



УДК 621.01:531.8

*А.Н. Евграфов, Д.П. Козликин***ЛЕОНИД ВЛАДИМИРОВИЧ АССУР***A.N. Evgrafov, D.P. Kozlikin***LEONID VLADIMIROVICH ASSUR**

В статье приведены краткие биографические сведения из жизни Л.В. Ассура, рассмотрены идеи, лежащие в основе его главного научного труда, и прослежено развитие этих идей трудами отечественных и зарубежных ученых.

ЛЕОНИД АССУР. ГРУППА АССУРА. СТРУКТУРА МЕХАНИЗМОВ. СИНТЕЗ МЕХАНИЗМОВ.

This article presents biographical notes on Russian scholar L.V. Assur, gives an overview of his ideas that form the basis of his main scientific work, and highlights the development of Assur's ideas in the works of Russian and foreign researchers.

LEONID ASSUR. ASSUR GROUP. STRUCTURE OF MECHANISMS. SYNTHESIS OF MECHANISMS.

Статья посвящена выдающемуся ученому, работавшему в Санкт-Петербургском (Петроградском) политехническом институте. Его главный научный труд через 30 лет после смерти автора был переиздан издательством АН СССР «Наука» в почетнейшей серии «Классики науки» [1] и стал известен в широких научных кругах. Основные структурные единицы, из которых состоят механизмы, стали называть его именем — группами Л.В. Ассура; все остальные группы называют неассуровыми группами. Число работ, посвященных исследованию свойств этих структур, с годами только растет. В предлагаемой статье приведены краткие биографические сведения из жизни Ассура, рассмотрены идеи, лежащие в основе его главного научного труда, и прослежено развитие этих идей трудами отечественных и зарубежных ученых.

Биографические сведения. Леонид Владимирович Ассур родился 31 марта 1878 года в г. Рыбинске Ярославской губернии [2]. Отец Леонида, Владимир Федорович Ассур, работал служащим в управлении железной дороги. У Леонида было два младших брата (рис. 1): Андрей (родился в 1881 году) и Владимир (родился в 1883 году). Мать, Людмила Андреевна, умерла, когда Леониду было семь лет.

Позже Ассуровы переехали в Гродно, где в 1897 году Леонид закончил Гродненскую гим-

назию с золотой медалью. Он хорошо знал латынь, греческий, французский, немецкий и английский языки, играл на фортепиано, сочинял музыку.

В том же 1897 году Леонид поступил в Московский университет на математическое отделение физико-математического факультета. Механику преподавал в то время профессор Н.Е. Жуковский (1847–1921). Именно идеи Н.Е. Жуковского подтолкнули Ассура к решению топологических задач.



Рис. 1. На фото: Леонид, Владимир, Владимир Федорович, Андрей
(Из архива Т. Рауш — правнучки Л.В. Ассура.
Публикуется впервые)

В 1901 году Леонид Ассур окончил Московский университет. По рекомендации Н.Е. Жуковского он сразу поступил на второй курс механического отделения Московского технического училища (сейчас — Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана). Это был не единичный случай, когда будущий инженер-механик получал фундаментальную математическую подготовку, но один из тех случаев, который дал блестящий результат.

В 1906 году Ассур закончил Московское техническое училище и получил звание инженера-механика. Большинство технических школ России находилось в тогдашней столице — Санкт-Петербурге, сюда и отправился Ассур в поисках работы. Однако сразу он не смог устроиться на работу преподавателем, как хотел, поэтому поступил на работу в качестве помощника заведующего городскими общественными мостостроительными мастерскими. В его обязанности входила подготовка строительства и материальное обеспечение постройки мостов: Аларчина (через канал Грибоедова), Пантелеймоновского (через Фонтанку) и др.

В справочнике «Весь Санкт-Петербург» имя Л.В. Ассур впервые появилось в 1908 году, где он значился как инженер-механик, проживающий на ул. Бармалеева. В 1909 году Ассур переехал на ул. Широкую, а с 1910 года жил на Английском пр. (с 1952 года называется пр. А. Пархоменко), откуда недалеко было до Политехнического института.

В 1907 году Ученый совет Санкт-Петербургского политехнического института впервые объявил прием на механическое отделение. Появились вакансии, и Л.В. Ассур получил приглашение на работу в институт в качестве преподавателя машиностроительного черчения на механическом отделении. В следующем, 1908 году Ассуру поручили вести занятия по теоретической механике и по прикладной механике. Лекции по прикладной механике читал профессор В.Л. Кирпичев (1845–1913), а лекции по теоретической механике — профессор И.В. Мещерский (1859–1935). С 1907 года И.В. Мещерский начал составлять задачи по теоретической механике, которые имели конкретное техническое содержание. К этой работе был привлечен и Ассур. Составленный сборник задач имел исключительный

успех: он переиздавался 50 раз (50-е издание вышло в 2010 году).

В.Л. Кирпичев организовал в Политехническом институте научно-технический кружок. В 1908–1909 гг. на заседании этого кружка Л.В. Ассур прочитал два доклада: «Аналоги ускорений и их применение к динамическому расчету плоских стержневых систем» и «Основные свойства аналогов ускорений в аналитическом изложении». Полные тексты двух докладов были опубликованы в 1909 году в «Известиях Санкт-Петербургского политехнического института» — соответственно в Т. 9, вып. 2 (с. 735–773), Т. 10, вып. 1 (с. 43–74) и в т. 11, вып. 2 (с. 317–338). В этих работах Ассур пришел к выводу, что «ускорение есть частный случай более общего понятия “аналог ускорения”». Поэтому из всякой теоремы, выведенной для аналогов ускорений, будет вытекать соответствующая теорема для ускорений». Ассур указал на возможности применения своей теории. В частности, он разработал основы графического исследования механизмов с несколькими (!) степенями свободы. Эта задача имеет не только теоретическое, но и практическое значение, особенно в наше время, и Ассуру принадлежит честь первой ее постановки и первого решения.

