

## К ДИСКУССИИ ПО ПРОБЛЕМЕ СТРУКТУРНОГО СИНТЕЗА ПЛОСКИХ ШАРНИРНЫХ МЕХАНИЗМОВ

1. После ознакомления с комментариями [3] автора статьи [1], последовавшими в ответ на мой отклик [2] на статью [1], я хотел бы отметить, что полностью подтверждаю все положения и выводы, содержащиеся в указанном отклике.

Автор комментариев [3] пишет, что я в своём отклике "обошёл полным молчанием изложение собственно метода" структурного синтеза механизмов, предложенного автором. Да, это действительно так. Но я и не ставил перед собой такой цели, как и нигде не утверждал, что метод автора является несостоятельным. Во вводной части моих заметок было сказано [2, с. 77]: "Мы не ставим цели обсуждать здесь методику структурного синтеза плоских шарнирных механизмов, описанную в статье [1], а сосредоточим внимание только на конкретных результатах, полученных автором на базе этой методики, и на общих выводах, сформулированных на основе упомянутых результатов".

Напомню мои основные замечания по содержанию статьи [1]:

1) Под заголовком "Полный состав шестизвенных шарнирных механизмов" автор приводит семь структур. Между тем, в действительности число различных структурных схем шестизвенных плоских шарнирных механизмов равно девяти. Следовательно, приведённый в статью набор структур шестизвенных механизмов *не является полным*.

2) Под заголовком "Полный состав восьмизвенных плоских рычажных механизмов" автор приводит 90 структур. К сожалению, среди них встречаются повторяющиеся структуры, а именно: совпадают структуры 51 и 53, 50 и 54, 57 и 65, 80 и 88, 81 и 89, структура 70 встречается два раза, структура 21 в таблице отсутствует. Таким образом, число неповторяющихся структур, приведённых в таблице 1, равно 84.

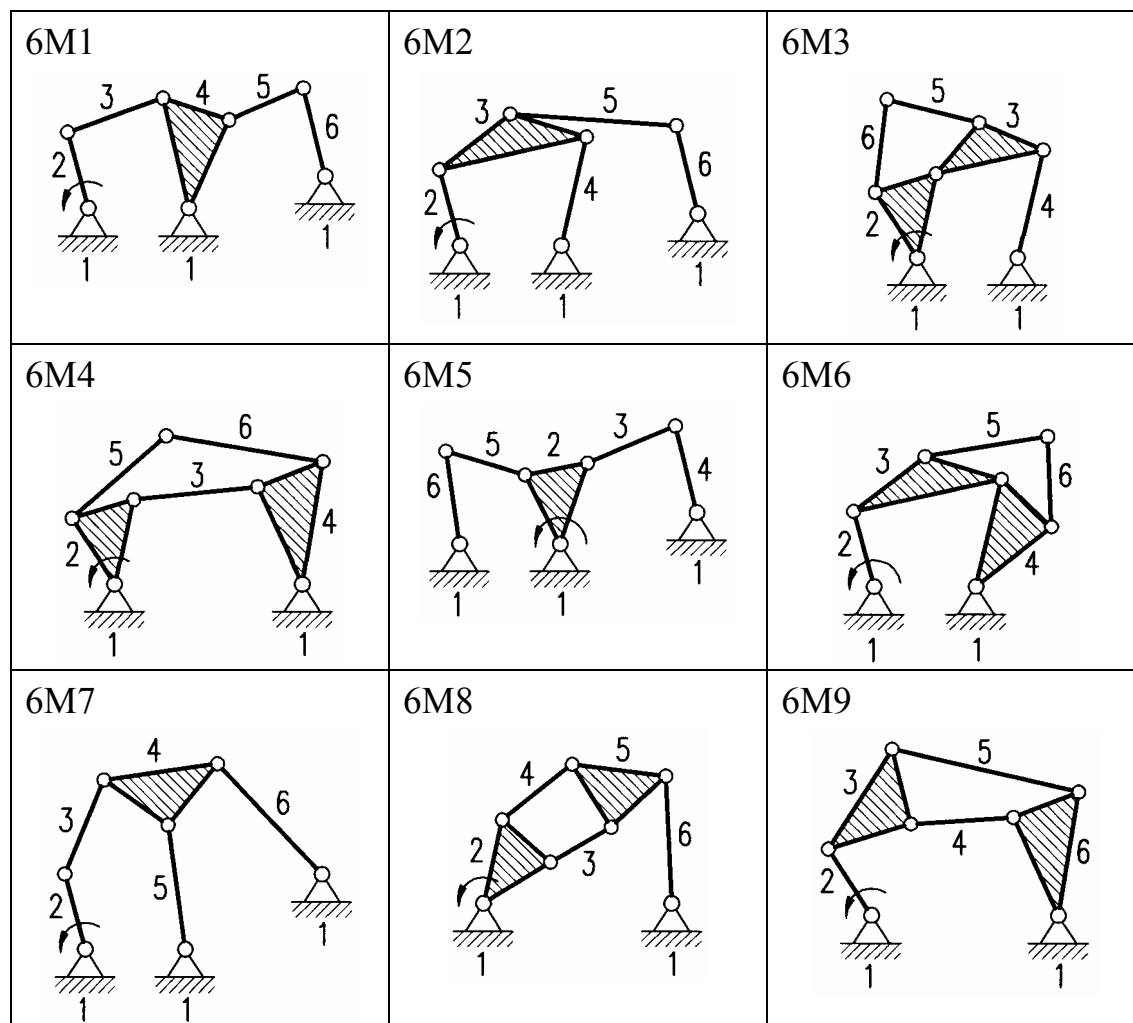
Приведённый в статье [1] набор структур восьмизвенных механизмов *не является полным*, так как в действительности число таких структур равно 153. Следовательно, автор статьи не обнаружил  $153 - 84 = 69$  структур восьмизвенных механизмов.

