
К СТОЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ ЛЕОНИДА ВИТАЛЬЕВИЧА КАНТОРОВИЧА

ЗАДАЧА РАЦИОНАЛЬНОГО РАСКРОЯ В РАБОТАХ Л.В. КАНТОРОВИЧА И В.А. ЗАЛГАЛЛЕРА

© 2011 г. И.В. Романовский

(Санкт-Петербург)

ВВЕДЕНИЕ

Я хочу рассказать о замечательной книге Л.В. Канторовича и В.А. Залгаллера, которая была дважды опубликована – в 1951 г. под названием “Расчет рационального раскроя промышленных материалов” (Канторович, Залгаллер, 1951), а в 1971 г. под названием “Рациональный раскрой промышленных материалов” (Канторович, Залгаллер, 1971) – вызвала огромные последствия, часто цитируется в списках литературы и... никем сейчас не читается ввиду малой доступности. Отмечу, что книга практически неизвестна за рубежом. Все это несмотря на довольно значительный тираж – 5000 экз. первого издания и 4600 второго.

Книга важна как исторический документ, фиксирующий ход первого практического применения математико-экономических идей Л.В. Канторовича, начатый с простейших моделей и доведенный до практически использованных планов раскроя. В ней хорошо показано, как, по рекомендациям Л.В. Канторовича, на реальных задачах двойственные оценки (индексы) применяются вне рамок математической модели – для принятия решений при небольших изменениях исходных данных. Книга зафиксировала использование до 1950 г. таких важных математических инструментов, как метод последовательного улучшения плана, генерирование столбцов (раскросы), применение таблиц индексов в технике, известной сейчас как “динамическое программирование”.

Готовясь к празднованию столетия со дня рождения Л.В. Канторовича, мы решили эту книгу переиздать. В.А. Залгаллер согласился с нашим предложением и принимает участие в переиздании.

В данной статье будет рассказано об истории книги, о достоинствах первого, а затем и второго издания, о развитии работ по оптимальному раскрою в СССР и в постперестроечной России, и в конце немного о плане третьего издания.

ИСТОРИЯ КНИГИ

Начнем с того, что во время войны Л.В. Канторович был на военной службе – он работал в Высшем инженерно-техническом училище, где преподавал военным строителям. В частности, он читал лекции по теории вероятностей и написал интересный учебник по этой дисциплине, изобилующий военными примерами в стиле “исследования операций”.

В это время он работал над начатой еще до войны книгой, которая называлась тогда “Экономический расчет, обеспечивающий наиболее целесообразное использование ресурсов”. В 1959 г. она была опубликована Издательством АН СССР (Канторович, 1959).

Подполковник Канторович был демобилизован из Советской армии в 1948 г. и возглавил в Ленинградском отделении Математического института АН СССР специальный Отдел приближенных вычислений, выполнявший расчеты, связанные с Атомным проектом (Атомный проект СССР, 1999).

Канторович взял в этот отдел выпускника математико-механического факультета (матмеха) Ленинградского университета В.А. Залгаллера (известного ему по литературной работе еще с

довоенных времен¹⁾ и... направил его на Вагоностроительный завод им. Егорова для практической проверки того, насколько удастся приложить экономические идеи Канторовича в реальных условиях – в раскросе материалов, используемых при изготовлении вагонов²⁾.

Для Канторовича тема раскроя была не новой. В 1942 г. он опубликовал небольшую заметку в специальном издании Наркомата (министерства) боеприпасов (Канторович, 1942), а в 1949 г. давно написанную статью об оптимальном пиленнии бревен на доски (Канторович, 1949) – возможность публикаций представилась ему в связи с получением в 1949 г. Сталинской премии³⁾.

Виктор Абрамович Залгаллер начал учиться на матмехе перед войной, всю войну провел в армии, после Победы демобилизовался, вернулся на матмех и в 1948 г. закончил его по кафедре геометрии с красным дипломом. С задачами раскроя и с довоенными работами Канторовича по линейному программированию он до этого поручения знаком не был. Да и сам этот термин Дж. Данциг еще только выбирал.

Поручение было выполнено. В.А. Залгаллер отобрал те из многообразных практических ситуаций раскроя, которые легче всего укладывались в схему Канторовича (их было достаточно много, и они были важны для производства), собрал данные и стал решать задачи оптимизации, создавая при этом методики расчетов. Попутно он занимался “научной организацией труда” раскройщиков, учил их приемам рациональной работы, совершенствовал оборудование их рабочих мест.