В 1911 году Леонид Ассур начал сдавать экзамены и одновременно работать над диссертацией на ученую степень адъюнкта. Эта работа — «Исследование плоских стержневых механизмов с низшими парами с точки зрения их структуры и классификации» — стала основным трудом его жизни.

В 1914 году в «Известиях Санкт-Петербургского политехнического института» была опубликована первая часть работы — «Учение о нормальных многоповодковых цепях и роль их в образовании механизмов» [3]. В 1915 году вышла вторая часть: «Приложение учения о нормальных цепях к общей теории механизмов» [4]. На рис. 2 представлен уникальный экземпляр книги Л.В. Ассур с автографом автора, хранящийся в Фундаментальной библиотеке СПбГПУ.

13 февраля 1916 году на заседании Ученого совета Санкт-Петербургского политехнического института состоялась защита диссертации Л.В. Ассур. Официальными оппонентами были крупные ученые, занимавшиеся различными вопросами прикладной механики: про-

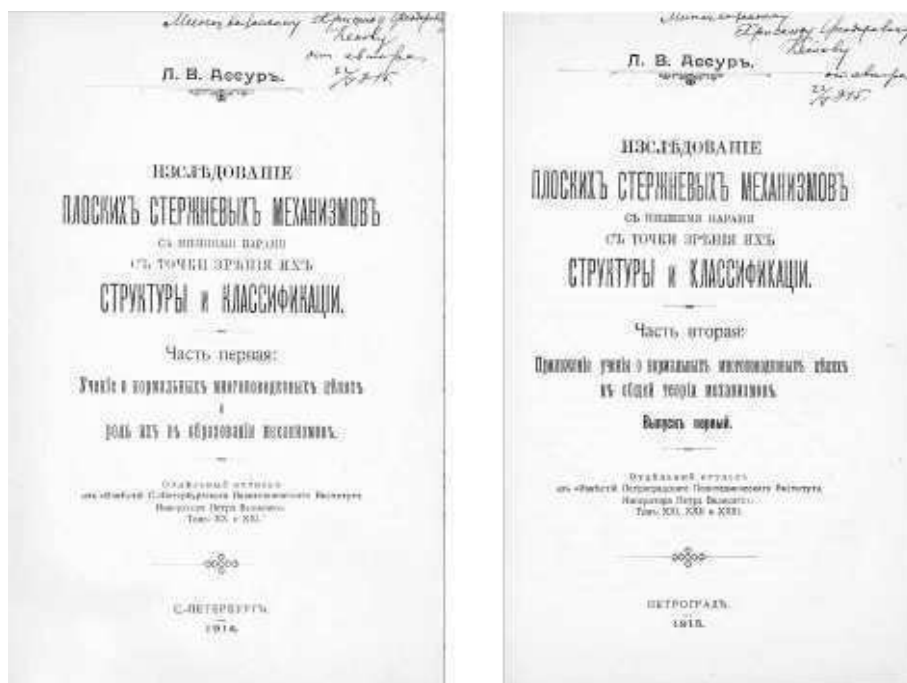


Рис. 2. Титульные листы книги «Исследование плоских стержневых механизмов с низшими парами с точки зрения их структуры и классификации», части 1 и 2, с автографом автора*

фессор Московского университета и Московского технического училища Н.Е. Жуковский, профессор Казанского университета Д.Н. Зейлигер (1864–1936) и профессор прикладной механики А.А. Радциг (1869–1941). Заметим, что Александр Александрович Радциг в те годы был деканом механического отделения Политехнического института, в сложные 1917–1918 годы — ректором института, а в 1933-го он был избран членом-корреспондентом АН СССР.

Защита Ассура прошла успешно, а диссертанту присвоили ученую степень адъюнкта по кафедре прикладной механики.

После защиты диссертации Леонид Владимирович не мог заниматься научной работой так же интенсивно, как и раньше. В мае 1916 году Ассур был привлечен к работе в Петроградском

военно-промышленном комитете помощи фронту. В этом комитете работали инженеры очень высокой квалификации. Ассур руководил проектированием различных систем армейского имущества.

Примерно к этому времени относится фотография, впоследствии многократно перепечатывавшаяся и вошедшая в энциклопедии (рис. 3).

После революции 1917 года и с началом Гражданской войны снабжение Санкт-Петербурга продовольствием и предметами первой необходимости значительно ухудшилось. Часть преподавателей уехала из города. Ассуру пришлось преподавать в двух институтах: в Политехническом и в Лесном (сейчас — Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова). Педагогическая нагрузка значительно возросла, отнимая время от научной работы. Здоровье Леонида Владимировича было подорвано. В июне 1919 года Ассур уехал в Воронеж, где в это время жила его семья. Он собирался вернуться в Санкт-Петербург к началу занятий, но в условиях гражданской войны это не получилось. Здоровье Ассура не улучшалось.