2. Комментируя моё утверждение из отклика [2] о том, что "в действительности число различных структурных схем шестизвенных плоских шарнирных механизмов равно девяти", автор замечает [3]: "Что означает "в действительности", понять трудно, так как эту цифру рецензент никак не обосновывает. С такой же степенью уверенности можно было назвать любое другое число. У рецензента была замечательная возможность доказать свое утверждение – показать недостающие структуры № 8 и № 9. Но он этого почему-то не делает."

Я решил последовать рекомендации автора комментариев [3]. На рис. 1 приведены девять шестизвенных механизмов. Им присвоены обозначения от 6М1 до 6М9. В статье [1] отсутствуют шестизвенники 6М1 и 6М3.

3. Автор статьи [1] и комментариев [3], видимо, полагает, что и число 153 для восьмизвенных механизмов я, что называется, "взял с потолка". Он пишет [3]: "Утверждая, что "в действительности число (восьмизвенных) структур равно 153" рецензент ссылается на собственную работу [2] в его списке литературы. Эта работа по названию впечатляет "Атлас структурных схем восьмизвенных плоских шарнирных одноподвижных механизмов с входным звеном, присоединенным к стойке". Однако она опубликована в "Тезисах докладов Казахского госуниверситета" и всего на одной странице 163. Какой же на одной странице может быть помещен "Атлас"?"

Надеюсь, что подозрения автора материала [3] будут развеяны после ознакомления со статьёй [4], помещённой в данном номере журнала, в которой приведены структурные схемы всех 153 восьмизвенников. Сравнивая набор из 84 восьмизвенных механизмов, приведённых в статье [1], с атласом восьмизвенников из статьи [4], можно установить, какие именно механизмы там отсутствуют. Отсутствующие в статье [1] 69 механизмов включают в свой состав 34 механизма с тремя диадами, 25 механизмов с одной четырёхзвенной группой Ассура и одной диадой, 10 механизмов с шестизвенной группой Ассура.