Найденные раскройные планы были внедрены. Они принесли заводу ощутимую экономию материалов и неожиданный выговор дирекции за срыв плана сдачи отходов. Этот опыт был также полезен. Он показал, что нелогично построенная система препятствует локальным попыткам рационального хозяйствования, даже если эти попытки ничем системе не угрожают.

Меньше чем через два года к печати была подписана книга (Канторович, Залгаллер, 1951). В ней описывались (впервые) задачи линейного программирования, к которым приводятся базовые модели массового раскроя, в терминах специальных *индексов* формулировались условия оптимальности раскроев (конечно, это были двойственные переменные, но двойственных задач Канторович не писал, в его терминологии это были *разрешающие множители*; прямая задача в форме Канторовича ставилась для задач раскроя очень удобно – как задача о максимальном выпуске комплектов деталей или, эквивалентно, как задача о минимальном использовании сырья на один комплект).

В книге рассмотрены модель одномерных заготовок с сырьем фиксированного размера, модель со случайной смесью исходных размеров, задача двумерного плоского гильотинного раскроя прямоугольников из прямоугольного сырья и некоторые задачи фигурного раскроя.

Методы расчета излагались в терминах решения систем линейных уравнений. Ничего, подобного симплекс-таблице Дж. Данцига (Данциг, 1966), у них не было и быть не могло, так что все вычисления В.А. Залгаллер проводил карандашом на бумаге. Но это обстоятельство обеспечивало вычислительную свободу, и уже тогда авторы увидели, что можно на каждой итерации вычислять наилучший раскрой для включения его в базисное решение. Говоря современным языком, это был метод генерирования столбцов с использованием для вычислений шкалы индексов, показывающей зависимость оценки сырья от его длины, того, что примерно через десять лет мы стали называть функцией Беллмана.

Авторы описали работу с двумерной шкалой индексов, также фактически с уравнением Беллмана, и привели пример расчета, выполненного вручную. Но работа со шкалой для двумерного случая была слишком громоздка для ручного счета и не рекомендовалась. В.А. Залгаллер разработал много рекомендаций по порядку проведения вычислений. С одной из них мы ознакоми-

¹⁾ Студент Залгаллер по поручению лектора Канторовича преобразовал сжатый конспект его курса в полноценную книгу, которая была издана (с указанием на эту помощь).

²⁾ Залгаллер вспоминал: “Вера Николаевна Фаддеева говорила о Леониде Витальевиче, что он чувствовал себя не в своей тарелке, если варит кашу меньше, чем в пятидесяти котлах. У него ведь систематически шли работы в самых разных направлениях” (см. (Леонид Витальевич Канторович, 2002, с. 169)).

³⁾ Тогда же была напечатана и написанная еще до войны статья с М.К. Гавуриным (Канторович, Гавурин, 1949) о транспортной задаче на сети с подробным изложением метода потенциалов.

лись особо, когда он оппонировал у нас диссертацию по программам раскроя и объяснил нам, на каких принципах нужно строить в ней начальный базисный план. Мы эти принципы немедленно включили в программу и с тех пор обязательно используем.

Очень интересен в книге раздел о круговых заготовках. Только сейчас, перечитывая книгу в связи с подготовкой к переизданию, я обратил внимание на упоминание участия в этой работе “сотрудника Кировского завода Г.Ш. Рубинштейна”⁴. Этот раздел, по-моему, был включен как дань истинной математической привязанности В.А. Залгаллера и Г.Ш. Рубинштейна – геометрии.

Книга показала способы, которыми можно совершенствовать раскрой материалов. Наряду с математическими моделями и очень простыми средствами их расчета она включала разнообразные практические рекомендации по расчету и раскрою. Например, в ней рекомендуется, казалось бы, совсем непрограммистское использование кальки при графическом решении уравнения Беллмана. Между тем аналог этому приему можно найти, например, во вполне компьютерном методе Дейкстры для нахождения кратчайших путей в графах. В первой отечественной компьютерной программе по раскрою (Булавский, Яковлева, 1961) использовался именно этот прием. Другой прием – особенности вычисления индексов при значительном преобладании нескольких заготовок программного воплощения – я еще не нашел.