*«Многоуважаемому Хрисанфу Феодоровичу Кетову от автора 22/V 915.». Х.Ф. Кетов (1887–1948) в 1915 году — молодой преподаватель, а с 1930-го — заведующий кафедрой теории механизмов и машин Ленинградского политехнического института (сейчас Санкт-Петербургский государственный политехнический университет)



Рис. 3. Л.В. Ассур.
Фотография из архива Т. Рауш.

В мае 1920-го он лег в клинику, где ему были сделаны две операции. 19 мая после второй операции он умер не приходя в сознание.

Л.В. Ассур был женат на Елене Михайловне Миндриной. В уже упоминавшейся монографии [2] ошибочно указана фамилия Миндлина. Эта ошибка не была случайной: Елена Михайловна сознательно изменила в девичьей фамилии одну букву, т.к. она опасалась возможных репрессий: ведь ее отец был состоятельным человеком.

У Ассуров было трое детей: Ольга (1907–1909), Всеволод (1910–1987) и Елена (1913–2001). Ольга трагически погибла в возрасте двух лет (сгорела). Всеволод и Елена прожили долгую жизнь. Елена закончила физико-механический факультет Ленинградского политехнического института. В 1947 году защитила кандидатскую диссертацию (экземпляр диссертации хранится в Фундаментальной библиотеке СПбГПУ), работала доцентом. Всеволод преподавал в Москве, был награжден правительственными наградами. Внуки и правнуки Л.В. Ассура живут в Москве, Санкт-Петербурге и в Париже.

Фактически работа Л.В. Ассура осталась незавершенной. Известно, что Ассур продолжал работать над своей классификацией, но его бумаги были утеряны. По семейной легенде они были куплены в голодные годы за продукты ученым А., но авторы не нашли подтверждения этой легенде.

Развитие идей Ассура. Книга Л.В. Ассура [3, 4] была издана небольшим тиражом. Трактат оказался очень сложным для восприятия, а сам автор умер. Идеи Ассура оказались основательно забыты на несколько лет. Ученые в своих работах упоминали классификацию Ассура, но не использовали ее для решения задач анализа и синтеза механизмов. В российских университетах и институтах структуру механизмов излагали по Ф. Рело (1829–1905). Для классификации механизмов использовали различные варианты классификации Р. Виллиса (1800–1875). Механизмы рассчитывали по-старому: для каждой задачи подбирали свой оригинальный способ. Даже те ученые, которые хорошо знали трактат Ассура, не пользовались его идеями. Н.И. Мерцалов, учитель Ассура, которому он показывал свою диссертацию, считал метод Ассура неэффективным ни для теории, ни для инженерной практики. А.П. Малышев (1879–1962) считал, что работа Ассура написана трудно для восприятия, а разработанные им методы очень сложны. А.А. Радциг (оппонент Ассура при защите диссертации) и А.П. Иванов (ученик Ассура, изучавший у него прикладную механику), в своих учебниках по прикладной механике (1930 г. и 1934 г. соответственно) только упоминали Ассура, но его идеями не пользовались. В 1925 году вышло посмертное издание учебника Д.С. Зернова «Прикладная механика», которое редактировал Х.Ф. Кетов. Но и в этой книге Кетов как редактор книги ограничился только ссылкой на трактат Ассура.

В том, что ситуация с идеями Ассура стала меняться, мы во многом обязаны И.И. Артоболевскому (1905–1977), Н.Г. Бруевичу (1896–1987), В.В. Добровольскому (1880–1956). В 1930-е годы будущие академики работали на кафедре механики в Военно-воздушной академии в Москве.

И.И. Артоболевский узнал о работе Ассура в 1928 году из статьи А.П. Малышева. Молодой ученый понял, какие большие возможности для построения общей теории механизмов открывает теория Ассура. Впервые структуру и классификацию механизмов «по Ассуру» Артоболевский изложил в Московском институте химического машиностроения, а несколько позже — в Московском университете.

Н.Г. Бруевич в 1935 году опубликовал статью [5]. Используя методы Ассура, Бруевич разрабо-

тал метод решения задач кинематики с помощью векторных уравнений.

В.В. Добровольский в 1936 году на заседании семинара по теории механизмов при Техническом комитете Академии наук выступил с докладом «Основные принципы классификации и структуры механизмов», в котором изложил основные идеи Ассура.

В 1937 году И.И. Артоболевский опубликовал монографию [6], в которой при изложении структуры и классификации механизмов использовал идеи Ассура.

В 1938 году была разработана и утверждена программа обучения студентов по курсу «Теория механизмов и машин» с учетом исследований Ассура. Это потребовало создания новых учебников. В 1939-м вышел первый учебник «Теория механизмов и машин» [7], написанный в соответствии с новой программой. Авторы учебника — сотрудники Ленинградского политехнического института Х.Ф. Кетов (ему Ассур подарил экземпляр своего трактата) и Н.И. Колчин (1894–1975). Первый раздел учебника посвящен исследованию структуры и классификации механизмов по Ассуру.

В 1939 году Артоболевский опубликовал монографию «Структура, кинематика и кинестатика многосвязных плоских механизмов» [9]. В ней он непосредственно развивает теорию Ассура. Кроме исследования структуры механизмов, книга содержит решение задачи об определении положений групп. Графические методы, примененные и усовершенствованные Ассуром, здесь дополнены аналитическим методом векторных уравнений. Разработанный графоаналитический метод оказался нагляднее, удобнее и точнее графического метода. Классификация Ассура была распространена на механизмы, включающие в себя поступательные и высшие кинематические пары. Анализ кинестатики Артоболевский довел до групп третьего класса высших порядков.