*Рис. 1. Шестизвенные шарнирные механизмы*

Что касается упомянутых тезисов, опубликованных в 1989 году, то в них содержалась подробная информация об атласе (сам атлас был продемонстрирован в докладе на конференции). В тезисах были приведены многочисленные количественные данные (кроме числа 153), в частности: 69, 52 и 32 – это число восьмизвенников с двухзвенными, четырёхзвенными и шестизвенными группами Ассур соответственно; внутри каждой из трёх указанных групп восьмизвенников выделены подгруппы механизмов с различными структурными признаками, и в тезисах было указано число механизмов в каждой из подгрупп. Все эти данные полностью совпадают с теми данными, которые приведены в статье [4].

4. Автор комментариев [3] утверждает, что я, не разобравшись, напрасно обвинил его в том, что среди 90 приведённых в статье [1] восьмизвенных механизмов встречаются повторяющиеся структуры. Как утверждается в моём отклике [2], совпадают следующие структуры: 51 и 53, 50 и 54, 57 и 65, 80 и 88, 81 и 89. Автор комментариев [3] подробно разбирает каждую из пяти указанных пар структур. В результате своего анализа автор приходит к выводу, что все эти структуры являются разными, а мои утверждения о совпадении структур являются ошибочными.

Между тем, я подтверждаю свои замечания в отношении совпадения всех пяти указанных выше пар структур. Обратимся непосредственно к первоисточнику, то есть к статье [1]. На рис. 2 приведены десять указанных выше структур, разбитых на пять пар (эти рисунки получены сканированием соответствующих рисунков из статьи [1]); добавлены только номера звеньев – для удобства сравнения двух структур, входящих в каждую из пар).

С целью исключить предположение о разной трактовке понятий и терминов при идентификации структуры восьмизвенных механизмов, приведённых в таблице 1 статьи [1] (включая десять отобранных здесь структур), хотел бы отметить, что я придерживаюсь той же самой трактовки, что и автор статьи, а именно: 1) в каждой клетке таблицы 1 помещён один механизм (на с. 15 статьи [1] указано: "Всего таких механизмов девяносто", а таблица 1 имеет 90 клеток); 2) структурное строение каждого восьмизвенника (т. е. разбиение на группы Ассура ведомой кинематической цепи, состоящей из всех звеньев механизма, за исключением стойки и входного звена) – такое, как указал автор статьи, который обвёл каждую структурную группу тонкой замкнутой линией; 3) класс каждого из механизмов (по классификации И.И. Артоболевского) – такой, который указан автором статьи в каждой клетке таблицы 1 (в [1] на с. 7 отмечено: "Например,  $3_{кл} - 4_{г}$  будет означать: механизм 3-го класса с четырёхзвенной группой Ассура"); 4) конкретизировав разбиение каждого механизма на группы Ассура, автор статьи тем самым однозначно определил выбор входного звена (на рисунках механизмов оно отмечено чёрной закруглённой стрелкой).

Механизмы 51 и 53 сформированы следующим образом: к входному звену 2 и к стойке 1 присоединена трёхпроводковая группа, состоящая из звеньев 3, 4, 5 и 6; к базисному (многопарному) звену 4 трёхпроводковой группы и к стойке 1 присоединена диада, состоящая из звеньев 7 и 8. Вывод: структуры 51 и 53 – совпадают.

Механизмы 50 и 54 сформированы следующим образом: к входному звену 2 и к стойке 1 присоединена первая диада, состоящая из звеньев 3 и 4; к звену 3 первой диады и к стойке 1 присоединена вторая диада, состоящая из звеньев 5 и 6; к звену 3 первой диады и к стойке 1 присоединена третья диада, состоящая из звеньев 7 и 8. Вывод: структуры 50 и 54 – совпадают.

Механизмы 57 и 65 сформированы следующим образом: к входному звену 2 и к стойке 1 присоединена трёхпроводковая группа, состоящая из звеньев 3, 4, 5 и 6; к базисному звену 4 и звену 6 трёхпроводковой группы присоединена диада, состоящая из звеньев 7 и 8. Вывод: структуры 57 и 65 – совпадают. Заметим, что на схеме 57 из статьи [1] имеется неточность: не следовало обводить звенья 4 и 5 тонкой замкнутой линией, так как они не образуют структурной группы.