При раскросе материалов смешанных длин рассматривается вопрос об экономической целесообразности заказа мерных длин⁵, даются рекомендации по организации предварительной сортировки поступающих единиц сырья и предлагается простой и эффективный сортировочный стеллаж.

Была предложена и построена специальная сменная линейка, которая градуировалась так, чтобы рабочий мог быстро принимать правильные решения по раскрою.

В книге есть несколько приложений, написанных В.А. Залгаллером. Л.В. Канторович особенно ценил Приложение I, в котором приводится доказательство существования индексов, связанных с максимально экономным планом раскроев, – на современном языке это условие оптимальности решения в данной конкретной задаче линейного программирования.

Но самым важным было широкое использование индексов, возникающих в задаче линейного программирования, при принятии внемоделных решений, то, к чему призывал Л.В. Канторович в своей книге (Канторович, 1959) (В.А. Залгаллер читал ее еще в рукописи).

ПОСЛЕ КНИГИ

Примечательно, что после эксперимента на Вагоностроительном заводе В.А. Залгаллер сохранил интерес к задачам раскроя.

По-видимому, самым важным из приложений была задача “о поставках”. Постановом называется расстановка пил при распиловке древесного ствола на доски. Как вспоминает Виктор Абрамович (Залгаллер, 2011), заняться этой задачей ему предложил также Л.В. Канторович. В результате появилась очень быстро опубликованная брошюра (Залгаллер, 1956), которая до сих пор входит в список цитируемой классики многочисленных диссертаций на по-прежнему актуальные темы распиловки древесины.

Начали появляться публикации за рубежом. Большое внимание привлекла серия статей известных американских специалистов в области оптимизации Пола Гилмора и Ральфа Э. Гомори (Gilmore, Gomory, 1961).

⁴ Рубинштейн Геннадий Шлемович (1923–2004) – соратник Л.В. Канторовича, доктор физ.-мат. наук, профессор. Особенно известны их работы по “транспортной” метрике. В 1949 г. он закончил матмех и несколько лет работал на Кировском заводе. Но интерес к задачам раскроя у него остался, и он был руководителем аспирантки Э.А. Мухачевой (1930–2011), которая в дальнейшем создала в Уфе целую школу специалистов по оптимальному раскрою.

⁵ Цитируем: “Беглое ознакомление авторов с одним проектом заказа материалов для вагоностроительного завода показало, что примерно в 50 % случаев, когда намечался заказ мерных длин, оказалось возможным с таким же или почти таким же успехом использовать материал торговых длин”.



Началось программирование раскройных алгоритмов. Здесь использовался модифицированный симплекс-метод с генерированием столбцов. Первая программа была написана В.А. Булавским и М.А. Яковлевой (Булавский, Яковлева, 1961) (в машинных кодах), она опубликована в 1961 г., но выполнена раньше. В программе моделируется упоминавшийся выше “калечный” метод вычисления шкалы индексов: строится двухсторонний цепной список скачков шкалы, и этот список корректируется с учетом начальной части, которая уже построена.

В Ленинградском государственном университете был написан целый ряд программ для решения задач линейного программирования с генерированием столбцов (см., например, (Романовский, 1969; Грибов, 1973)), среди таких генераторов наиболее важное место занимали генераторы раскроев для линейной задачи и плоской задачи с гильотинным раскроем.

В Уфимском авиационном институте ученица Г.Ш. Рубинштейна Элита Александровна Мухачева создала научную школу, занимающуюся практически всеми аспектами оптимального раскроя.

Начались исследования дискретных задач построения оптимальных раскроев. Этот круг задач оказался очень популярным в связи с изучением трудоемкости дискретных экстремальных задач. Среди тех, кто изучал их, был и автор известной книги (Гэри, 1982).

В Петрозаводске в Карельском НИИ лесной промышленности по инициативе Иосифа Васильевича Соболева развернулась работа по оптимизации распиловки древесины. Это производство было особенно важно ввиду того, что давало огромную валютную прибыль.

В области фигурных укладок и многомерных укладок большую известность приобрела харьковская школа, возглавляемая В.Л. Рвачевым (1826–2005) и Ю.Г. Стояном.