В 1940 году вышло первое издание учебника И.И. Артоболевского «Теория механизмов и машин» [9]. Касаясь структуры и классификации механизмов, автор написал: «В период с 1914-го по 1918 год появляется исключительная по глубине своего анализа работа по классификации плоских механизмов, принадлежащая русскому ученому Ассуру. В этой работе излагается класси-

фикация плоских механизмов, тесно увязанная с методами их кинематического и кинестатического анализа. Классификация, предложенная Ассуром, охватывает почти все существующие в технике плоские механизмы. Эта работа должна быть расценена как работа исключительного значения, давшая богатейший материал для ряда последующих исследований русских ученых».

Принцип построения классификации Ассура использовал В.В. Добровольский. Свои идеи он изложил в работах «Основные принципы рациональной классификации механизмов» [10] и «Теория механизмов» [11]. Добровольский предложил называть на первоначальный механизм кинематические цепи, которые могут изменять степень свободы механизма. Для таких цепей он впервые использовал термин «неассуровы цепи». В зависимости от того, увеличивает или уменьшает степень свободы присоединяемая цепь, она относится к группе положительного или отрицательного порядка. Тогда Ассурова цепь, не меняющая степень свободы начального механизма, относится к цепям нулевого порядка. Наибольшее распространение имеют группы Ассура, поскольку они кинематически и статически определимы. Целесообразность введения неассуровых цепей Добровольский видел в том, что «они могут соединять несколько механизмов с независимыми движениями в один и, таким образом, служить средством передачи движения между ними». Работа Добровольского примечательна еще и тем, что в ней была предпринята попытка структурного анализа механизма не с одной, а с несколькими степенями свободы.

И.И. Артоболевский тоже продолжал развивать идеи Ассура. В работе «Опыт структурного анализа механизмов» [12] и др. он дал определение структурной группе. Группа — такая кинематическая цепь, которая после ее присоединения крайними свободными элементами пар к стойке будет обладать нулевой степенью подвижности и которая не может быть расчленена на самостоятельные кинематические цепи нулевой степени подвижности. Ассур не различал понятий группы и цепи, он одинаково пользовался обоими понятиями.

В соответствии с классификацией Артоболевского структурные группы Ассура характеризуются двумя признаками: класс и порядок.

Порядок группы соответствует числу элементов кинематических пар, которыми группа присоединяется к звеньям предшествующих групп и к стойке. Класс группы определяется числом кинематических пар, в которые входят звенья, образующие наивысший контур группы.

Г.Г. Баранов (1899–1968) в работе «Классификация, строение, кинематика и кинестатика плоских механизмов с парами первого рода» [13] предложил другую систему классификации плоских групп Ассура. В соответствии с нею класс k группы равен половине числа ее звеньев, так что двухзвенная группа (диада) — это группа первого класса, четырехзвенная группа — группа второго класса и т. д. Все группы класса k делятся на порядки так, как это предложено И.И. Артоболевским.

В 1952 году в издательстве Академии наук СССР в серии «Классики науки» под редакцией И.И. Артоболевского было опубликовано 2-е издание книги «Исследование плоских стержневых механизмов с низшими парами с точки зрения их структуры и классификации» [см. 1] (рис. 4).

Книга включала в себя титульный трактат, два дополнения, написанных Ассуром в 1915 и 1918 годах, а также приложение: отзыв Н.Е. Жу-

ковского о трактате Л.В. Ассура, статью Артоболевского «Л.В. Ассур и его работы по теории механизмов», примечания и список научных трудов Ассура. Книга имела довольно большой для научной монографии тираж (2500 экз.). Ассур был признан классиком теории механизмов.

Издание книги пробудило новую волну интереса к идеям Ассура. Классификация Ассура стала исходной системой структурной классификации для дальнейших исследований российской школы теории механизмов и машин. Ее использовали почти во всех учебниках по теории механизмов: С.Н. Кожевников («Теория механизмов и машин», первое издание в 1947 году, переведена на польский, чешский, венгерский и китайский языки), Н.И. Колчин («Механика машин» в 5-ти частях, первое издание в 1948–1957 гг.), Вл.А. Зиновьев («Теория механизмов и машин», первое издание в 1955 году, переведено на английский язык в 1963 году) и др.

Э.Е. Пейсах (1936–2008) предложил уточненное определение группы Ассура, более удобное для структурного анализа механизмов [14]. На основании этого определения он предложил новую классификацию структурных групп Ассура. В ней фигурируют два основных структурных признака — класс и разряд. Кроме того, имеются еще четыре дополнительных структурных признака — число звеньев, число кинематических пар, порядок и число изменяемых замкнутых контуров. Если известны класс и разряд группы, то все четыре дополнительных структурных признака определяются однозначно, то есть они являются зависимыми от двух основных признаков. Каждый механизм можно представить в виде некоторого символического кода. Рассматривая символические коды структур и отбрасывая повторяющиеся, можно составить электронные каталоги плоских структурных групп различных классов с вращательными парами. С помощью алгоритма, предложенного в работе [14], и соответствующей программы Пейсах выполнил структурный синтез групп Ассура до шестого класса включительно, т. е. для $k = 1, 2, 3, 4, 5, 6$, а также составил электронный каталог групп Ассура для $k = 2, 3, 4, 5$.

В 2000 году в издательстве Springer коллектив авторов — сотрудников СПбГПУ — выпустил книгу «Advanced Theory of Mechanisms and Machines» [15]. В этой книге предложено следующее определение структурной группы.

