



М И Р робототехники и мехатроники

Новые механизмы
в современной
робототехнике

под редакцией
д.т.н., профессора В.А. Глазунова

ТЕХНОСФЕРА
Москва
2018

УДК 681.5+007.52

ББК 32.816

Н74

Рецензенты:

Н.П. Алёшин – академик РАН, д.т.н. (МГТУ им Н.Э. Баумана)

А.С. Дорохов – член-корреспондент РАН, д.т.н.

(Федеральный научный агроинженерный центр «ВИМ»)

Н74 Новые механизмы в современной робототехнике

Под редакцией В.А. Глазунова

М.: ТЕХНОСФЕРА, 2018. – 316 стр. ISBN 978-5-94836-537-4

В книге представлены новые механизмы параллельной структуры различных классов, имеющие широкие возможности применения в робототехнических системах для технологических и транспортных процессов в различных отраслях промышленности, а также космической и медицинской робототехнике. Проведены исследования в области кинематики, динамики и управления такими системами.

Рассмотрены механизмы мобильных роботов технологического и медицинского назначения, исследованы вопросы их динамики и управления.

Представленные механизмы разработаны и исследованы в Институте машиноведения им. А.А. Благоднарова Российской академии наук.

Книга предназначена для специалистов в области теории механизмов и машин, научных работников и инженеров, чья деятельность связана с созданием новых робототехнических систем, а также студентов, аспирантов и преподавателей.

УДК 681.5+007.52

ББК 32.816

© 2018, Воробьев Е.И., Гаврюшин С.С., Глазунов В.А., Горобцов А.С., Емельянова О.В., Ефимов С.В., Носова Н.Ю., Пашенко В.Н., Петраков А.А., Рашоян Г.В., Саяпин С.Н., Соколов С.В., Тывес Л.И., Филиппов Г.С., Хейло С.В., Царьков А.В., Яцун С.Ф.

© 2018, АО «РИЦ «ТЕХНОСФЕРА», оригинал-макет, оформление

ISBN 978-5-94836-537-4

Содержание

Предисловие	8
Глава 1. СТРУКТУРНЫЙ СИНТЕЗ И КЛАССИФИКАЦИЯ I-КООРДИНАТНЫХ МЕХАНИЗМОВ С УЧЕТОМ РАСПОЛОЖЕНИЯ ПРИВОДОВ МЕЖДУ ОСНОВАНИЕМ И ВЫХОДНЫМ ЗВЕНОМ <i>Рахоян Г.В., Глазунов В.А.</i>	9
1.1. Классификация I-координатных механизмов без учета расположения приводов и наличия промежуточных звеньев	9
1.2. Расширенная таблица классификации I-координатных механизмов с расположением приводов между основанием или выходным звеном и одним из промежуточных звеньев	14
1.3. Синтез структур механизмов с расположением приводов вне рабочей зоны и с дополнительными стержнями-вводами	34
<i>Литература</i>	51
Глава 2. СИНТЕЗ, АНАЛИЗ И УПРАВЛЕНИЕ ПОСТУПАТЕЛЬНО-НАПРАВЛЯЮЩИМИ И СФЕРИЧЕСКИМИ МЕХАНИЗМАМИ <i>Хейло С.В., Глазунов В.А.</i>	53
2.1. Структурно-геометрический синтез и кинематический анализ поступательно-направляющего механизма	53
2.2. Анализ динамических свойств поступательно-направляющего механизма параллельной структуры и разработка алгоритмов управления	61
2.3. Структурно-геометрический синтез и кинематический анализ сферических механизмов	67
2.4. Анализ динамических свойств сферического механизма параллельной структуры и разработка алгоритма управления	78
2.5. Построение экспериментальных образцов поступательно-направляющих и сферических механизмов и области их применения	82
<i>Литература</i>	87

Глава 3. СИНТЕЗ, АНАЛИЗ И УПРАВЛЕНИЕ МЕХАНИЗМАМИ С ТРЕМЯ КИНЕМАТИЧЕСКИМИ ЦЕПЯМИ ДЛЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ <i>Носова Н.Ю., Глазунов В.А.</i>	89
3.1. Структурно-геометрический синтез механизмов с тремя кинематическими цепями и различным числом степеней свободы.....	89
3.2. Кинематический анализ механизма с тремя кинематическими цепями и различным числом степеней свободы.....	101
3.3. Динамический анализ механизма с тремя кинематическими цепями и управление им.....	113
3.4. Элементы конструкции экспериментальной модели механизма с тремя кинематическими цепями для аддитивных технологий.....	116
<i>Литература</i>	120
Глава 4. СИНТЕЗ НОВОГО МЕХАНИЗМА ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ 3×2 С ПОЛНОЙ ГРУППОВОЙ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ РАЗВЯЗКОЙ <i>Тывес Л.И.</i>	121
<i>Литература</i>	130
Глава 5. РАЗРАБОТКА НОВЫХ МЕХАНИЗМОВ ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ, МЕДИЦИНСКИХ, АДДИТИВНЫХ И ДИАГНОСТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ <i>Глазунов В.А., Филиппов Г.С., Петраков А.А., Царьков А.В.</i>	131
<i>Литература</i>	142
Глава 6. НОВЫЕ МЕХАНИЗМЫ ДЛЯ ПРОТЕЗОВ РУК И ДВУРУКИХ РОБОТОВ <i>Воробьев Е.И.</i>	144
6.1. Целеуказание положения предмета и осуществление переносных движений.....	145
6.2. Определение управляющих сил при выводе схвата манипулятора в заданную точку пространства с заданной скоростью.....	148
6.3. Осуществление ориентирующих движений.....	150
6.4. Осуществление захвата объектов различной формы.....	152
6.4.1. Протез кисти руки с пневмоприводом.....	152
6.4.2. Дистанционное управление протезом руки.....	154

6.5. Алгоритм управления пальцами протеза руки	157
6.6. Очувствление протеза руки	159
6.7. Двурукые роботы	160
<i>Литература</i>	168
Глава 7. НОВЫЕ МЕХАНИЗМЫ РОБОТ-ШАРОВ, ПРИВОДИМЫХ В ДВИЖЕНИЕ ВНУТРЕННИМИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯМИ ЗВЕНЬЕВ	
<i>Соколов С.В.</i>	169
Введение	169
7.1. Сфероробот с роторно-инерционным двигителем	170
7.2. Сфероробот с внутренней омниплатформой	173
Заключение	180
<i>Литература</i>	181
Глава 8. ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ С УПРАВЛЯЕМОЙ УПРУГОЙ ДЕФОРМАЦИЕЙ	
<i>Гаврюшин С.С.</i>	182
8.1. Способы реализации механического движения и силового воздействия на объект	182
8.2. Принцип действия и основные виды упругих манометрических элементов	185
8.3. Математическая модель для анализа больших прогибов гибких осесимметричных оболочек	189
8.4. Уравнения, описывающие осесимметричную деформацию тонкостенных оболочек	191
8.5. Алгоритм сведения нелинейной краевой задачи к системе нелинейных уравнений и задаче Коши	199
8.6. Исполнительные робототехнические механизмы с релейной упругой характеристикой и нетрадиционными способами перемещения	202
Заключение	205
<i>Литература</i>	206
Глава 9. НОВЫЕ МЕХАНИЗМЫ КОСМИЧЕСКОЙ РОБОТОТЕХНИКИ	
<i>Саяпин С.Н.</i>	207
Введение	207
Заключение	228
<i>Литература</i>	228

Глава 10. НОВЫЕ МЕХАНИЗМЫ ВИБРАЦИОННЫХ ВНУТРИТРУБНЫХ РОБОТОВ	
<i>Яцуи С.Ф.</i>	232
10.1. Механическая модель робота	232
10.2. Математическая модель вибрационного робота	234
10.3. Результаты моделирования движения робота	239
10.4. Экспериментальные исследования	242
<i>Литература</i>	245
Глава 11. МЕХАНИЗМЫ КОНВЕРТОПЛАНОВ	
<i>Яцуи С.Ф., Емельянова О.В., Ефимов С.В.</i>	247
11.1. Кинематический анализ конвертоплана	247
11.2. Определение сил, действующих на конвертоплан	250
11.3. Математическая модель движения конвертоплана	253
11.4. Моделирование движения конвертоплана	257
11.5. Экспериментальные исследования	261
Заключение	266
<i>Литература</i>	266
Глава 12. РАЗРАБОТКА РОБОТОВ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ДЛЯ СОВМЕСТНОГО ОТНОСИТЕЛЬНОГО МАНИПУЛИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ	
<i>Пащенко В.Н.</i>	268
12.1. Структурный синтез механизмов совместного относительного манипулирования	270
12.2. Структуры механизмов совместного относительного манипулирования	273
12.3. Решение прямой задачи о положениях механизма совместного относительного манипулирования	277
12.3.1. Решение прямой задачи о положениях механизма совместного относительного манипулирования, включающего шестизвенный и поворотный механизм	277
12.3.2. Решение прямой задачи о положениях механизма параллельной структуры с тремя приводными парами	280
12.3.3. Решение прямой задачи о положениях механизма совместного относительного манипулирования, включающего пятизвенный и поворотный механизм	283

12.4. Проверка решение прямой задачи о положениях механизма совместного относительного манипулирования	286
12.5. Экспериментальное исследование механизма совместного относительного манипулирования.	288
<i>Литература</i>	293
Глава 13. НОВЫЕ МЕХАНИЗМЫ ДВУНОГИХ И МНОГОНОГИХ ШАГАЮЩИХ РОБОТОВ	
<i>Горбцов А. С.</i>	295
13.1. Методы синтеза управления шагающими роботами	295
13.2. Реализация методов синтеза управления шагающими роботами на натуральных и виртуальных образцах	302
<i>Литература</i>	314

Предисловие

Значение робототехники для современной жизни трудно переоценить, роботы играют заметную роль в производстве, медицине, образовании, в научной деятельности, обороне. Хорошо известно, что робот, условно говоря, состоит из двух частей — это механическая часть и система управления. В настоящее время вопросы, касающиеся системы управления, получили бурное развитие — меняется элементная база, совершенствуются управляющие системы и программы. Роботы становятся все более автономными и «интеллектуальными». Вполне естественно, что на передний план выдвигаются проблемы создания цифровых производств, сквозных технологий и т.д.