Механизмы 80 и 88 сформированы следующим образом: к входному звену 2 и к стойке 1 присоединена четырёхзвенная группа Ассура, состоящая из звеньев 3, 4, 5 и 6; к звеньям 3 и 6 четырёхзвенной группы присоединена диада, состоящая из звеньев 7 и 8. Вывод: структуры 80 и 88 – совпадают. Заметим, что на схеме 80 из статьи [1] имеется неточность: вместо надписи  $3_{кл} - 6_{г}$ , нужно:  $4_{кл} - 4_{г}$ .

Механизмы 81 и 89 сформированы следующим образом: к четырёхпарному входному звену 2 и к стойке 1 присоединена трёхпроводковая группа, состоящая из звеньев 3, 4, 5 и 6; к входному звену 2 и базисному звену 5 трёхпроводковой группы присоединена диада, состоящая из звеньев 7 и 8. Вывод: структуры 81 и 89 – совпадают.

Автор комментариев [3] при обосновании своей точки зрения по поводу сравниваемых структур приводит ряд аргументов. Однако они не свидетельствуют о том, что сравниваемые структуры можно идентифицировать как разные. Например, сравнивая схемы 51 и 53 (см. рис. 1 в комментариях [3]), он пишет: "Рецензент считает, что на рисунке 1 показаны совпадающие структуры. Но в схеме 51 звенья  $AB$ ,  $BC$  и  $CD$  образуют четырёхзвенник, а в схеме 53 между соседними выходами на стойку  $A$ ,  $E$ ,  $H$  и  $L$  ни одного четырёхзвенника нет. Думаю, что этого уже вполне достаточно, чтобы заявить, что эти схемы не совпадают". Ещё один пример такого рода (см. [3], рис. 2): "К тому же, в схеме 57 между соседними выходами есть четырёхзвенник  $KHLA$ , а в схеме 65 такого четырёхзвенника нет. Думаю, этого достаточно". Отмеченные автором комментарии отличия не относятся к категории структурных свойств механизмов; их источником являются различия в метрических параметрах (размерах звеньев и положениях опор) механизмов одинаковой структуры.

Далее автор комментариев [3] пишет: "Если бы рецензент внимательно прочитал собственную статью, то он бы заметил там, что одним из критериев "несовпадения" структур является число кинематических пар по контуру цепи". После внимательного прочтения статьи [1] я обратил внимание на то, что указанный критерий действительно выбран автором в качестве одного из главных компонентов в предлагаемом им методе структурного синтеза механизмов. Но насколько надёжен такой критерий? Как будет показано ниже, именно число кинематических

пар по контуру цепи не является вполне надёжным структурным критерием. Используя такой критерий, можно прийти к неверным выводам (что мы и наблюдаем в данном случае).