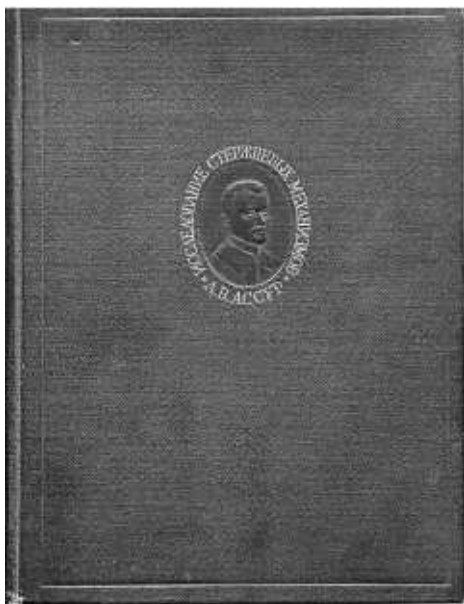


Рис. 4. Обложка книги «Исследование плоских стержневых механизмов...», выпущенной в 1952 г. в серии «Классики науки»

«Кинематическая цепь с заданными входами называется нормальной n -подвижной структурной группой, или просто структурной группой, если число ее независимых входов совпадает с числом степеней подвижности».

Такая структурная группа, как и группа Ассура, является кинематически и статически определимой, а группа Ассура — частный случай этой группы. Наслаивая такие группы (как и группы Ассура) на первоначальный механизм или на стойку, можно получать новые, более сложные механизмы, которые всегда будут кинематически и статически определимы. Многочисленные механизмы современных машин, включая пространственные, многодвигательные, разомкнутые, можно представить в виде цепи из подобных структурных групп. Выделить структурные группы современных многосвязных механизмов бывает достаточно сложно даже для квалифицированных специалистов. В статье Д. Карловского, С. Вишневого и Н. Семенович «Программа структурного анализа механизмов» [16] приведено описание компьютерной программы. Эта программа автоматически вычленяет в механизме ассуровы и неассуровы структурные группы.

Исследование структурных групп Ассура продолжается и в наши дни как в России, так и за рубежом. Так, В.А. Тершин в работе [17] пришел к выводу, что все возможные десять плоских шестизвенных структурных групп Ассура с вращательными парами порождаются из основных семизвенных групп. М.Д. Ковалев в работе [18] показал, что вопрос о возможности построения устойчивой и однозначно собираемой конструкции достаточно решить для структурных групп Ассура. Л.Т. Дворников в работе [19] обосновал и изложил метод структурной классификации плоских шарнирных групп Ассура на основании семи критериев, а в [20] совместно с Л.Н. Гудимовой предложил метод синтеза структур восьмизвенных групп Ассура.

F.R.E. Crossley и N.Seshachar одни из первых за рубежом предложили решать задачи геомет-

рии плоских групп Ассура с помощью компьютера [21]. В дальнейшем компьютеры использовали не только для анализа групп Ассура, но и для их структурного синтеза [22]. С. Galletti в работе [23] рассмотрел геометрический анализ групп Ассура высоких классов. М. Ceccarelli, описывая в [24] историю создания классификации механизмов, важнейшую роль отводит Ассуру. К.Д. Bouzakis с соавторами в работах [25, 26] составил функции положения групп Ассура 3-го и 4-го класса. Новый графо-аналитический метод кинематического анализа рассмотрен в работе G.Calle, A. Díaz, E. Hena, N. Quintero [27]. Геометрический анализ пятизвенной кинематической цепи Ассура выполнил W.Y. Cheng в [28]. Много работ посвящено синтезу групп Ассура. К. Romaniak на 12-м Всемирном конгрессе IFToMM в Безансоне (Франция) сделал доклад о методологии создания групп Ассура [29]. О. Shai, вводя термин «фундаментальный граф Ассура», в работе [30] предлагает выполнить топологический синтез всех плоских механизмов. К. Wohlhart описывает роботы, в схемах которых использованы группы Ассура [31].

Из приведенного обзора источников (на самом деле их значительно больше) можно заключить, что идеи Ассура дали мощный толчок развитию теории механизмов, исследованию как существующих механизмов, так и проектированию новых с использованием самых современных методов, а также и для развитию этих методов. Отметим, что многие публикации используют классификацию Ассура как общеизвестную и общепринятую, без ссылок на первоисточник. Это является своеобразным подтверждением признания заслуг Ассура в области теории механизмов.

Авторы благодарят сотрудников Российской национальной библиотеки, Фундаментальной библиотеки Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, а также Сергея Ассура и Татьяну Рауш за предоставленные материалы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ассур, Л.В. Исследование плоских стержневых механизмов с низшими парами с точки зрения их структуры и классификации [Текст] / Л.В. Ассур / Ред. И.И. Артоболевский. — Изд-во Академии наук СССР, 1952. — 592 с.

2. Артоболевский, И.И. Леонид Владимирович Ассур (1878— 1920) [Текст] / И.И. Артоболевский, А.Н. Боголюбов. — М.: Наука, 1971. — 264 с.

3. Ассур, Л.В. Исследование плоских стержневых механизмов с низшими парами с точки зрения их

структуры и классификации. Часть 1. Учение о нормальных многоповодковых цепях и роль их в образовании механизмов [Текст] / Л.В. Ассур.— Известия Санкт-Петербургского политехнического института, 1914. Т. 20–21; Дополнение ко второй главе первой части.— Там же. 1915. Т. 24.