Однако развитие указанных процессов совершенно не исключает важность рассмотрения и совершенствования механической части робототехнических систем. Более того, наличие цифровых технологий лишь повышает роль механической части — во-первых, речь идет о новых компьютерных средствах наиболее адекватного проектирования механической части, во-вторых, новые вычислительные возможности позволяют эффективно управлять вновь создаваемыми сложными механическими системами.

Именно с данных позиций в течение многих лет ведутся исследовательские работы в Институте машиноведения имени А.А. Благонравова РАН (ИМАШ). В этом институте усилиями академика И.И. Артоболевского и проф. А.Е. Кобринского были начаты работы по синтезу и внедрению роботов в различные сферы жизни. В частности, был разработан первый в мире биотехнический протез руки, сформулирована концепция станков с числовым программным управлением.

В настоящее время работы по созданию новых высокоэффективных многофункциональных механизмов для различных применений продолжают. При этом имеется в виду та идеология, которая была сформулирована основоположниками науки о машинах и механизмах — для каждой технической задачи должен быть синтезирован механизм, наиболее полно ей соответствующий — для того, чтобы на самых ранних стадиях решить проблемы управления, динамики, точности и т.д.

В данной коллективной монографии представлены исследования сотрудников (некоторые из них работают в ИМАШ по совместительству) Института машиноведения. Эти исследования посвящены синтезу и анализу многих механизмов, которые востребованы в современной робототехнике. Представлены общие подходы и методологии, касающиеся синтеза новых механизмов, обеспечивающих серьезное повышение функциональных возможностей, в частности, речь идет о механизмах параллельной структуры.

Кроме того, представлены конкретные механизмы, которые нашли свое применение в различных отраслях современной робототехники — это мобильные роботы (летающие, ползающие, перемещающиеся на основе внутренних перемещений звеньев), технологические роботы (в частности, применяемые для аддитивных технологий), медицинские роботы (они могут быть применены для полостных и ортопедических операций), космические роботы.

Данная работа выходит в свет в год 80-летнего юбилея Института машиноведения им. А.А. Благонравова РАН и посвящается этой знаменательной дате.

ГЛАВА 1

СТРУКТУРНЫЙ СИНТЕЗ И КЛАССИФИКАЦИЯ l -КООРДИНАТНЫХ МЕХАНИЗМОВ С УЧЕТОМ РАСПОЛОЖЕНИЯ ПРИВОДОВ МЕЖДУ ОСНОВАНИЕМ И ВЫХОДНЫМ ЗВЕНОМ

Рашоян Г.В., Глазунов В.А.

В данной главе рассматривается расширенная классификация l -координатных механизмов, которая по сравнению с известной классификацией Колискоора и Арзуманяна [1] отличается тем, что приводы могут располагаться не только между основанием и выходным звеном, но и между одним из этих звеньев и каким-либо промежуточным звеном. Такое расширение структур позволяет в значительной степени изменить функциональные возможности данных механизмов, в частности расположить приводы вне рабочей зоны и тем самым изменить и расширить область их применения. Это соответствует основным положениям теории синтеза и анализа механизмов параллельной структуры [2–10].

1.1. КЛАССИФИКАЦИЯ l -КООРДИНАТНЫХ МЕХАНИЗМОВ БЕЗ УЧЕТА РАСПОЛОЖЕНИЯ ПРИВОДОВ И НАЛИЧИЯ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ЗВЕНЬЕВ

В данном параграфе рассматривается классификация l -координатных механизмов, в которых приводы расположены между основанием и выходным звеном. Подобная классификация была приведена Колискоором и Арзуманяном. В данном случае представлена другая форма интерпретации этой классификации.

Рассмотрим табл. 1.1, где признаками классификации является количество точек крепления на основании и выходном звене и при этом будут рассмотрены различные варианты этих соотношений. Прежде всего представим в наиболее общем виде $L(n, m)$ возможные варианты структурных схем механизмов. Здесь обозначение L указывает, что имеют место l -координатные структурные схемы, при этом количество точек крепления n на выходном звене и на основании m удовлетворяет условиям: $3 \leq n \leq 6$ и $3 \leq m \leq 6$, а количество приводных кинематических цепей равно шести.

Таблица 1.1

B_i \ P_i		Количество точек крепления на основании			
		3	4	5	6
Количество точек крепления на выходном звене	3	$L(3,3)$	$L(3,4)$	$L(3,5)$	$L(3,6)$
	4		$L(4,4)$	$L(4,5)$	$L(4,6)$
	5			$L(5,5)$	$L(5,6)$
	6				$L(6,6)$

Детально рассмотрим все строки данной таблицы, в которых сгруппированы структурные группы механизмов. В первой строке приведена группа структурных схем механизмов $L(3,3)$; $L(3,4)$; $L(3,5)$; $L(3,6)$. В структурных схемах данной группы на основании (либо на выходном звене, если поменять местами основание и выходное звено) имеется три точки, а на противоположном звене — выходном звене — количество точек крепления кинематических цепей варьируется, соответственно, как 3, 4, 5 и 6.

Рассмотрим структурные схемы, относящиеся к случаю $L(3,3)$. На основании и на выходном звене имеются по три точки крепления шести кинематических цепей. Нетрудно убедиться в том, что в трех точках крепления кинематических цепей на основании и на выходном звене можно получить два сочетания расположения приводов, а именно 321 и 222. В первом случае в первой точке сходятся 3 кинематические цепи, во второй точке — две, а в третьей точке — одна кинематическая цепь. При втором сочетании 222 имеются три точки, в каждой из которых сходятся по две кинематические цепи. Эти структурные схемы приведены на рис. 1.1.

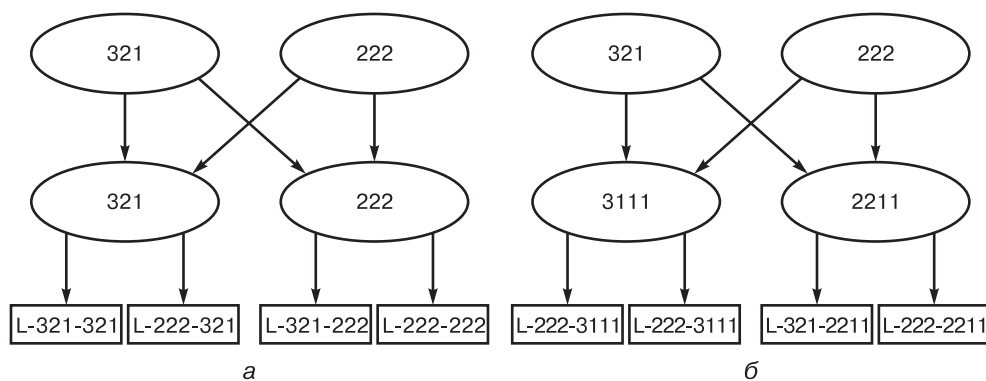


Рис. 1.1

Далее на рис. 1.1, а в виде условных схем приведены возможные сочетания точек креплений на основании и выходном звене. Общее количество вариантов соотношений равно четырем: $L-321-321$; $L-321-222$; $L-222-321$ и $L-222-222$. Из них отбираем три, так как схемы $L-321-222$ и $L-222-321$ являются симметричными.

Для сочетаний $L(3,4)$; $L(3,5)$; $L(3,6)$ выводятся следующие варианты:

$L-321-3111$; $L-321-2211$, $L-222-3111$; $L-222-2211$

$L-321-21111$; $L-222-21111$

$L-321-111111$; $L-222-111111$.

Синтез этих структур иллюстрируется рис. 1.1, б, 1.2, а и 1.2, б.

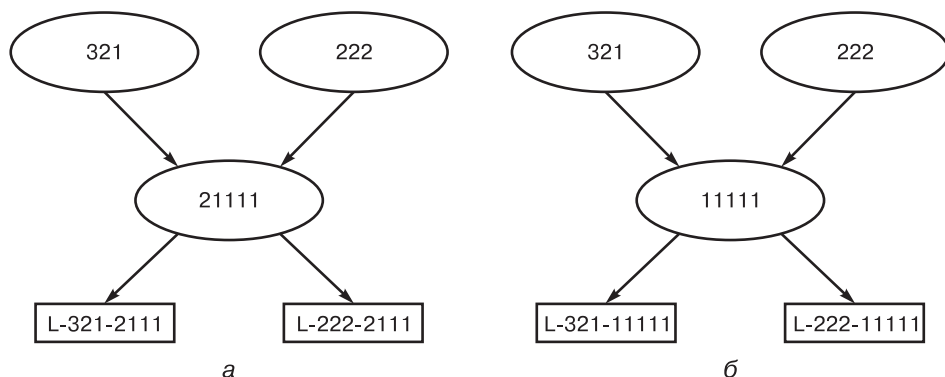


Рис. 1.2

Случай, когда на основании либо на выходном звене имеются четыре точки крепления кинематических цепей (соответственно, это варианты $L(4,4)$; $L(4,5)$; $L(4,6)$) относится ко второй строке табл. 1.1. Для данных сочетаний получатся следующие варианты комбинаций:

$L-2211-3111$; $L-3111-3111$, $L-2211-2211$

$L-3111-21111$; $L-2211-21111$

$L-3111-111111$; $L-2211-111111$.

