

## МЕЛЬНИКОВ Юрий Борисович

Кандидат физико-математических наук,  
заведующий кафедрой прикладной математики

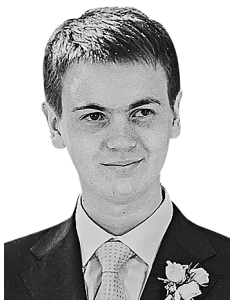
Уральский государственный экономический университет  
620144, РФ, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта/Народной Воли, 62/45  
Контактный телефон: (343) 221-27-37  
e-mail: urimelnikov58@gmail.com



## ХРИПУНОВ Игорь Вадимович

Магистрант кафедры вычислительных методов  
и уравнений математической физики

Уральский федеральный университет  
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина  
620002, РФ, г. Екатеринбург, пр. Ленина, 51  
Контактный телефон: (343) 375-48-78  
e-mail: ihripunov@gmail.com



## ЧОПОВДА Валерия Сергеевна

Магистрант кафедры вычислительных методов  
и уравнений математической физики

Уральский федеральный университет  
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина  
620002, РФ, г. Екатеринбург, пр. Ленина, 51  
Контактный телефон: (343) 375-48-78  
e-mail: valerie.chopovda@gmail.com



## Алгебраический подход к стратегиям проектной деятельности

**Ключевые слова:** стратегия; управление деятельностью; алгебраический подход; проектная деятельность.

Представлено применение алгебраического подхода к проектной деятельности, состоящего в выделении: 1) системы базовых стратегий проектной деятельности; 2) системы типовых преобразований стратегий и типовых способов их комбинирования; 3) механизма аппроксимирования, приближенного представления определенного вида деятельности в виде типовых преобразований и комбинаций базовых стратегий. Выделена система базовых стратегий проектной деятельности и показано, что рутинная проектная деятельность может быть представлена в виде применения этих базовых стратегий.

Управление деятельностью осуществляется с помощью моделирования. Уровень абстрактности современных математических теорий таков, что математические модели никогда не описывают непосредственно «реальные объекты», а представляют модели различных предметных областей, т. е. физические, экономические, наглядно-геометрические и др. (рис. 1).



Рис. 1. Общая схема моделирования

Поэтому преобразование «предметной модели» в математическую можно рассматривать как «предматематическую» деятельность, а механизм этого преобразования называть «предматематикой».

Анализ показывает, что оценка адекватности модели всегда производится с помощью сравнения построенной модели с некоторой эталонной. Эталонная модель может совпадать с прообразом (прототипом, моделируемым объектом), но это встречается не так часто, как кажется на первый взгляд. В рамках одного исследования может рассматриваться несколько разных характеристик адекватности и соответственно несколько эталонных моделей (рис. 2).

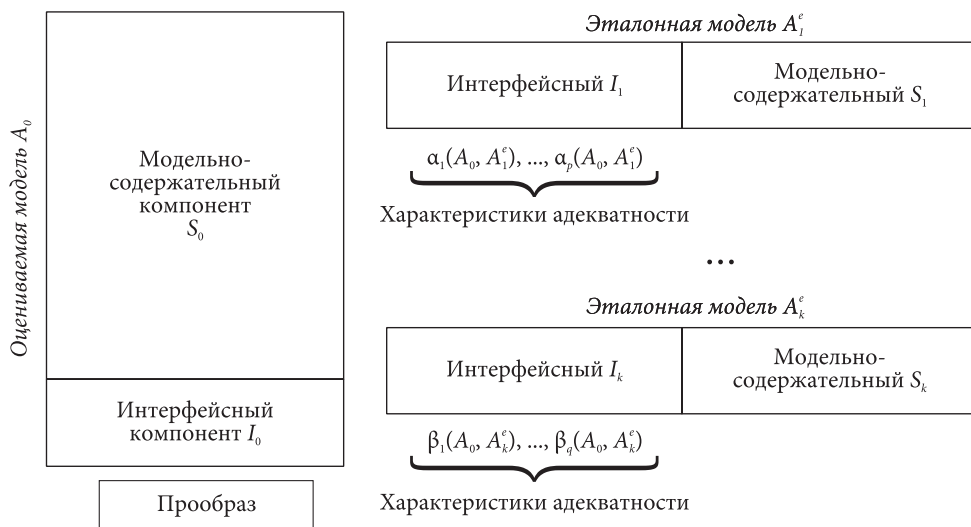


Рис. 2. Иллюстрация к понятию «адекватность модели»