4. **Ассур, Л.В.** Исследование плоских стержневых механизмов с низшими парами с точки зрения их структуры и классификации. Часть 2. Приложение учения о нормальных цепях к общей теории механизмов [Текст] / Л.В. Ассур.— Известия Санкт-Петербургского политехнического института. 1914. Т. 21–23. Дополнение к первой главе второй части.— Там же. 1918. Т. 24.

5. **Бруевич, Н.Г.** Применение векторных уравнений в кинематике плоских механизмов [Текст] / Н.Г. Бруевич // Материалы Военно-воздушной академии им. Жуковского.— М., 1935.— С. 52–98.

6. **Артоболевский, И.И.** Теория пространственных механизмов. Часть 1 [Текст] / И.И. Артоболевский.— М.-Л.: ОНТИ, 1937.— 235 с.

7. **Кетов, Х.Ф.** Теория механизмов и машин [Текст] / Х.Ф. Кетов, Н.И. Колчин / Под ред. Х.Ф.Кетова.— Л.-М.: Машгиз, 1939.— 608 с.

8. **Артоболевский, И.И.** Структура, кинематика и кинетостатика многозвенных плоских механизмов [Текст] / И.И. Артоболевский.— М.-Л.: ОНТИ, 1939.— 232 с.

9. **Артоболевский, И.И.** Теория механизмов и машин [Текст] / И.И. Артоболевский.— М.-Л.: Гостехиздат, 1940.— 762 с.

10. **Добровольский, В.В.** Основные принципы рациональной классификации механизмов [Текст] / В.В. Добровольский.— В кн. Добровольский В.В., Артоболевский И.И. Структура и классификация механизмов.— М.-Л.: Издательство АН СССР, 1939.— С. 5–48.

11. **Добровольский, В.В.** Теория механизмов. Ч. 1. Плоские механизмы с низшими парами [Текст] / В.В. Добровольский.— М.-Л.: ОНТИ, 1936.— 347 с.

12. **Артоболевский, И.И.** Опыт структурного анализа механизмов. В кн. Добровольский В.В., Артоболевский И.И. Структура и классификация механизмов [Текст] / И.И. Артоболевский.— М.-Л.: Издательство АН СССР, 1939.— С. 49–66.

13. **Баранов, Г.Г.** Классификация, строение, кинематика и кинетостатика плоских механизмов с парами первого рода [Текст] / Г.Г. Баранов.— Труды семинара по теории машин и механизмов. 1952. Том 2, Вып. 46.— С. 15–39.

14. **Пейсах Э.Е.** Классификация плоских групп Ассура [Текст] / Э.Е. Пейсах // Теория механизмов и машин.— 2007. Т. 5, №1.— С. 5–17.

15. **Kolovsky, M.Z.** Advanced Theory of Mechanisms and Machines [Text] / M.Z. Kolovsky, A.N. Evgrafov,

Yu.A. Semenov, A.V. Slousch.— Berlin New York: Springer, 2000.— 396 p.

16. **Карловский, Д.А.** Программа структурного анализа механизмов [Текст] / Д.А. Карловский, С.В. Вишневский, Н.С. Семёнова // Теория механизмов и машин.— 2005. Т. 3, №1(5).— С. 67–69.

17. **Терешин, В.А.** Наглядное представление особых положений всех шестизвенных групп Ассура [Текст] / В.А. Терешин // Теория механизмов и машин.— 2003. №2.— С. 15–16.

18. **Ковалев, М.Д.** О декомпозиции шарнирных схем и геометрической устойчивости ферм [Текст] / М.Д. Ковалев // Современное машиностроение. Наука и образование: Матер. 3-й Междунар. науч.-практ. конференции / Под ред. М.М. Радкевича и А.Н. Евграфова.— СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2013.— С. 779–787.

19. **Дворников, Л.Т.** К вопросу о классификации плоских групп Ассура [Текст] / Л.Т. Дворников // Теория механизмов и машин.— 2008. Т. 6, №2(12).— С. 18–25.

20. **Дворников, Л.Т.** Задача о поиске многообразия восьмизвенных плоских шарнирных групп Ассура [Текст] / Л.Т. Дворников, Л.Н. Гудимова // Теория механизмов и машин.— 2008. Т. 6, №1(11).— С. 15–29.

21. **Crossley, F. R. E.** (1971) Analysis of the displacements of planar Assur groups by computer [Text] / Crossley F. R. E., Seshachar N. // 3rd world congress on T.M.M.— 1971.— P. 71–82.

22. **Sun, X-Q.** Method and Realization of Computer-Aided Combination of Assur Groups in Conceptual Design of Planar Linkage Mechanisms [Text] / X-Q. Sun, L. Tang // Reconfigurable Mechanisms and Robots.— 2009 / Dai, J. S., Zoppi, M. and Kong X., Eds.— P. 123–128.

23. **Ceccarelli, M.** Classifications of mechanisms over time [Text] / M. Ceccarelli // Proceedings of International Symposium on History of Machines and Mechanisms. HMM 2004. Kluwer, Dordrecht.— 2004.— P. 285–302.

24. **Galletti C.** On the position analysis of Assur's groups of high class [Text] / C. Galletti // Meccanica.— 1979. № 14, Vol. 1.— P. 6–10.