Данные схемы соответствуют рис. 1.3, а; 1.3, б и 1.4, а.

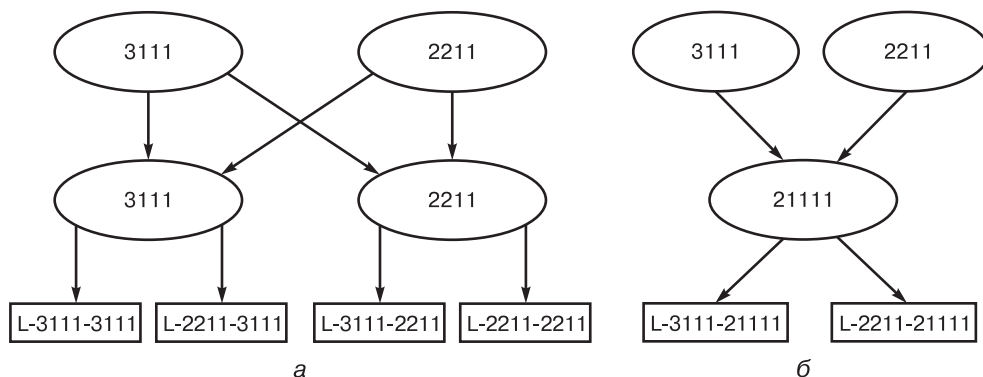


Рис. 1.3

Следующим случаем является ситуация, когда на одном из звеньев (соответственно, основании либо выходном звене) расположены пять точек. При этом

имеем варианты $L(5,5)$ и $L(5,6)$. И, наконец, существует один случай $L(6,6)$. Для последних трех сочетаний получатся следующие варианты:

$L-21111-21111$ (рис. 1.4, б);

$L-21111-111111$;

$L-111111-111111$ (для последних двух структур схема тривиальны).

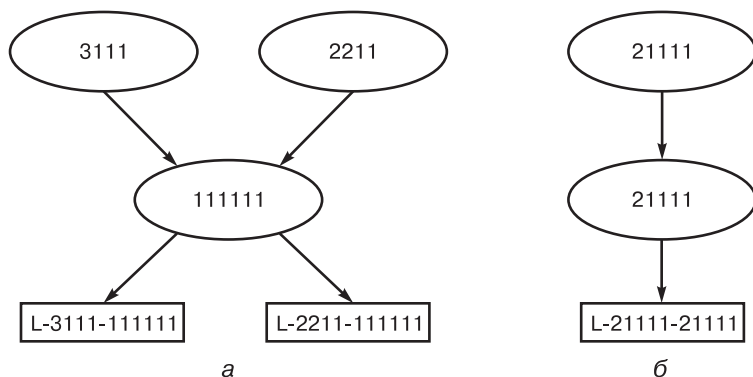


Рис. 1.4

Таким образом, можно выделить всего десять основных вариантов структур в зависимости от количества точек крепления приводов на основании и выходном звене.

Далее в табл. 1.2 представлены все указанные варианты. Прежде всего представлены варианты, когда на основании и выходном звене располагаются по три точки крепления. Соответственно, это варианты $L-321-222$; $L-321-321$; $L-222-222$. Существует, соответственно, три различных случая.

Другой вариант соотношения количества точек на основании и выходном звене это четыре и три. В данном случае будут существовать четыре варианта, это $L-321-3111$; $L-321-2211$; $L-222-3111$; $L-222-2211$.

Рассуждая далее подобным образом, будем иметь различные ситуации с разным количеством точек на основании и выходном звене. В частности, при наличии пяти точек на одном из этих звеньев и трех точек на противоположном звене имеет место два варианта, что следует из табл. 1.2.

При наличии на одном звене шести точек, а на противоположном звене трех точек будем иметь, соответственно, два варианта, это $L-321-111111$ и $L-222-111111$.

Далее в таблице следуют варианты, когда на одном из звеньев (основании либо на выходном звене) имеет место четыре точки и, соответственно, на противоположном звене пять точек крепления. Этой ситуации соответствуют два варианта. Когда на одном из указанных звеньев есть четыре точки, а на другом — шесть, также два варианта.

Далее, если на одном из указанных звеньев есть пять точек и на другом звене тоже пять, то существует один вариант, так же, как и в случае $L(5,6)$. Наконец, один вариант существует и для наличия шести точек на основании и на выходном звене.

Таким образом, существует двадцать один вариант подобного расположения приводов и точек их крепления на основании и на выходном звене (см. табл. 1.2).

Таблица 1.2

Bi / Pi		Количество точек на основании (базе)			
		3	4	5	6
Количество точек на выходном звене (платформе)	3				
	4				

Окончание табл. 1.2

Рi	Bi	Количество точек на основании (базе)			
		3	4	5	6
Количество точек на выходном звене (платформе)	5			 L-21111-21111	 L-21111-11111
	6				 L-111111-11111

Отметим, что все механизмы имеют по шесть степеней свободы. Это следует из известной формулы Сомова — Малышева:

$$W = 6n - 5P_5 - 4P_4 - 3P_3 - 2P_2 - P_1,$$

где n — количество подвижных звеньев механизма, P_1, P_2, P_3, P_4, P_5 — количество пяти-, четырех-, трех-, двух-, одноподвижных кинематических пар. Для любого механизма из табл. 1.1 имеем:

$$n = 13; \quad P_5 = 6; \quad P_4 = 6; \quad P_3 = 6.$$

В статье, при расчете W , для устранения местной подвижности шесть сферических кинематических пар заменены на двухподвижные:

$$W = 6 \cdot 13 - 5 \cdot 6 - 4 \cdot 6 - 3 \cdot 6 = 6.$$

Таким образом, число степеней свободы равно шести.

1.2. РАСШИРЕННАЯ ТАБЛИЦА КЛАССИФИКАЦИИ l -КООРДИНАТНЫХ МЕХАНИЗМОВ С РАСПОЛОЖЕНИЕМ ПРИВОДОВ МЕЖДУ ОСНОВАНИЕМ ИЛИ ВЫХОДНЫМ ЗВЕНОМ И ОДНИМ ИЗ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ЗВЕНЬЕВ

Рассмотрим варианты l -координатных механизмов, в которых некоторые l -координаты крепятся не к основанию или выходному звену, а к одному из промежуточных звеньев, при этом каждой базовой схеме (в них все приводы расположены непосредственно между основанием и выходным звеном), введенной в табл. 1.2,

может быть сопоставлено несколько вариантов расположения упомянутых l -координат или приводов, соответствующих этим l -координатам. Эти варианты представлены в табл. 1.3. Рассмотрим более подробно некоторые из них.

Варианты структурных схем, соответствующих структуре L-222-321, различаются следующим образом: три l -координаты могут быть расположены между основанием и штоком линейного двигателя, расположенного в соседней кинематической цепи. Другой случай может быть таким, что три l -координаты расположены между точками, расположенными на выходном звене, и цилиндрами линейных двигателей, расположенными в соседних кинематических цепях.

Следующая версия имеет место в том случае, когда три l -координаты расположены между точками, размещенными на основании, и цилиндрами линейных двигателей, размещенных в соседних кинематических цепях.

Еще один вариант связан с ситуацией, когда три l -координаты расположены между точками, расположенными на выходном звене, и штоками цилиндров линейных двигателей, размещенных в соседних кинематических цепях.