ВТОРОЕ ИЗДАНИЕ

В 1971 г. Сибирское отделение издательства “Наука” выпустило в Новосибирске второе издание книги Л.В. Канторовича и В.А. Залгаллера под немного укороченным названием – “Рациональный раскрой промышленных материалов”. Текст первого издания сохранился практически полностью. Были сделаны два добавления: в качестве четвертой главы полностью включена упоминавшаяся выше брошюра (Залгаллер, 1956) и отдельно обзор литературы по раскрою, подготовленный В.А. Залгаллером специально для этого издания. В значительной степени обзор был выполнен по данным реферативных журналов. Кроме того, В.А. Залгаллер получил несколько подробных обзоров от руководителей крупных коллективов: от Ю.Г. Стояна из Харькова, от И.В. Соболева из КарНИИЛП.

Всего в эту библиографию вошло более 800 работ на русском, а также азербайджанском, английском, болгарском, венгерском, немецком, польском, украинском, финском, французском, чешском, шведском, эстонском и японском языках. При таком изобилии языков составитель предпочел иногда давать краткие пояснения, о чем идет речь в описываемом источнике.

Издание вышло тиражом 4600 экз., очень быстро исчезло из продажи и стало, как и первое, библиографической редкостью.

ПОСЛЕ ВТОРОГО ИЗДАНИЯ

За эти 40 лет произошли всем известные фантастические изменения в технике: компьютеры с огромной памятью, быстроедействие, средствами отображения информации, электронные сети связи, проникновение электронной техники в звукозапись, фотографию, полиграфию – все это полностью изменило технический мир.

Многое изменилось и в раскрое.

Очень важной областью применения технологий раскроя является судостроение. Здесь нужно учитывать дороговизну материалов, сложность вырезаемых заготовок и дискретность заданий. С учетом всего этого еще в 1960-е годы появились новые средства раскроя, которые сразу же

стали делать автоматически управляемыми и сопрягать с компьютерами. Часто раскрой сочетается с гибкой (изгибанием) заготовок, ее также стали делать автоматически управляемой, и появились программы, управляющие этим процессом. Сейчас можно считать, что новые разработки алгоритмов могут появиться только в рамках существующих специализированных систем, в которых имеются опробованные стандарты описания деталей, банки данных и набор конкурирующих алгоритмов.

В швейной промышленности раскрой с помощью компьютеров стал нормальным делом. Большое внимание сейчас уделяется согласованию плоских выкроек и вида изделия в носке: заказчику показывают, как будет выглядеть заказываемое изделие на конкретной фигуре, причем в движении⁶.

Феноменальные изменения произошли в производстве плоского стекла. В конце 1950-х годов в Англии появился новый технологический процесс – флоат-процесс – с непрерывным производством стеклянного полотна. В технологическую цепочку этого процесса были включены компьютеры, оперативно составляющие карты раскроя, управляющие резкой стекла и его перемещением.

Изменение условий хозяйствования в связи с перестройкой стимулировало использование методов оптимального раскроя.

В книге 1971 г. много внимания уделялось оптимизации распиловки бревен. Эта проблематика тоже сохранилась и тоже изменилась. В Карельском НИИЛП работы по оптимизации распиловки бревен, на которые много ссылался В.А. Залгаллер, надолго прекратились (одной из последних была книга (Соболев, 1981)), но они ведутся в других местах, а в Карелии тоже возобновлены. В недавней диссертации (Шако, 2009) я встретил такие слова: “Первые компьютерные программы расчета поставов были разработаны под руководством к.т.н. Соболева И.В. в КарНИИЛПе. В дальнейшем под руководством проф. Калитеевского Р.Е. и проф. Алексеева А.Е. были разработаны более совершенные программы расчета поставов”.

Совсем недавно вышла книга (Калитеевский, Артеменков, Тамби, 2010), в которой подробно описывается эта проблематика с учетом возможностей российских предприятий лесопереработки. Но профессор Калитеевский сказал мне в телефонной беседе, что до реального использования управления поставами нашим предприятиям еще, к сожалению, очень далеко.

Что же касается Карелии, то прекращение работ по поставам не означало прекращения работ по раскрою. Другие задачи исследуются и решаются.