25. **Bouzakis, K.D.** Position analysis in polynomial form of class-three Assur [Text] / K.D. Bouzakis, G. Mansour, S. Mitsi, I. Popescu // Mechanisms and Machines Theory.— 2008. Vol. 43.— P. 1401–1415.

26. **Bouzakis, K.D.** Position analysis in polynomial form of planar mechanism with an Assur group of class 4 including one prismatic joint [Text] / K.D. Bouzakis, G. Mansour, S. Mitsi // Mechanisms and Machines Theory.— 2004. Vol. 39.— P. 237–245.

27. **Calle, G.** A novel graphical and analytical method for the kinematic analysis of fourth class Assur groups [Text] / G. Calle, A. Díaz, E. Hena, H. Quintero // Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia.— № 60.— P. 81–91.

28. **Cheng, W.Y.** The position analysis of Assur kinematic chain with five links [Text] / W.Y. Cheng // *Mechanisms and Machines Theory*.— 2005. Vol. 40.— P. 1015–1029.

29. **Romaniak, K.** Methodology of the Assur Groups Creation [Text] / K. Romaniak // 12th IFToMM World Congress. Besancon, France.— 2007.— P. 1–5.

30. **Shai, O.** Topological synthesis of all 2d mecha-

nisms through Assur graphs, *Proceedings of the ASME 2010 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering* [Text] / O. Shai // Conference IDETC/CIE 2010. Montreal, Quebec, Canada.— 2010.— P. 1727–1738.

31. Wohlhart K Robots Based on Assur Group A (3.5), *Advances in Robot Kinematics* [Text] // Analysis and Design Editors.— 2008.— P. 165–175.

REFERENCES

1. **Assur L.V.** Issledovanie ploskikh sterzhnevnykh mekhanizmov s nizshimi parami s tochki zreniia ikh struktury i klassifikatsii [Investigation of flat bar mechanisms with low vapors in terms of their structure and classification] [Tekst] // AS USSR Publ.— 1952.— 529 p. (rus.)

2. **Artobolevskii I.I., Bogolyubov A.N.** Leonid Vladimirovich Assur (1878–1920) [Tekst].— Moscow, Nauka, 1971.— 264 p. (rus.)

3. **Assur L.V.** Research of a planar linkages with lower pairs on the basis of their structure and classification. Part 1. Teaching about normal multi-arm chains and their role in the formation of mechanisms [Tekst] // The Proceedings of Saint-Petersburg Polytechnical Institute—Vol 20–21. An addition to the second chapter of the first part.— Ibid. 1915. Vol 24. (rus.)

4. **Assur L.V.** Research of a planar linkages with lower pairs on the basis of their structure and classification. Part 2. Application of the teaching on normal chains to the general theory of mechanisms [Tekst] // The Proceedings of Saint-Petersburg Polytechnical Institute Vol 21. An addition to the first chapter of the second part.— Ibid., 1918. Vol. 24. (rus.)

5. **Bruevich N.G.** Primenenie vektornykh uravnenij v kinematike ploskikh mekhanizmov [Application of vector equations in the kinematics of planar mechanisms] [Tekst] // Materials of Air Force Academy named after Zhukovskiy. Moscow, 1935.— P. 52–98. (rus.)

6. **Artobolevskii I.I.** Teorija prostranstvennykh mekhanizmov [Theory of spatial mechanisms]. Part 1 [Tekst] // Moscow, Leningrad: ONTI, 1937.— 235 p. (rus.)

7. **Ketov H.F., Kolchin N.I.** Teorija mehanizmov i mashin [Theory of mechanisms and machines] [Tekst].— Leningrad, Moscow: Mashgiz, 1939.— 608 p. (rus.)

8. **Artobolevskii I.I.** Struktura, kinematika i kinetostatika mnogozvennykh ploskikh mekhanizmov [Structure, kinematics and kinetostatics of multi-link planar mechanisms] [Tekst].— Moscow, Leningrad: ONTI, 1939.— 232 p. (rus.)

9. **Artobolevskii I.I.** Teorija mekhanizmov i mashin [Theory of mechanisms and machines] [Tekst].— Moscow, Leningrad: Gostekhizdat, 1940.— 762 p. (rus.)

10. **Dobrovolsky V.V.** Osnovnye principy racional'noj klassifikatsii mekhanizmov [Basic principles of rational classification of mechanisms] // V kn.: Dobrovol'skii V. V.,

Artobolevskii I.I. Struktura i klassifikatsiia mekhanizmov [Structure and classification of mechanisms] [Tekst].— Moscow, Leningrad: AS USSR Publ., 1939.— P. 5–48 (rus.)

11. **Dobrovolsky V.V.** Teorija mekhanizmov. Ch. 1. Ploskie mekhanizmy s nizshimi parami [Theory of mechanisms. Part 1. Planar mechanisms with lower pairs] [Tekst].— Moscow, Leningrad: ONTI, 1936.— 347 p. (rus.)

12. **Artobolevskij I.I.** Opyt strukturnogo analiza mekhanizmov [Experience of structural analysis of the mechanisms]. Dobrovol'skii V. V., Artobolevskii I. I. Struktura i klassifikatsiia mekhanizmov [Structure and classification of mechanisms] [Tekst].— Moscow, Leningrad: AS USSR Publ., 1939.— P. 49–66. (rus.)

13. **Baranov G.G.** Klassifikatsija, stroenie, kinematika i kinetostatika ploskikh mekhanizmov s parami pervogo roda [Classification, structure, kinematic and kinetostatic of mechanisms with first order pairs] [Tekst] // AS USSR Publ., Mech. Mach. Theory.— Vol. 46.— P. 15–39. (rus.)