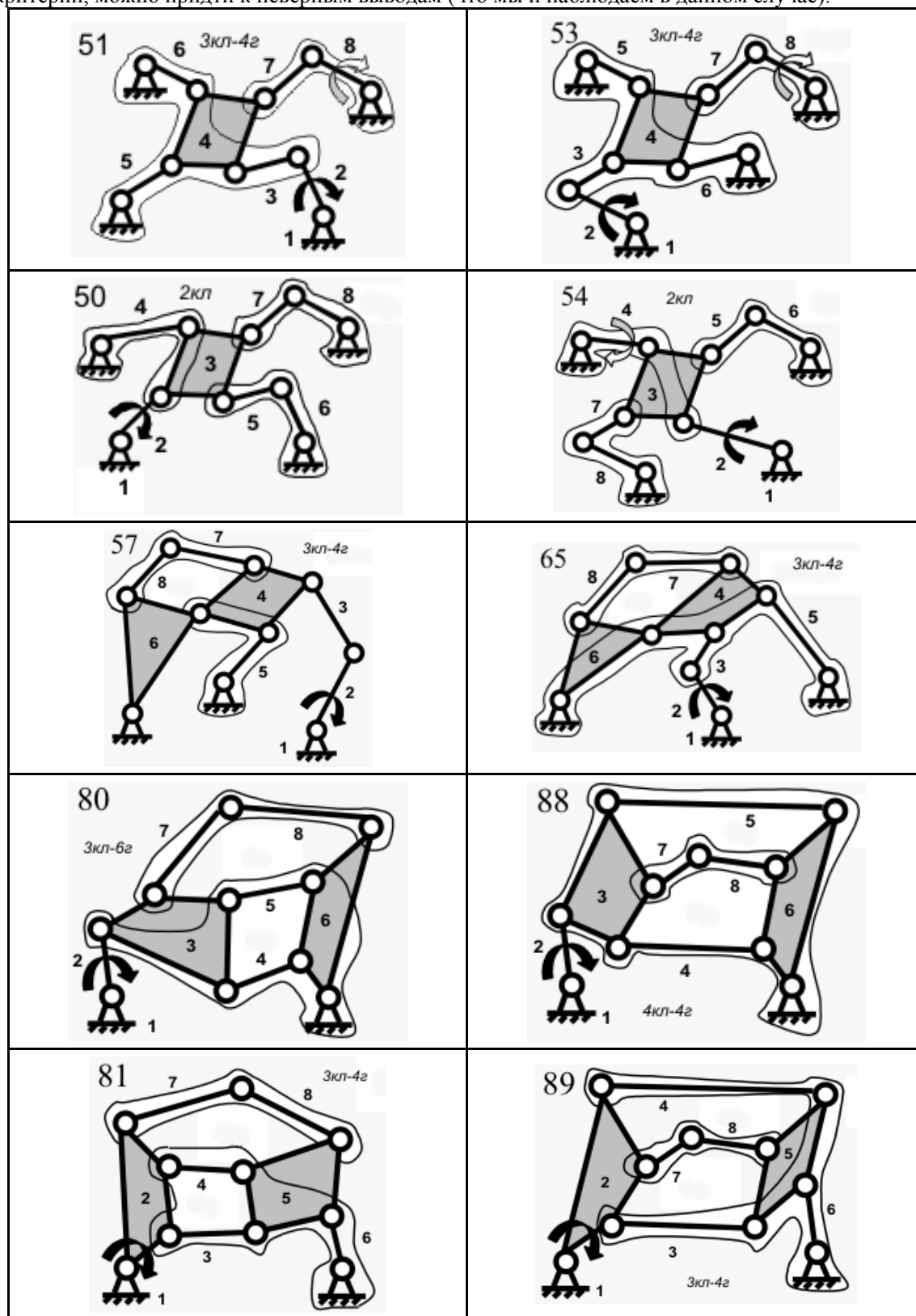


Рис. 2. Восьмизвенные механизмы с номерами 51 и 53, 50 и 54, 57 и 65, 80 и 88, 81 и 89 [1]

Дело в том, что когда в структурной теории механизмов вводится число  $k$  изменяемых замкнутых контуров для заданной кинематической цепи, то имеется в виду число взаимно независимых контуров (но почему-то об этом чаще всего не упоминают; не сказано об этом и в статье [1]). Что касается общего числа  $k_1$  изменяемых замкнутых контуров, которые можно составить для заданной кинематической цепи (включая и зависимые контуры), то это число больше чем  $k$ . Отсюда следует, что существует несколько вариантов выбора  $k$  взаимно независимых контуров среди всех  $k_1$  контуров. Следовательно, число звеньев, образующих каждый из отобранных взаимно независимых контуров (или число кинематических пар по контуру), зависит от конкретного варианта выбора таких контуров. Допустим, что мы сравниваем два одинаковых по структуре механизма и хотим определить число звеньев в каждом из взаимно независимых контуров первого и второго механизмов. Примем для первого механизма один вариант выбора взаимно независимых контуров, а для второго механизма – другой вариант. Вполне возможна ситуация, когда по числу звеньев в контурах первого и второго механизмов обнаружится несоответствие. Отсюда мы сделаем ошибочный вывод, что механизмы не одинаковы по своей структуре.