Особо хочется сказать про разрабатываемую там задачу о производстве тары из гофрированного картона. Этот картон производится на специальной машине – гофроагрегате и сразу поступает в переработку. Выходящая из машины непрерывная лента фиксированной ширины разделяется специальным ножом на две ленты, причем положение ножа можно достаточно просто в начале смены изменить. После этого поперечные ножи делят каждую из получившихся лент на прямоугольники. У каждой ленты размер прямоугольника можно задать отдельно, но тоже только в начале смены. Получившиеся таким образом прямоугольники поступают на дальнейшую обработку, которая может быть у каждого прямоугольника своя: он подвергается гильотинному раскрою, в получившихся деталях делаются просечки и сгибы (рилевка), затем детали собираются в комплекты. Разрешается компоновать в одном раскрое детали нескольких разных ящиков, но, как правило, ящики каждой смены должны в ней комплектоваться полностью. Это условие сильно затрудняет выбор сбалансированных раскроев и при неумелом выборе влечет большие отходы.

Авторы разработки (Воронин, Кузнецов, 2000) сообщили нам, что система, запущенная первоначально в 1995 г. на Архангельском ЦБК, внедрена сейчас уже на 16 предприятиях, выпускающих изделия из гофрокартона, причем возможности системы постепенно увеличиваются. Гофроагрегаты стали значительно более сложными, увеличилось число продольных ножей и

⁶ Здесь можно вспомнить, что в далеком 1956 г. Л.В. Канторович предвидел использование вычислительных машин для рисования мультфильмов, и это предвидение казалось тогда совершенно несбыточным. Но рисование мультфильмов прямо для заказчика – и сейчас еще кажется чудом.

упростились их переустановка, часть рилевочных операций может выполняться продольными ножами и т.д. Свежий обзор состояния проблемы можно найти, например, в (Сошкин, 2009).

Более сложные постановки задач, в которых выбор раскроев сочетался с использованием продукции (например, в связи с последующей транспортировкой), рассматривались в (Кузнецов, 2004).

ПЛАНИРУЕМОЕ ТРЕТЬЕ ИЗДАНИЕ

Сейчас готовится к выпуску третье издание книги, которое будет повторять второе издание с небольшими изменениями и дополнениями.

Хотелось продолжить библиографический обзор, выполненный В.А. Залгаллером для второго издания, но это оказалось и невозможным, и нецелесообразным. Во-первых, в разы вырос объем исследований, и сейчас уже можно делать обзор обзоров. Во-вторых, появились обзоры в Интернете, в том числе выполненные фирмами, работающими в конкретных областях. В качестве примеров можно назвать очерк развития флот-процесса в стекольном производстве (Tihonoff design, 2011; Pilkington PLC, 2011), информационные материалы от фирм, занимающихся раскроем в судостроении (Ритм-Судно, 2011), швейном производстве⁷ (САПР ГРАЦИЯ, 2011) и др.

По задаче укладки кругов в прямоугольник информация в Интернете (Paskomania, 2011) оказалась настолько обширной и удачной, что мы не включили в новое издание небольшую таблицу раскладок кругов из второго издания, а ограничились ссылкой.

Небольшой комментарий для третьего издания написал В.А. Залгаллер. В обзоре, составленном в основном Э.А. Мухачевой и ее учениками, будут кратко описаны основные направления развития алгоритмов поиска раскроев как в непрерывных, так и в дискретных задачах, — направления, наиболее характерные для нескольких последних десятилетий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Атомный проект СССР (1999): Документы и материалы / Под общей ред. Л.Д. Рябева. Т. II. Кн. 1. М.: Изд. МФТИ. С. 495–498.
- Булавский В.А., Яковлева М.А. (1961): О решении задач оптимального раскроя линейных материалов на электронных вычислительных машинах. В кн.: *“Линейное программирование. Труды научного сообщества о применении мат. методов и экон. исслед. в планировании”*. 1960. Т. 4. М. С. 83–87.
- Воронин А.В., Кузнецов В.А. (2000): Прикладные оптимизационные задачи в целлюлозно-бумажной промышленности. Петрозаводск: Изд-во Петрозаводского гос. ун-та.
- Грибов А.Б. (1973): Алгоритм решения задачи плоского раскроя // *Кибернетика*. № 6. С. 110–115.
- Гэри М., Джонсон Д. (1982): Вычислительные машины и трудноразрешимые задачи. М.: Мир.
- Данциг Дж. (1966): Линейное программирование, его применения и обобщения. М.: Прогресс.
- Залгаллер В.А. (2011): Воспоминания о совместной работе с Леонидом Витальевичем Канторовичем // *Экономика и мат. методы*. Т. 47. № 4.
- Залгаллер В.А. (1956): Новое в составлении поставок для распиловки бревен. Вып. 67. Л.: ЦНИИЛ “Севзаплес”.
- Калитеевский Р.Е., Артеменков А.М., Тамби А.А. (2010): Информационные технологии в лесопилении. СПб.: Профи.
- Канторович Л.В. (1942): Методы рационального раскроя металла // *Производственно-технический бюллетень НК боеприпасов СССР*. № 7–8. С. 21–29.
- Канторович Л.В., Гавурин М.К. (1949): Применение математических методов в вопросах анализа грузопотоков // *Проблемы повышения эффективности работы транспорта*. М., Л.: Изд-во АН СССР. С. 110–138.