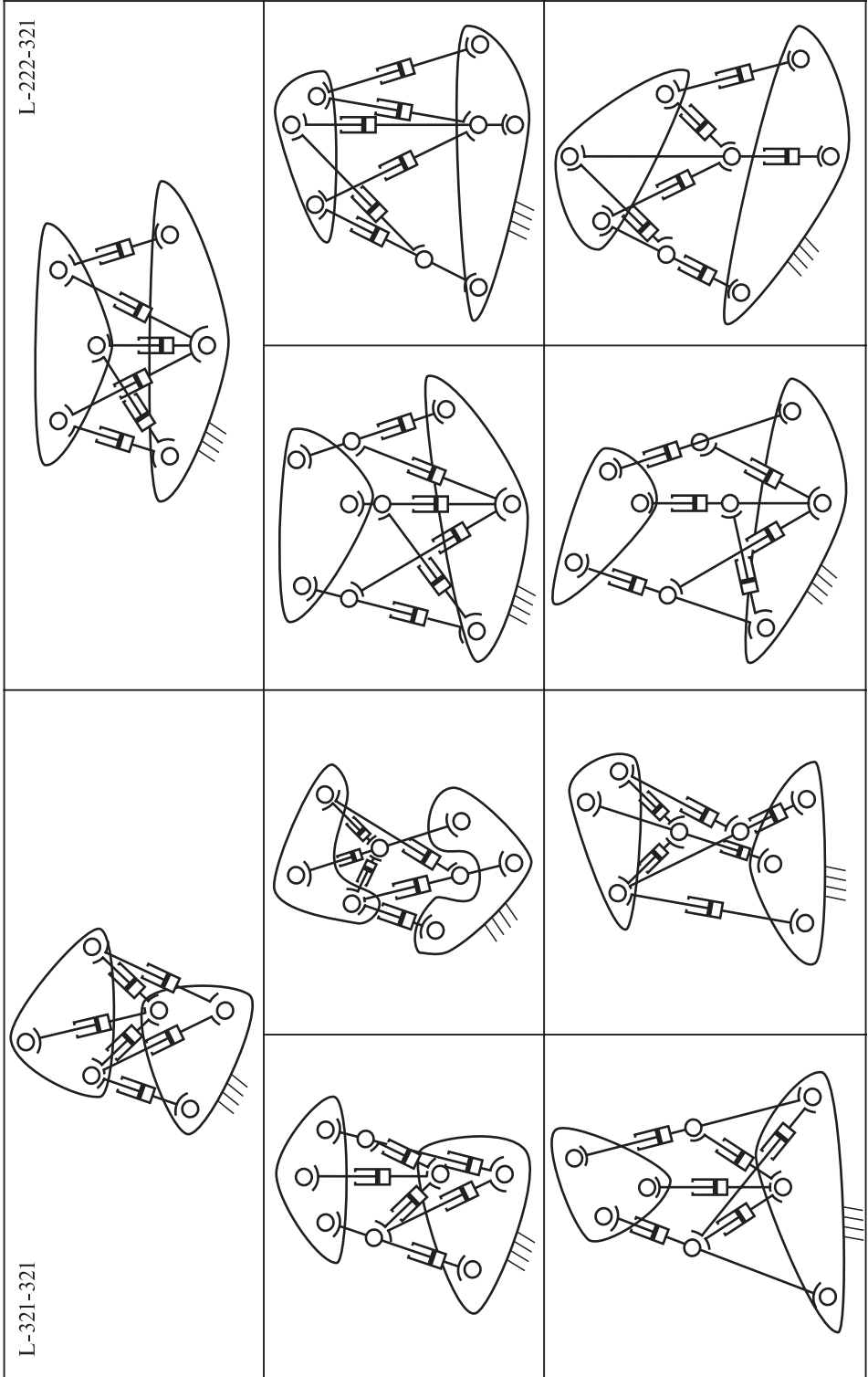
Понятно, что могут быть другие версии размещения l -координат. В таблице представлены только основные базовые версии. Можно показать, что указанное размещение некоторых l -координат между основанием или выходным звеном и каким-либо промежуточным звеном не меняет сущности задач о положениях, а кроме того, задач, связанных с сингулярностями, предельными положениями и др. Подобное расширение класса l -координатных механизмов, во-первых, достаточно существенно, во-вторых, в значительной степени расширяет функциональные возможности данных устройств.

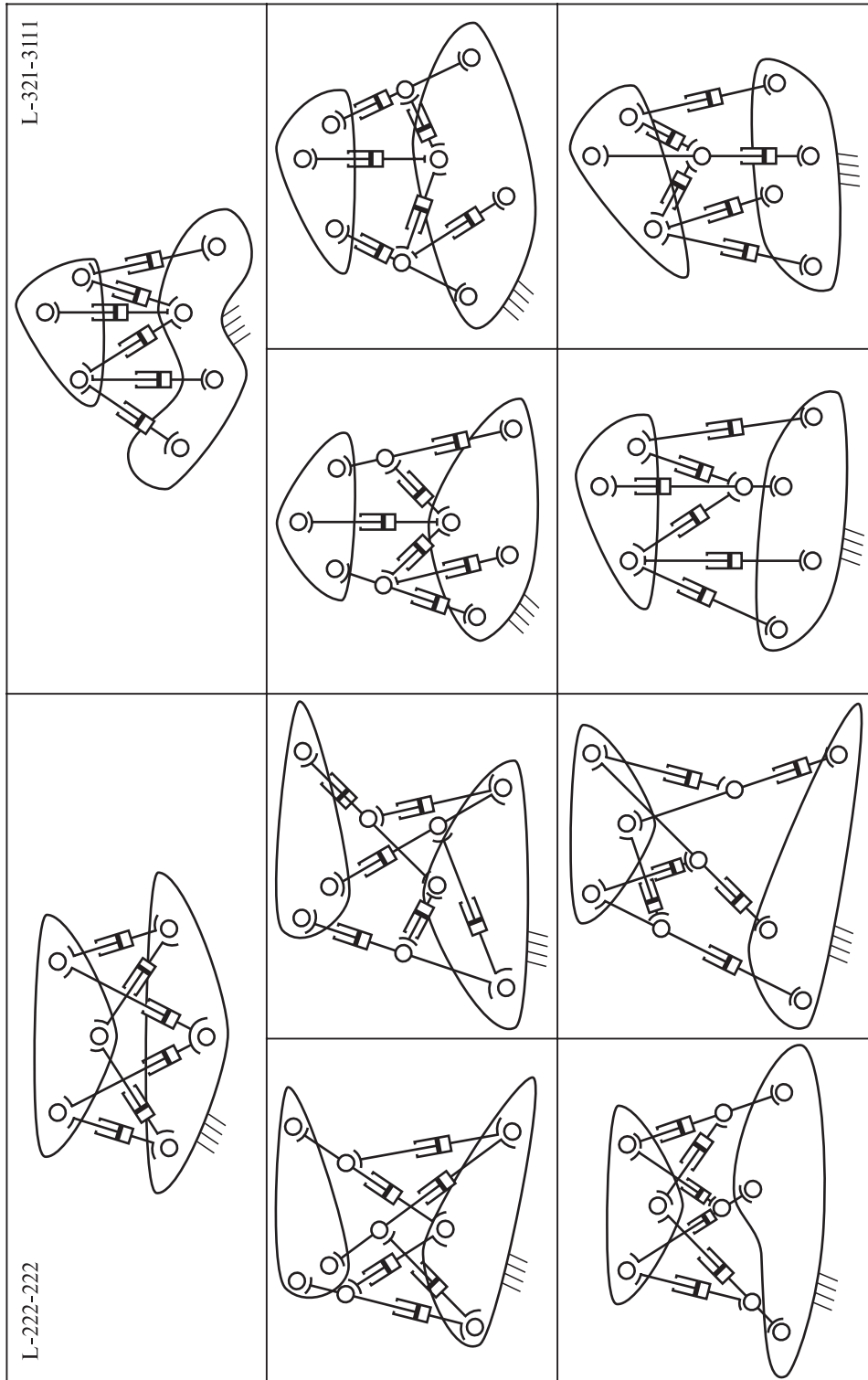
Второй структурой, которую мы более подробно рассмотрим, является структура L-321-321. Ей в табл. 1.3 также соответствует четыре версии. Одна из них имеет место в том случае, когда три l -координаты расположены между основанием и штоками линейных двигателей соседних кинематических цепей. Другая ситуация соответствует случаю, когда три l -координаты расположены между точками основания и цилиндрами линейных двигателей, размещенных в соседних кинематических цепях. Третий случай характеризуется ситуацией, когда три l -координаты расположены между точками выходного звена и цилиндрами линейных двигателей, расположенных в соседних кинематических цепях. И, наконец, четвертая версия характеризуется расположением трех l -координат между точками выходного звена и штоками трех цилиндров, расположенных в соседних кинематических цепях. Рассуждая подобным образом, далее можно установить, что структурам L-222-222, L-321-3111, L-321-2211 также соответствуют по несколько вариантов.

Схема L-222-3111 также может быть представлена совокупностью как минимум четырех соответствующих ей схем, в которых три l -координаты расположены не между основанием и выходным звеном, а между одним из этих звеньев и одним из промежуточных звеньев, размещенных в соседних кинематических цепях. То же самое можно сказать о схемах L-222-2211, L-321-21111, L-222-21111.