14. **Peisach E.E.** Klassifikatsija ploskikh grupp Assura [Classification of planar Assur groups] [Tekst] // Theory of mechanisms and machines.— 2007. Vol. 5. № 1.— P. 18–29. (rus.)

15. **Kolovsky M.Z., Evgrafov A.N., Semenov Yu.A., Slousch A.V.** Advanced Theory of Mechanisms and Machines [Text].— Berlin, New York: Springer, 2000.— 396 p.

16. **Karlovskij D.A., Vishnevskij S.V., Semenova N.S.** Programma strukturnogo analiza mehanizmov [Programm for structural analysis of mechanisms] [Tekst] // Theory of mechanisms and machines.— 2005. Vol. 3, № 1.— P. 67–69. (rus.)

17. **Tereshin V.A.** Nagljadnoe predstavlenie osobykh polozhenij vsekh shestizvennykh grupp Assura [Graphic presentation of singular positions of all possible six links Assure groups] [Tekst] // Theory of mechanisms and machines.— 2003. № 2.— P. 15–16. (rus.)

18. **Kovalev M.D.** O dekompozitsii sharnirnykh skhem i geometricheskoj ustojchivosti ferm [On decomposition of hinged schemes and geometrical stability of trusses] [Tekst] // Modern engineering. Science and education / Edited by M.M.Radkevich and A.N.Evgrafov.— St.-Petersburg, St.-Petersburg Polytechnical University Press, 2013.— P. 779–787. (rus.)

19. **Dvornikov L.T.** K voprosu o klassifikatsii ploskikh grupp Assura [About the structural classification of plain

groups of Assur] [Tekst] // Theory of mechanisms and machines.— 2008. Vol. 6, № 2(12).— P. 18–25. (rus.)

20. **Dvornikov L.T., Gudimova L.N.** Zadacha o poiske mnogoobrazija vos'mizvennykh ploskikh sharnirnykh grupp Assura [Problem of synthesis of eight-link plane Assur groups with revolute joints] [Tekst] // Theory of mechanisms and machines. 2008.— Vol. 6, № 1(11). P. 15–29. (rus.)

21. **Crossley F. R.E., Seshachar N.** Analysis of the displacements of planar Assur groups by computer [Text].— World congress on T.M.M.— P. 71–82.

22. **Sun X-Q., Tang L.** Method and Realization of Computer-Aided Combination of Assur Groups in Conceptual Design of Planar Linkage Mechanisms [Text] // Reconfigurable Mechanisms and Robots.— Dai, J.S., Zoppi, M. and Kong X., Eds.— P. 123–128.

23. **Ceccarelli M.** Classifications of mechanisms over time [Text] // Proceedings of International Symposium on History of Machines and Mechanisms, HMM 2004.— Kluwer, Dordrecht.— P. 285–302.

24. **Galletti C.** On the position analysis of Assur's groups of high class [Text] // Meccanica.— № 14, Vol. 1.— P. 6–10.

25. **Bouzakis K.D., Mansour G., Mitsi S., Popescu I.** Position analysis in polynomial form of class-three Assur [Text] // Mechanisms and Machines Theory.—

2008. Vol. 43.— P. 1401–1415.

26. **Bouzakis K.D., Mansour G., Mitsi S.** Position analysis in polynomial form of planar mechanism with an Assur group of class 4 including one prismatic joint [Text] // Mechanisms and Machines Theory.— 2004. Vol. 39.— P. 237–245.

27. **Calle G., Díaz A., Hena E., Quintero H.** A novel graphical and analytical method for the kinematic analysis of fourth class Assur groups [Tekst] // Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia.— № 60.— P. 81–91.

28. **Cheng W.Y.** The position analysis of Assur kinematic chain with five links [Text] // Mechanisms and Machines Theory.— 2005. Vol. 40.— P. 1015–1029.

29. **Romaniak K.** Methodology of the Assur Groups Creation [Text] // 12th IFToMM World Congress, Besancon, France. P. 1–5.

30. **Shai O.** Topological synthesis of all 2d mechanisms through Assur graphs [Text] // Proceedings of the ASME 2010 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference IDETC/CIE 2010. Montreal, Quebec, Canada.— P. 1727–1738.

31. **Wohlhart K.** Robots Based on Assur Group A (3.5) [Text] // Advances in Robot Kinematics: Analysis and Design Editors.— 2008.— P. 165–175.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ЕВГРАФОВ Александр Николаевич — кандидат технических наук доцент заведующий кафедрой теории механизмов и машин Санкт-Петербургского государственного политехнического университета; 195251, ул. Политехническая, 29, Санкт-Петербург, Россия; e-mail: a.evgrafov@spbstu.ru

КОЗЛИКИН Денис Петрович — кандидат технических наук доцент кафедры теории механизмов и машин Санкт-Петербургского государственного политехнического университета; 195251, ул. Политехническая, 29, Санкт-Петербург, Россия; e-mail: kodenis@rambler.ru

AUTHORS

EVGRAFOV, Alexander N. — St. Petersburg State Polytechnical University; 195251, Politekhnikeskaya Str. 29, St. Petersburg, Russia; e-mail: a.evgrafov@spbstu.ru

KOZLIKIN, Denis P. — St. Petersburg State Polytechnical University; 195251, Politekhnikeskaya Str. 29, St. Petersburg, Russia; e-mail: kodenis@rambler.ru