Именно такая ситуация возникает, например, при сравнении автором комментариев [3] механизмов 80 и 88, а также 81 и 89. Возьмём для примера механизмы 80 и 88. Звенья 3, 4, 5, 6, 7 и 8 каждого из этих механизмов образуют три изменяемых замкнутых контура: 1) контур, образуемый звеньями 3, 4, 5, 6; 2) контур, образуемый звеньями 3, 5, 6, 8, 7; 3) контур, образуемый звеньями 3, 4, 6, 8, 7. Два из этих трёх контуров являются взаимно независимыми. Автор комментариев [3] пишет: "Еще нельзя не обратить внимания на то, что в схеме 80 подвижный замкнутый изменяемый контур *CDEFGC* – пятиугольный, а *FKLG* – четырехугольный, а в схеме 88 оба подвижных замкнутых контура – пятиугольные". Отсюда он делает вывод, что структуры 80 и 88 – разные. Но если бы он для обеих структур 80 и 88 выбрал первый и второй из трёх указанных выше контуров, то он не обнаружил бы разницы между структурами по этому признаку.

Что касается структур 70 и 21, то автор комментариев [3] согласен с тем, что первая встречается в статье [1] два раза, а вторая отсутствует. Он пишет, что "это всего лишь опечатка и нельзя ее считать за ошибку". Но я и не писал в своём отклике [2], что это ошибка.

5. Автор комментариев [3] высказал свои соображения и по второй части моих заметок [2], в которой излагается краткая информация о современном состоянии структурного синтеза рычажных механизмов и высказаны некоторые мысли, касающиеся создания соответствующих компьютерных программ.

Автор работы [3] пишет: "... рецензент со ссылкой на текст собственной работы, опубликованной им в соавторстве в 1998 г. на немецком языке ..., утверждает "Задача структурного синтеза плоских шарнирных механизмов с числом звеньев  $n = 10, 12$  и  $14$  к настоящему времени уже решена". Это заявление не может быть воспринято серьезно. Если рецензенту каким-то образом удалось найти предполагаемое число возможных структур, то ничем не доказано, что им найдены собственно эти самые структуры".

Ещё одна цитата из работы [3]: "Удивляет магия цифр в статье рецензента. Как можно верить, например тому, что десятизвенных механизмов всего 4506 штук, если ни рецензент и никто другой сегодня не знает числа восьмизвенных групп Ассур. Правда, он указывает, что их 173, а вот Баранов Г.Г. в статье [4] показывал, что их 161. Совершенно очевидно, что ни тем, ни другим цифрам верить нельзя, они получились в результате неких арифметических действий, которые к теории структуры механизмов не могут иметь никакого отношения".

Надеюсь, что автор комментариев [3] не считает, что я просто фальсифицировал данные о числе структур при больших значениях  $n$  ( $n$  – это число звеньев у групп Ассур, цепей Грюблера, механизмов) и опубликовал их в печати (в надежде, что всё равно никто не сможет их подтвердить или опровергнуть из-за сложности задачи). Мы с соавторами пошли другим путём – путём разработки соответствующих методов и алгоритмов структурного синтеза. С их помощью последовательно генерируются  $n$ -звенные структуры, среди которых идентифицируются и отбраковываются изоморфные структуры. Разработанный электронный каталог структур включает каталог механизмов и структурных групп с числом звеньев  $n = 6, 8$  и  $10$ . Экранная "картинка" для каждой полученной структуры содержит: символичный код структуры, матрицу структуры размерности  $n \times n$ , структурную схему (с использованием общепринятого способа изображения звеньев и шарниров). Что касается механизмов с числом звеньев  $n = 12$  и  $14$ , то программа последовательно находит очередную неизоморфную структуру (в виде краткого символического кода), а встроенный "счётчик" прибавляет 1 к ранее найденному числу структур. В итоге получается общее число структур при заданном значении  $n$ . Так что, за каждой очередной единицей в общем числе структур стоит реальный механизм.

Кстати, я мог бы продемонстрировать любому специалисту все 4506 десятизвенных механизмов (правда, нужно немало времени: если за одну минуту просматривать три механизма, то потребуется 25 часов для просмотра всех этих механизмов), а также все 173 восьмизвенных групп Ассура.