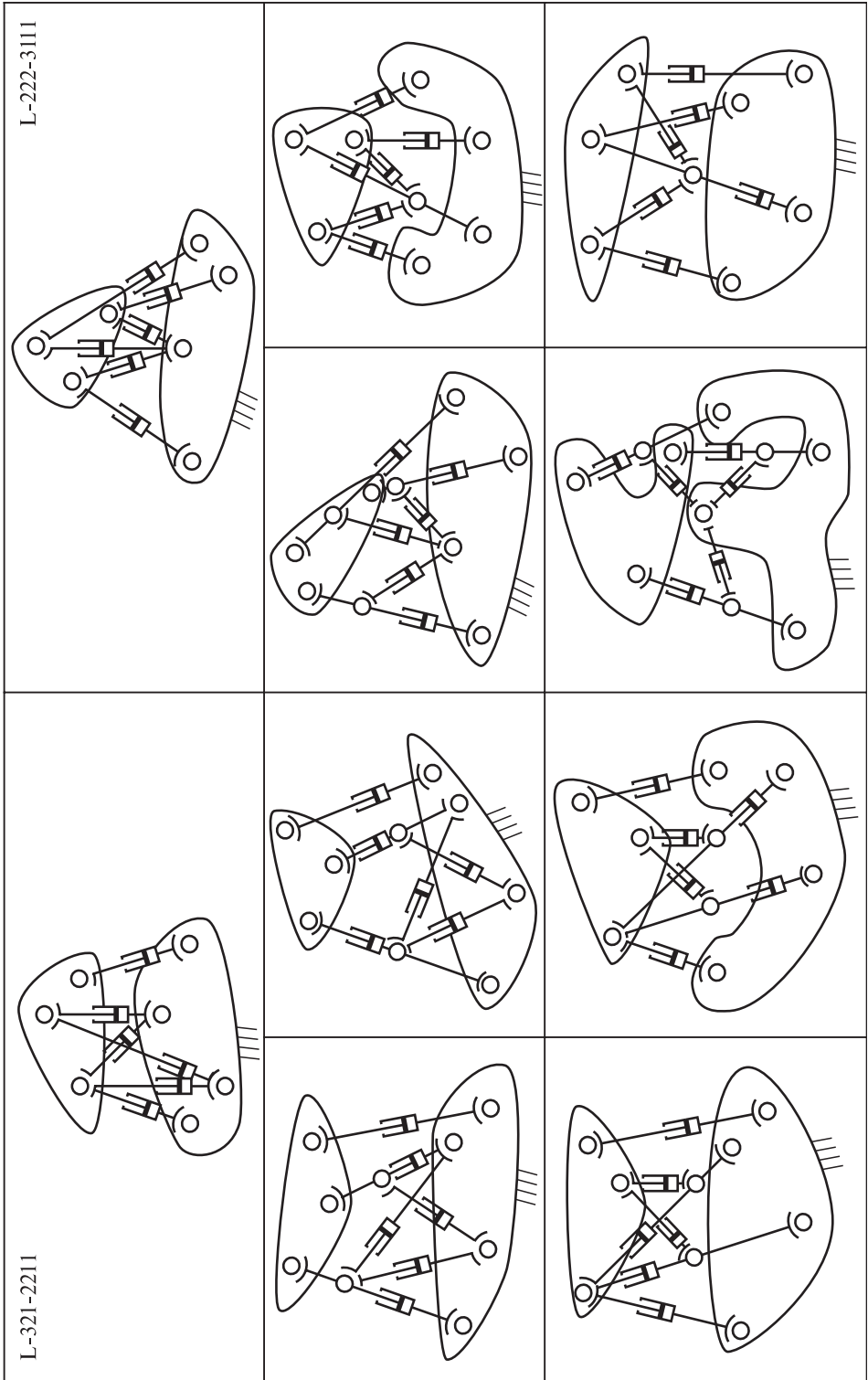
Несколько более подробно остановимся на схеме L-321-11111. Этой схеме будут соответствовать лишь два варианта механизмов, в которых три l -координаты расположены между основанием или выходным звеном и одним из промежуточных звеньев. То, что имеют место только два варианта, объясняется тем, что

