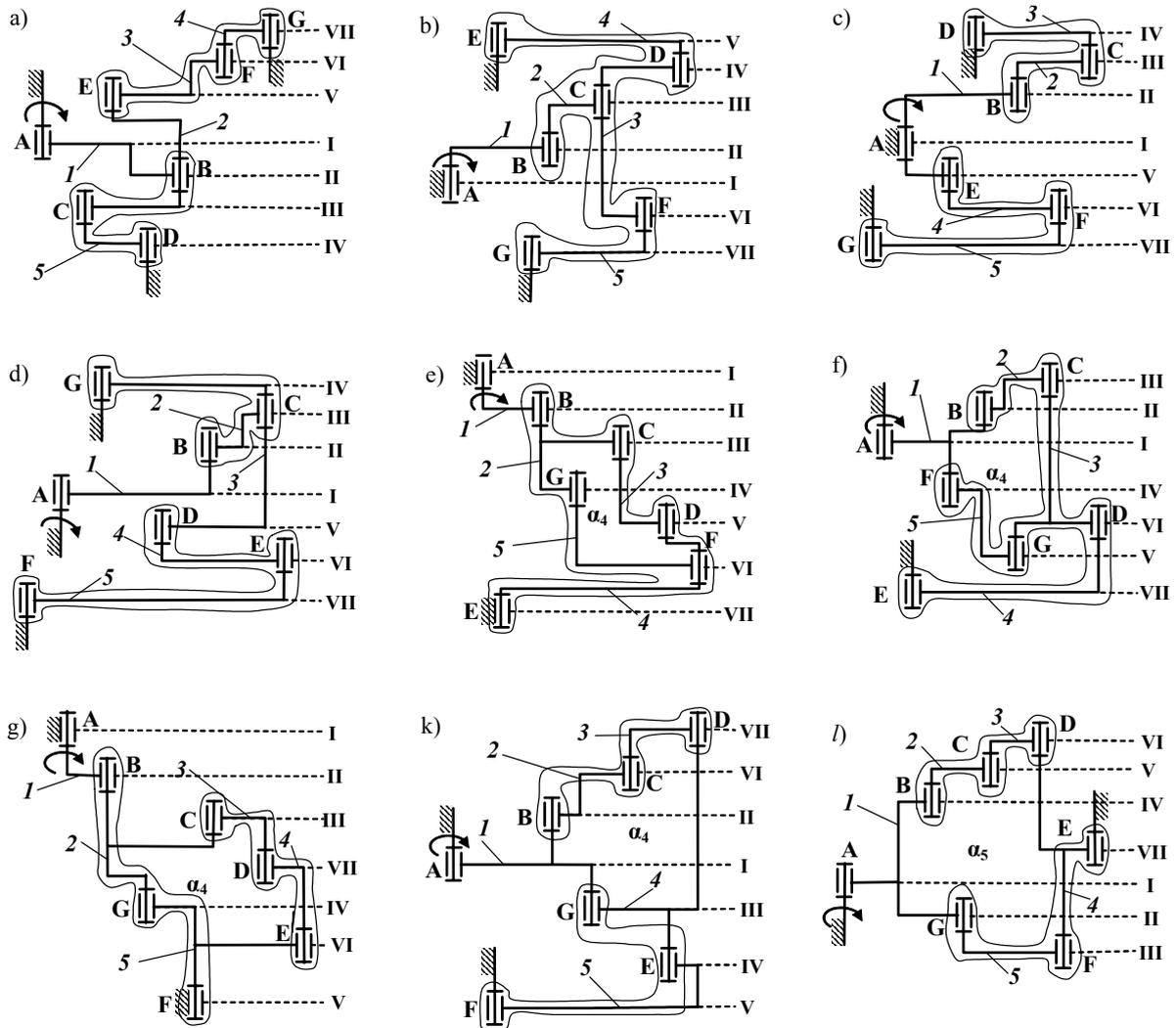


Рис. 10. Шестизвенные механизмы в фасной плоскости

Начнём послойное построение с механизмов (рис. 9, *a–d*), не имеющих в своем составе изменяемых замкнутых контуров. Таких механизмов четыре и кривошипными в них являются двухпарные звенья.

На рис. 10, *a*, построен механизм в профильной плоскости с ведущим линейным звеном *AB* (рис. 9, *a*), состоящий из семи параллельных слоёв. В первом слое расположена стойка ведущего звена 1, второй слой является местом расположения шарнира, соединяющего звено 1 с терхпарным звеном 2, III и V слои показывают положения кинематических пар трехпарного звена 2 и являются плоскостями относительного движения звеньев 2 и 5; 2 и 3, в VI слое находится шарнир, соединяющий третье звено с четвертым и плоскость их относительного движения, IV и VII – это слои, в которых располагаются стойки 4 и 5 звеньев. Расположение звеньев рассмотренного механизма в профильной плоскости наглядно показывает, что он является диадным.

Структура второго механизма (рис. 9, *b*), у которого ведущим звеном также является линейное, в профильной плоскости показана на рис. 10, *b*. Этот механизм третьего класса, и хотя имеет семь параллельных плоскостей, однако послойное расположение кинематических пар звеньев отличается от расположения пар первого механизма (рис. 10, *a*). В фасной плоскости оба механизма имеют одинаковый вид.

На рис. 10, *c* и *d*, представлены шестизвенные механизмы в профильной плоскости, изображенные на рис. 9, *c*, *d*. Оба механизма являются диадными и, несмотря на то, что у одного механизма ведущим является трехпарное звено, а у другого – двухпарное в профильной плоскости кинематические пары диад можно расположить практически одинаково.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чебышев П.Л. О параллелограммах. Полное собрание сочинений П.Л. Чебышева. Т. IV. Теория механизмов. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1948. – 254 с.
2. Малышев А.П. Прикладная механика. Вып. 1. Структура и синтез механизмов. – Новониколаевск: Сибирское обл. гос. изд-во, 1923. – 91 с.

Рассмотрим в профильной плоскости механизмы, которые представлены на рис. 9, *e–l*. В отличие от предыдущих четырех механизмов они имеют в своем составе по одному изменяемому замкнутому контуру; механизмы на рис. 9, *e–k*, – изменяемый четырехугольный контур  $\alpha_4$ , а на рис. 9, *l*, пятиугольный  $\alpha_5$ . Послойное расположение звеньев в профильной плоскости также наглядно показывает структуру механизмов и количество звеньев, образующих замкнутые контуры. Представление этих механизмов в профильной плоскости не только наглядно показывает их строение, но и позволяет, в частности, сделать вывод о том, что наличие изменяемого замкнутого контура (рис. 10, *e–l*) не позволит звеньям, образующим его, быть полноприворачиваемыми.

Построение механизмов в фасной плоскости позволяет решать ряд важных задач при проектировании, а именно:

- определять необходимое число параллельных слоёв механизма,
- находить минимальные расстояния между продольными осями звеньев (слоями), что позволит уменьшить моменты сил, приводящих к изгибу механизма относительно плоскости входного звена,
- устанавливать поперечные размеры и длины звеньев,
- находить рациональные варианты размещения опор.

Иными словами, исследование строения механизма в профильной плоскости следует считать необходимым уже на этапе их структурного проектирования.

3. Дворников Л.Т. Постановка задач о параллельных слоях (слойности) плоских рычажных механизмов // Проблемы механики современных машин: Матер. III Междунар. конфер. – Т. 1. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2006. – 254 с.

Поступила 10.12.2008 г.