В 1952 году Г.Г. Баранов опубликовал замечательную работу [5], в которой он, задолго до "эры" компьютеров, сообщил об обнаружении 161 восьмизвенных групп Ассура и 26 девятизвенных статически определимых ферм (так называемых *ферм Баранова*). Теперь, по прошествии около пяти десятилетий, эти данные уточнены, а именно: всего существует 173 восьмизвенных группы Ассура и 27 ферм Баранова. Таким образом, в сравнении с данными Г.Г. Баранова получены двенадцать новых восьмизвенных групп Ассура и одна новая ферма Баранова (последняя найдена мною, информация о ней будет опубликована в скором времени).

6. Автор комментариев [3] подверг резкой критике список литературы, который я привёл в конце своего отклика [2]. Вот некоторые фрагменты из этой части комментариев [3]: "В этом списке нет моей /т.е. Л.Т. Дворникова/ статьи "Новые формализации в структуре механических систем", которая была опубликована в известиях ВУЗов "Машиностроение", № 1 за 1993 г."; "Потеряна целая школа казахских ученых во главе с академиком Джолдасбековым У.А., обойдены профессора Озол О.Г., Баранов Г.Г., Решетов Л.Н. и многие другие"; "Странно, но пропущены и некоторые собственные публикации рецензента, например, его монография с Нестеровым В.А. [3]. Думаю, что работа [3] пропущена умышленно, т.к. именно в этой монографии авторы предприняли действительно некоторые реальные построения структур восьмизвенных механизмов, но нашли не все из них, а показывать не согласующуюся с предметом критики моей статьи работу рецензент теперь не захотел".

Что тут можно сказать? Своим откликом на публикацию статьи [1] я не ставил цель дать одновременно обзор литературы по структуре механизмов. В отклике [2] был указан принцип, по которому был произведён отбор ряда публикаций при составлении списка. Отсутствие в списке литературы имён казахских ученых во главе с академиком У.А. Джолдасбековым, профессоров О.Г. Озола, Г.Г. Баранова, Л.Н. Решетова, Л.Т. Дворникова (кроме ссылки на статью [1]) и многих других не свидетельствует о моём неуважении к ним и к тому большому вкладу, который они внесли в структурную теорию механизмов.

Отсутствие в списке литературы моей монографии с В.А. Нестеровым объясняется не теми мотивами, которые мне приписал автор комментариев [3], а совсем другой причиной: в указанной монографии были приведены структурные схемы восьмизвенных механизмов только с двухзвенными группами Ассура, а в статье [1] и моём отклике [2] речь идёт о восьмизвенных механизмах любой структуры, то есть о восьмизвенниках с двух-, четырёх- и шестизвенными группами Ассура.

Автор комментариев [3] пишет: "Было бы объективным, если бы рецензент написал: "не все структуры, приведенные Дворниковым, верны, но 84 структуры не вызывают сомнений и уже этот результат следует считать полезным для теории и практики". С этим я вполне согласен и сожалею, что не высказал подобную мысль в своём отклике [2] на статью [1].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Дворников Л.Т.** Опыт структурного синтеза механизмов. // Теория механизмов и машин. 2004. № 2(4). С. 3-17.
2. **Пейсах Э.Е.** О структурном синтезе механизмов (комментарии к статье Л.Т. Дворникова). // Теория механизмов и машин. 2005. № 1(5). С. 77-80.
3. **Дворников Л.Т.** В доказательство состоятельности опыта структурного синтеза механизмов. // Теория механизмов и машин. 2006. № 1(7). С. 44-48.
4. **Пейсах Э.Е.** Атлас структурных схем восьмизвенных плоских шарнирных механизмов. // Теория механизмов и машин. 2006. № 1(7). С. 3-17.
5. **Баранов Г.Г.** Классификация, строение, кинематика и кинестатика механизмов с парами первого рода. // Труды семинара по теории машин и механизмов. 1952. Том 2, вып. 46. С. 15-39.

Поступила в редакцию 03.01.2006  
После доработки 30.01.2006