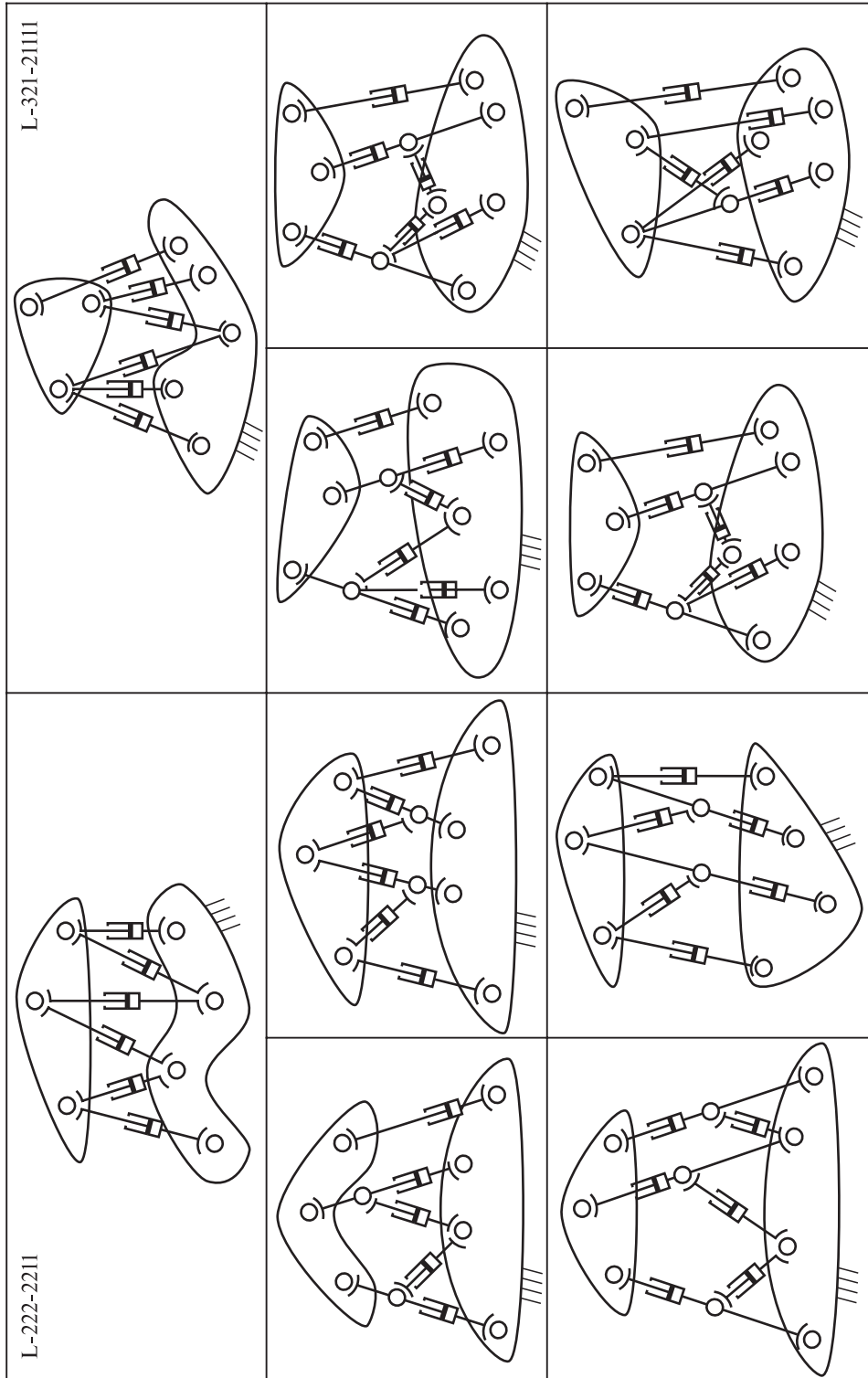
Таблица 1.3



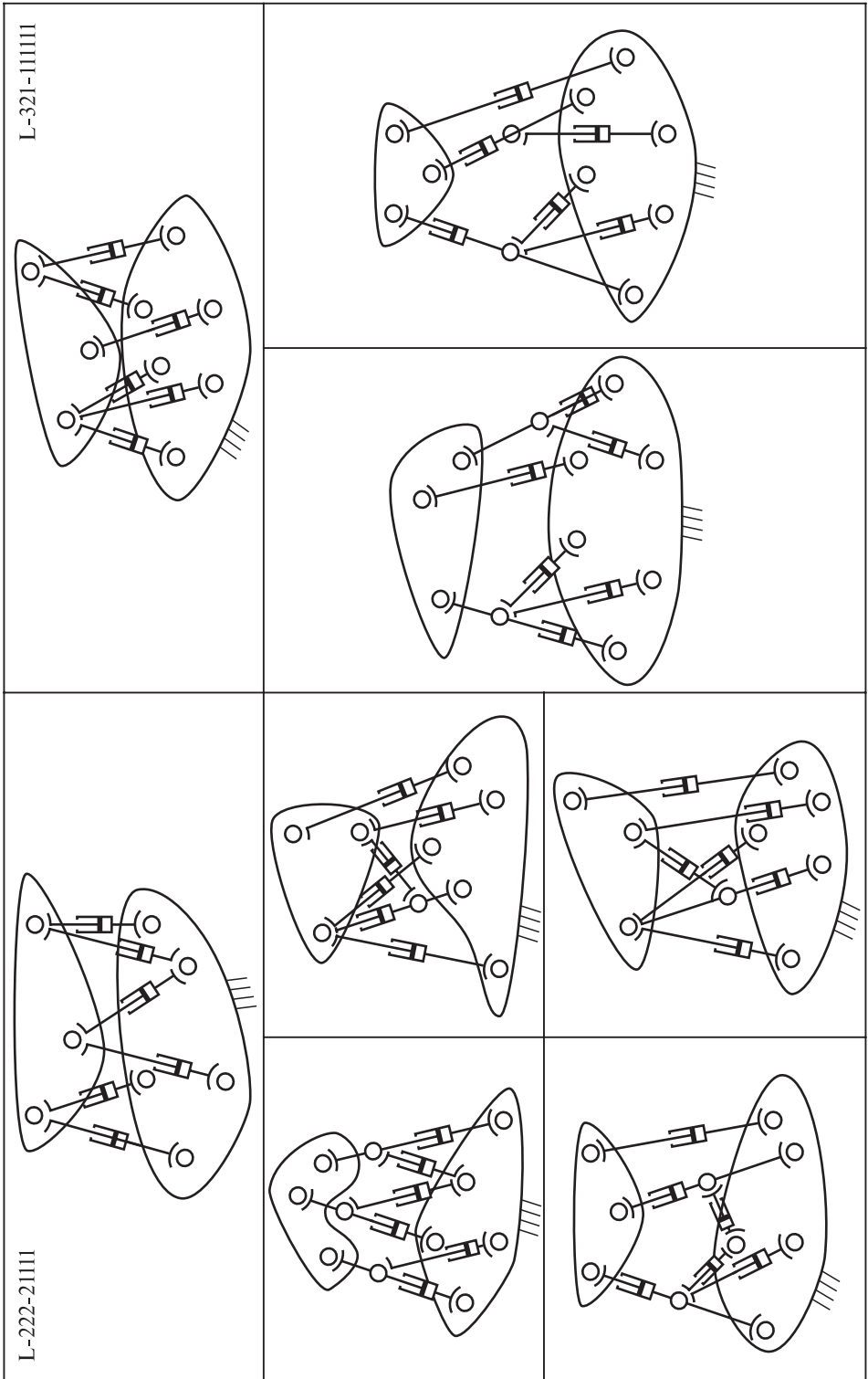


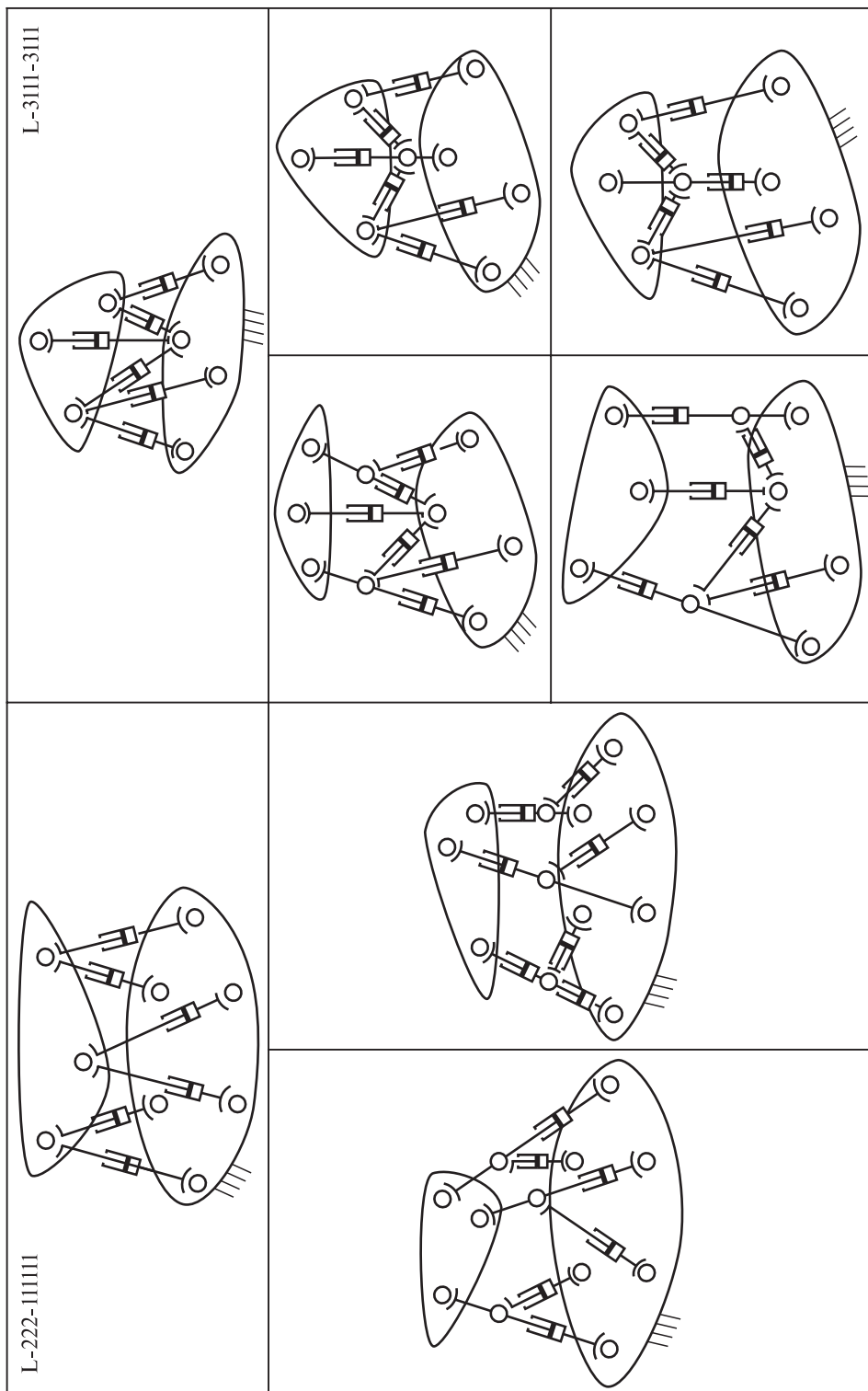
Продолжение табл. 1.3



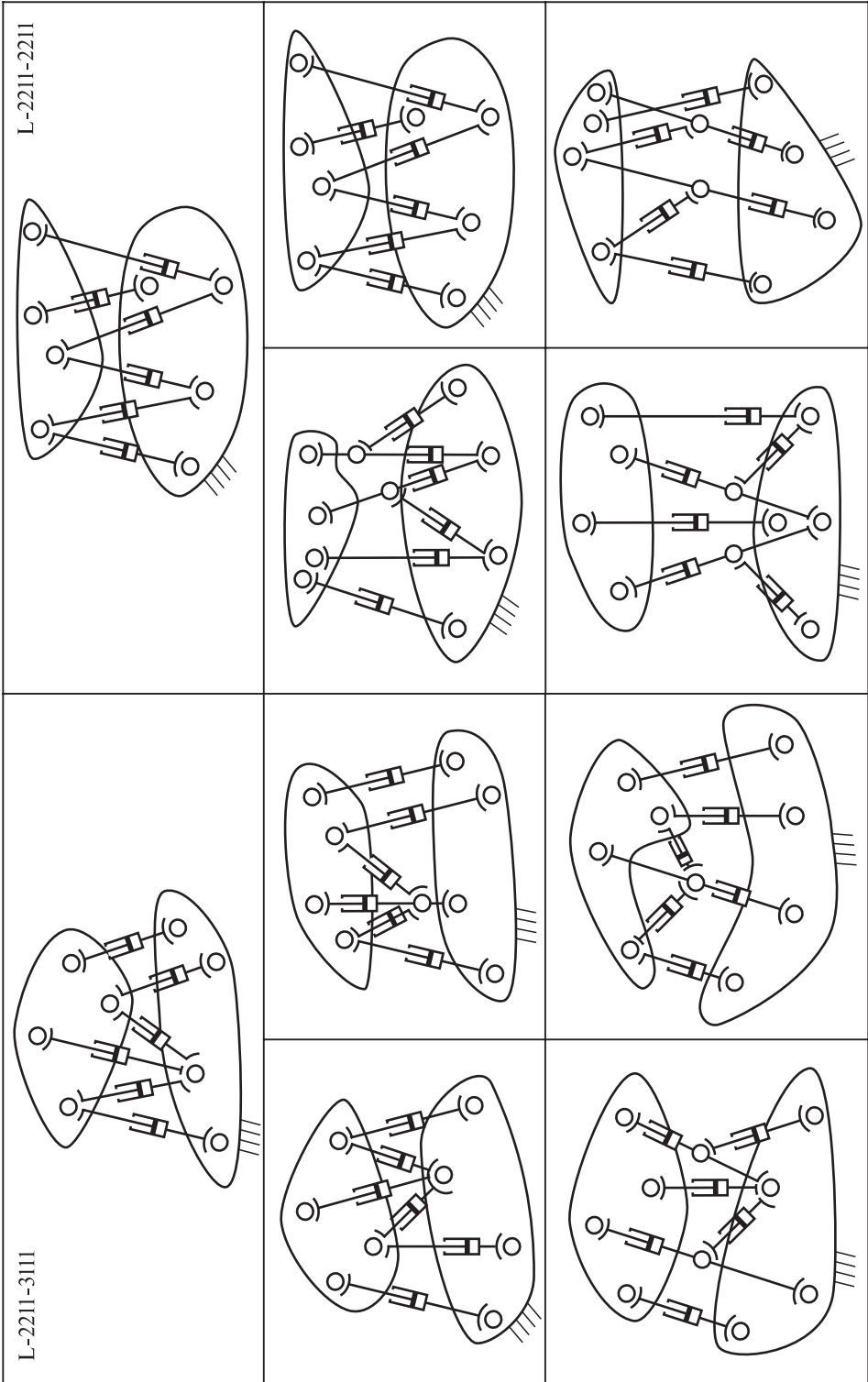


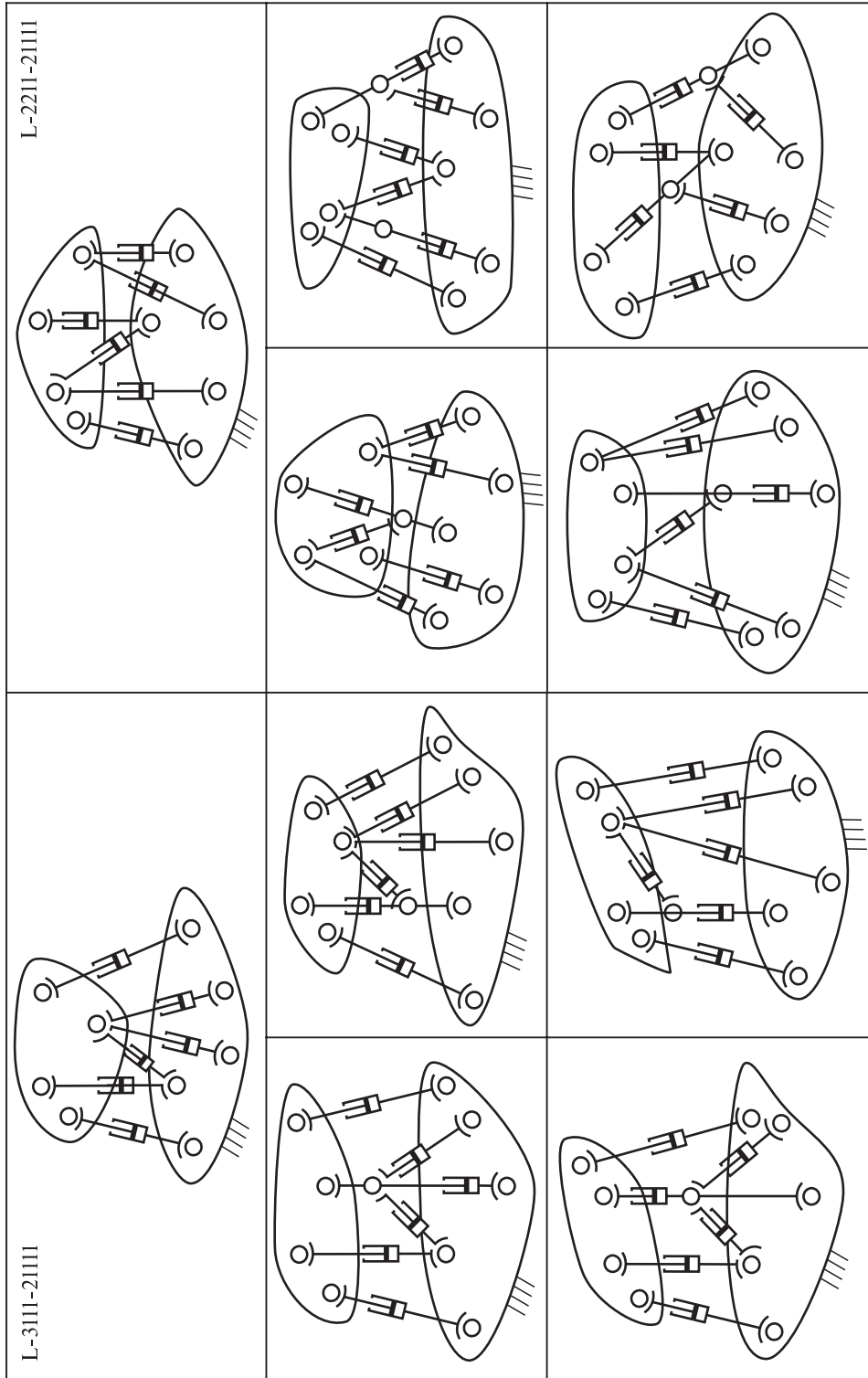
Продолжение табл. 1.3



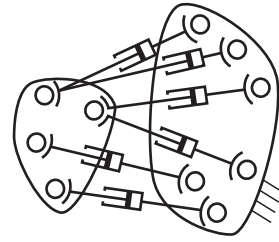
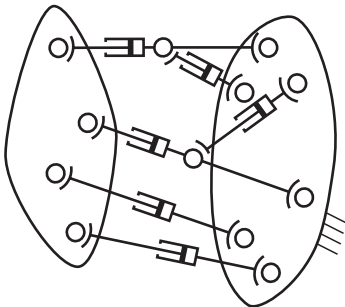
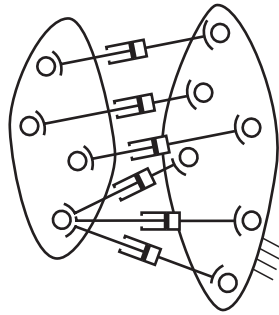
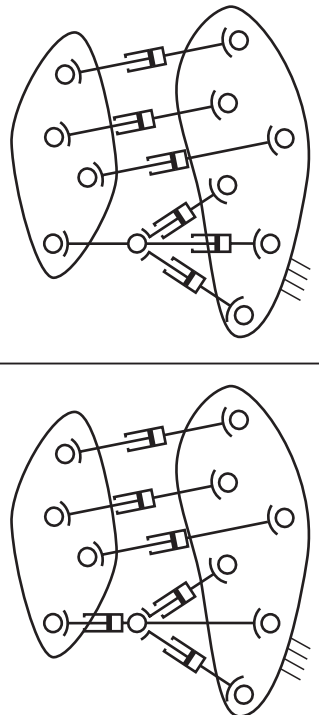


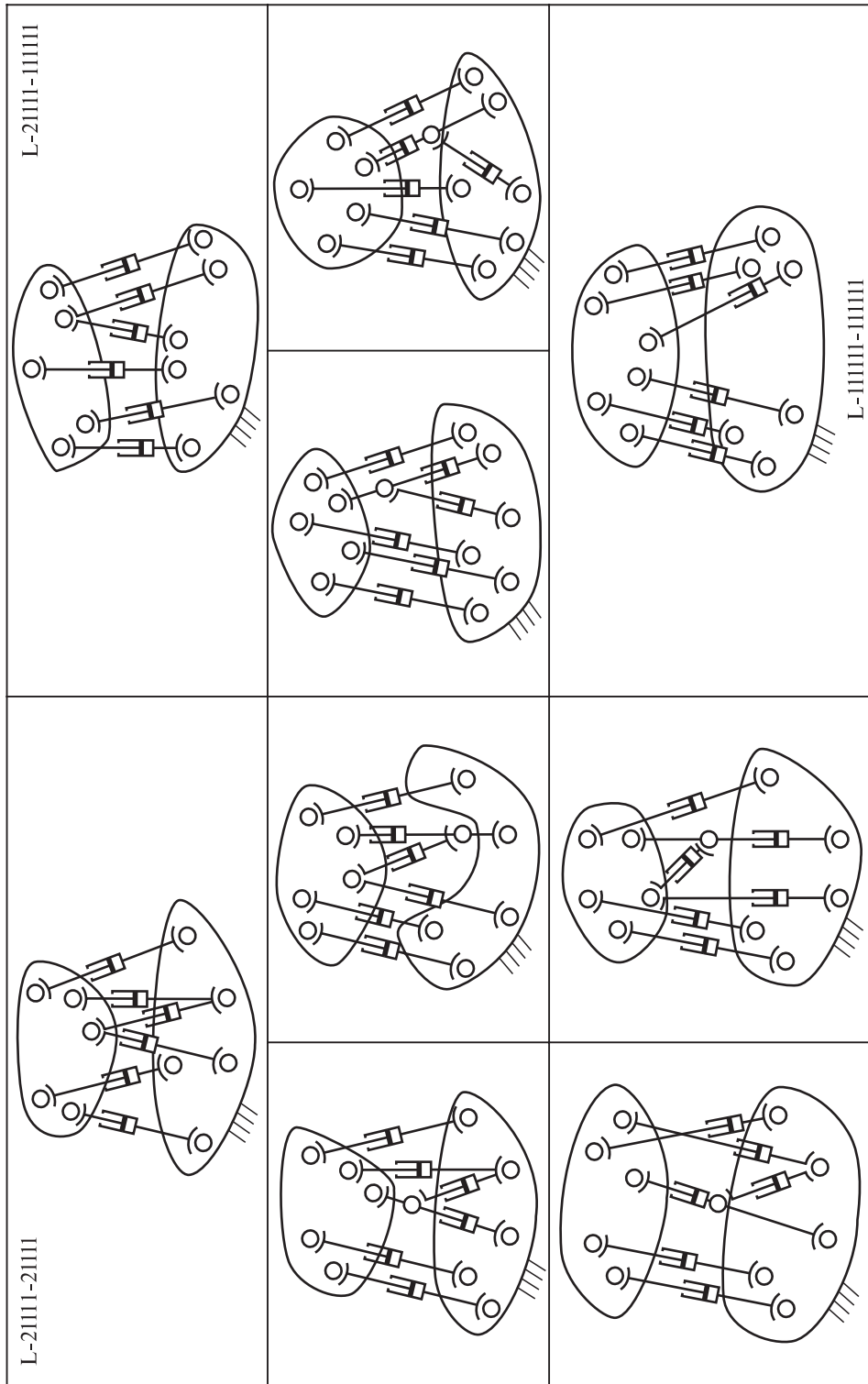
Продолжение табл. 1.3





Окончание табл. 1.3

<p>L-22II-111111</p> 	
<p>L-3111-111111</p> 	



на основании имеется шесть точек крепления и поэтому невозможно представить механизмы, отличающиеся от исходного, где бы три l -координаты были бы размещены между основанием и одним из промежуточных звеньев соседних кинематических цепей. Сказанное относится также к схеме L-222-11111.

Схема L-2211-3111 также имеет четыре варианта, в которых две l -координаты расположены между основанием либо выходным звеном и одним из промежуточных звеньев соседних кинематических цепей. Сказанное справедливо также для схем L-3111-3111, L-2211-2211, L-3111-21111, L-2211-21111, L-21111-21111.