⁷ Система ГРАЦИЯ, созданная в Институте проблем машиностроения АН Украины под руководством проф. Ю.Г. Стояна. Сейчас эта система работает на 110 предприятиях.

- Канторович Л.В., Залгаллер В.А.** (1951): Расчет рационального раскроя промышленных материалов. Л.: Лениздат.
- Канторович Л.В., Залгаллер В.А.** (1971): Рациональный раскрой промышленных материалов. Новосибирск: Наука.
- Канторович Л.В.** (1949): Подбор поставок, обеспечивающих максимальный выход пиломатериалов в заданном ассортименте // *Лесная промышленность*. № 7. С. 15–17; № 8. С. 17–19.
- Канторович Л.В.** (1959): Экономический расчет наилучшего использования ресурсов. М.: Изд-во АН СССР.
- Кузнецов В.А.** (2004): Математические модели, методы и программные комплексы оптимального раскроя и комплектации с учетом дополнительных ограничений. Автореф. дис. ... докт. техн. наук. Петрозаводск.
- Леонид Витальевич Канторович: человек и ученый (2002): В 2 т. / Редакторы-составители В.Л. Канторович, С.С. Кутателадзе, Я.И. Фет. Т. 1. Новосибирск: Изд-во СО АН РАН.
- Романовский И.В.** (1969): Решение задачи гильотинного раскроя методом переработки списка состояний // *Кибернетика*. № 1.
- Соболев И.В.** (1981): Управление производством пиломатериалов. М.: Лесная промышленность.
- Сошкин Р.В.** (2009): Задачи оптимального раскроя гофрополотна и методы их решения. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Петрозаводск.
- Шако О.И.** (2009): Раскрой бревен в гибких технологиях лесопиления. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. М.
- Gilmore P.C., Gomory R.E.** (1961, 1963): A Linear Programming Approach to the Cutting Stock Problem // *Operations research*. I – Vol. 9. № 6; II – Vol. 11. № 6.
- Tihonoff desing [Электронный ресурс] Процесс формования листового стекла на расплаве металла. Режим доступа: <http://tffd.ru/article/100-process-of-formation-of-sheet-glass-on-metal.html>, свободный. Загл. с экрана. Яз. рус. (дата обращения: май 2011 г.).
- Pilkington PLC [Электронный ресурс] Флоат-стекло. Режим доступа: <http://www.pilkington.com/europe.russia/russian/about+pilkington/technology/float/default.htm>, свободный. Загл. с экрана. Яз. рус. (дата обращения: май 2011 г.).
- РИМ-СУДНО [Электронный ресурс] Автоматизированная система Римт-Судно. Модуль РАСКРОЙ. Открытое акционерное общество “Центр технологии судостроения и судоремонта” (ранее ФГУП “ЦНИИТС”). Режим доступа: <http://www.private.peterlink.ru/poleshchuk/cad/system.htm>, свободный. Загл. с экрана. Яз. рус. (дата обращения: май 2011 г.).
- САПР ГРАЦИЯ [Электронный ресурс] История развития САПР. Режим доступа: <http://www.saprgrazia.com/history.php>, свободный. Заг. с экрана. Яз. рус. (дата обращения: май 2011 г.).
- Www.packomania.com [Электронный ресурс] ©E. Specht. Режим доступа: <http://hydra.nat.uni-magdeburg.de/packing/>, свободный. Загл. с экрана. Яз. англ. (дата обращения: май 2011 г.).

Поступила в редакцию
10.06.2011 г.