Что касается схемы L-3111-111111, то для нее имеет место лишь два варианта, получаемых переносом одной из точек крепления l -координат на выходном звене, а на основании механизма имеет место шесть точек крепления и невозможно изменить структуру.

Указанным свойством обладают также схемы L-2211-111111 и L-21111-111111. Наконец, для варианта L-111111-111111, когда на основании и на выходном звене имеют место по шесть точек крепления, невозможно найти дополнительные (модифицированные) варианты, при которых одна или несколько l -координат размещались бы между основанием либо выходным звеном и одним из промежуточных звеньев соседних кинематических цепей.

Обобщая вышеизложенное, можно представить случаи взаимного расположения l -координат и соответствующих положений точек B_1, B_2, B_3 и P_1, P_2, P_3 (рис. 1.5). Могут существовать модификации этих положений, когда соответствующие точки на основании либо на выходном звене смещаются и после этого располагаются между основанием или выходным звеном и одним из промежуточных звеньев соседних кинематических цепей (рис. 1.6).

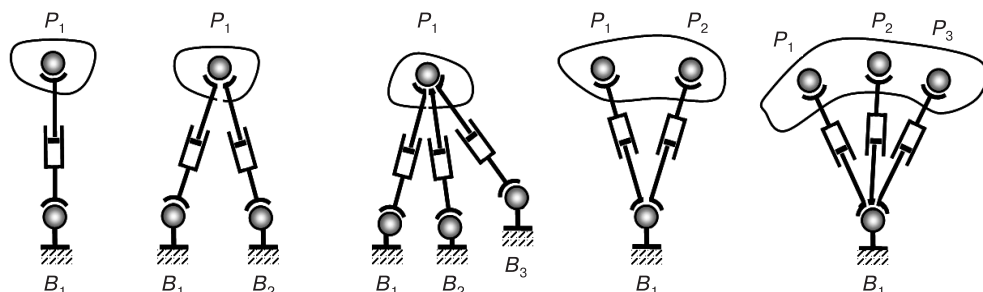


Рис 1.5

Так, при схождении в одном центре P_1 или B_1 двух l -координат имеем четыре модифицированных варианта (точки P_1', P_1'', B_1', B_1''). При схождении в одной точке B_1 или P_1 трех l -координат имеем два модифицированных варианта (точки).

Продолжая анализ рис. 1.6, можно указать, что смещение одной из точек приводит к тому, что мы имеем структуру и, соответственно, геометрическую фигуру, не изменяющую принцип решения задачи о положениях. Указанное смещение не нарушает расположение плоскости, в которой размещены точки основания и выходного звена. Смещается лишь одна из точек, принадлежащих той же самой

плоскости. Зная l -координаты при смещенном положении точек, можно восстановить l -координаты при исходном расположении точек — при этом алгоритм решения задач о положениях не изменится.

Рассмотренный класс l -координатных механизмов может быть расширен за счет того, что некоторые штоки приводов могут быть продолжены за пределы основания либо выходного звена. При этом точки, где сходятся оси l -координат, могут быть более не связаны с выходным звеном или основанием. Сказанное является принципом построения l -координатных механизмов с расположением приводов внерабочей зоны. Это обстоятельство существенно расширяет класс l -координатных механизмов.

Остановимся на табл. 1.4 и схеме L-222-321. В таблице показан случай, когда стержни, передающие движение на выходное звено, расположены так, что один из них проходит через точку, где сосредоточены два привода, другой стержень проходит через точку, где сосредоточены три привода, и третий стержень проходит через точку, где сосредоточен один привод.

Укажем на необходимость такого расположения данных стержней, что каждый из них должен исходить из точки, расположенной на убираемом впоследствии звене, где сходятся, соответственно, по несколько приводов. Если из одной точки, где сходятся несколько приводов, будет проведено два или более стержней, то это будет нерабочий случай. Можно показать, что рассматриваемые преобразования приводят вновь к ситуации, когда механизм имеет шесть степеней свободы. Это следует из того, что каждый стержень не налагает никаких дополнительных связей на движение выходного звена и соответствующие структурные группы, содержащие приводы, также не налагают дополнительных связей, то есть выходное звено имеет шесть степеней свободы.

Рассматривая случай L-321-321, можно видеть, что получаемая структура со стержнями, пересекающими плоскость одного из звеньев (выходного звена либо основания), имеет особенность, что оси вводных стержней должны пересекаться с осями приводов, при этом конструкция соответствующих узлов может быть выполнена с применением вращательных кинематических пар, пересекающих точку пересечения осей стержней и привода.

Далее, не останавливаясь подробно на структуре L-222-222, укажем, что ее особенность примерно такая же, что и для предыдущих случаев.

Затем в таблице расположены случаи, когда на одном из звеньев (основании либо на выходном звене) расположены четыре точки, а на противоположном звене три. Структура L-321-3111 соответствует ситуации, где в одной точке сходятся три оси, в другой — две оси и один привод не сопрягается с другими приводами. Следует отметить сложность конструктивного исполнения этого варианта. Также при указанном соотношении количеств точек пересечения осей приводов и стержней в таблице представлены варианты L-321-2211, L-222-2211.

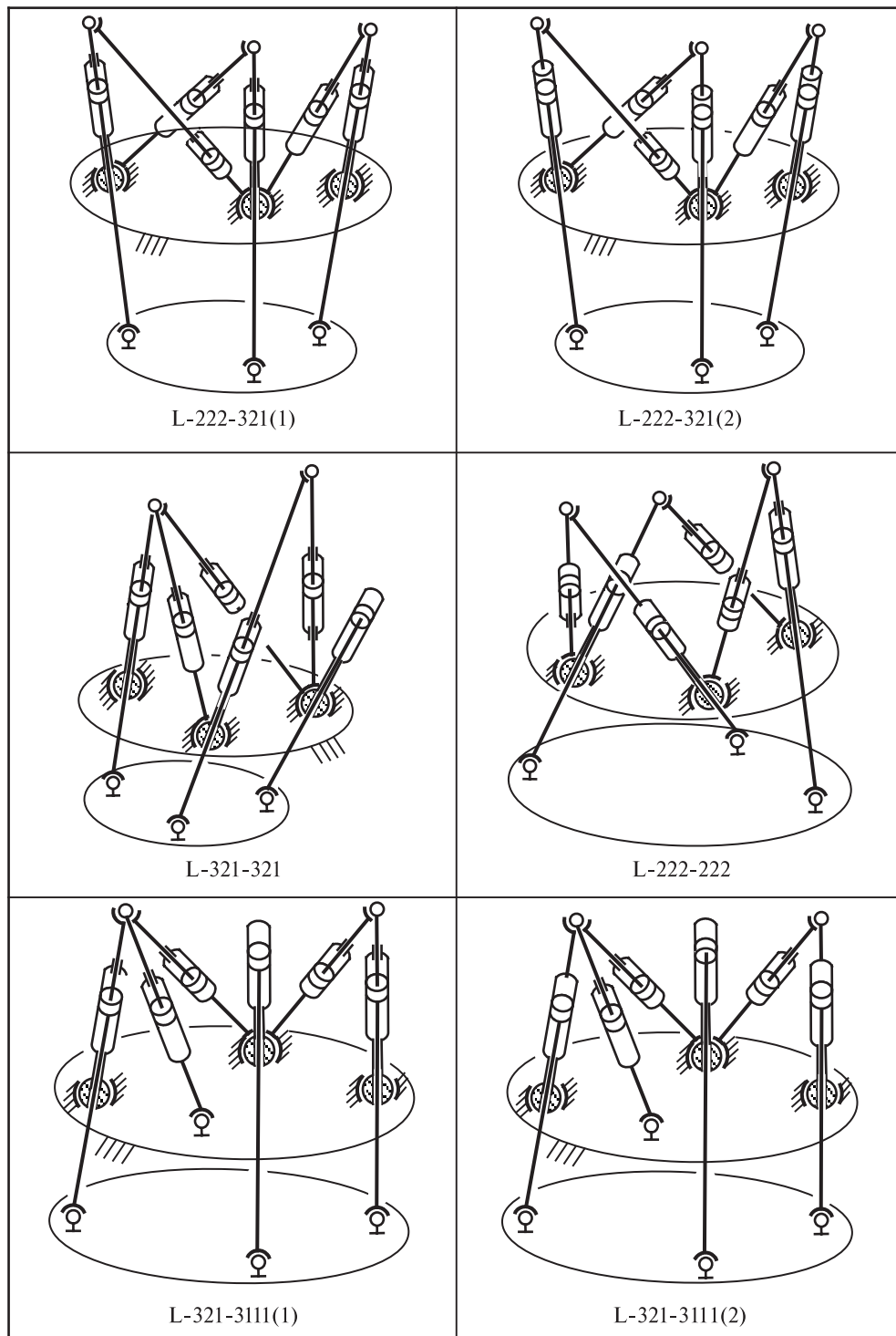
Далее в таблице следуют варианты с количеством точек на основании либо выходном звене, равным трем, и с количеством точек на противоположном звене, равным пяти. Это варианты L-321-21111 и L-222-21111. Наконец следует отметить варианты, где трем точкам противостоят шесть точек на противоположном звене.

Затем рассматривается случай, когда на основании либо выходном звене имеется четыре точки крепления приводов и такое же количество точек

Исходная структура	Модифицированное структурное соединение	
	Тип А	Тип В

Рис. 1.6

Таблица 1.4



Продолжение табл. 1.4