Если эталонная модель и характеристика адекватности предназначена для оценивания выполнения формальных правил, т. е. правил грамматического характера, то такую характеристику адекватности мы будем называть *характеристикой корректности*. Если же эталонная модель и характеристика адекватности предназначена для оценивания «точности предсказаний» (например, близости соответствующих значений характеристик оцениваемой и эталонной моделей), мы будем называть ее *характеристикой достоверности*. Например, обычно школьные сочинения учащихся оцениваются двойной отметкой: оценкой содержания и оценкой грамотности (соблюдения правил пунктуации, орфографии и др.). Первая из этих оценок (за содержание) является характеристикой достоверности (насколько точно передана информация), а вторая (оценка грамотности) – характеристикой корректности. Действительно, наличие или отсутствие запятой перед союзом «что» обычно не связано с информацией, изложенной в предложении. Требование ставить в этом случае запятую является формальным, диктуемым грамматическими правилами. А вот запятая в знаменитой фразе «казнить нельзя помиловать» несет смысловую нагрузку и меняет содержание, смысл этого высказывания. Неверно поставленная запятая в этом случае должна быть расценена как ошибка в содержании, а не как грамматическая ошибка, т. е. не как некорректность, а как недостоверность.

В процессе деятельности роли эталонной и оцениваемой моделей могут неоднократно меняться. Проект, с одной стороны, можно рассматривать как эталонную модель для создаваемого объекта, а с другой стороны, как модель требуемого (создаваемого) объекта, для которой эталонная модель представлена техническим заданием.

При этом после реализации проекта, например в результате создания опытного образца, во время испытаний, в качестве эталонной модели рассматривается и проект, и техническое задание. Это справедливо и по отношению к проектам создания не только материальных, но и идеальных объектов. Закон сохранения энергии на этапе проверки гипотезы рассматривался как оцениваемая модель, но после достаточно большого числа подтверждений стал считаться общепринятым и уже выступает в качестве эталонной модели при оценке адекватности результатов исследований.

Построение эталонной модели является важнейшим этапом оценивания адекватности. В качестве аппарата для создания эталонных моделей в виде плана деятельности и проекта мы предлагаем рассматривать *стратегии* [1]. Отметим необходимость различать стратегию и ее реализацию (табл. 1).

Таблица 1

**Стратегия и реализация стратегии**

Стратегия	Реализация стратегии	План, проект	Выполнение плана, проекта
Механизм создания эталонной модели	Использование стратегии	Эталонная модель, результат применения стратегии	Деятельность, для которой план или проект является эталонной моделью

Стратегия включает в себя систему типовых целей, типовых планов их достижения, доступных ресурсов и механизм оценивания адекватности моделей. Пункты плана исполнитель может воспринимать либо как ссылку на конкретный алгоритм, либо как цель, способ достижения которой не конкретизирован. Более общо можно сказать, что стратегии и планы (как типовые планы, входящие в состав стратегии, так и результаты применения стратегии) можно трактовать как компоненты системы управления деятельностью, среди которых могут быть выделены *механизмы преимущественно прямого действия* (основанные на алгоритмах) и *механизмы преимущественно косвенного действия*, представленные целями и разнообразными ограничениями. С этой позиции реализация стратегии для создания плана представляется постепенным преобразованием плана к виду, когда все его пункты воспринимаются исполнителем как ссылки на известные ему алгоритмы.

Описание сложных стратегий (например [1], в виде компонентной или иерархической моделей) может оказаться чрезмерно громоздким для практического использования. Для решения возникшей проблемы мы предлагаем применить *алгебраический подход* [2]: 1) сформировать систему базовых стратегий; 2) выделить типовые преобразования и способы комбинирования стратегий; 3) создать механизм аппроксимирования, представления требуемой стратегии в виде результата типовых преобразований и комбинации базовых стратегий. Показано, что стратегия рутинной исследовательской деятельности представима в виде комбинации семи базовых стратегий: стратегии приоритетного изучения «экстремальных» ситуаций, стратегии поиска аналогии и др. [2]. Проектная деятельность отличается от исследовательской характером эталонной модели и предназначением характеристик адекватности: для исследовательской деятельности ведущими являются характеристики корректности, а для проектной – характеристики достоверности.

В данной работе рассмотрим случай выполнения «рутинной проектной деятельности», т. е. деятельности, в которой не применяется инсайт. Здесь под инсайтом мы будем понимать, во-первых, создание модели на основе неизвестных ранее явлений, закономерностей, принципов, во-вторых, использование известных закономерностей с помощью способа, не применявшегося ранее в данной области деятельности, в-третьих, установление нетрадиционных аналогий. Таким образом, *отсутствие инсайта*

означает, что объект создается с помощью традиционных аналогий с известными объектами (моделями) или путем типового комбинирования известных объектов (моделей). Система базовых стратегий проектной деятельности представлена в табл. 2.

Таблица 2

**Система базовых стратегий проектирования**

Группа стратегий	Стратегия
Стратегии адаптации известной модели	Обогащения, редуцирования, абстрагирования или конкретизации модели
	Смены ролей и приоритетов
	Комбинирования моделей
Стратегии построения новой модели	Поиска и использования аналогии
	Перехода от проектирования из отдельных деталей к использованию узлов и агрегатов
	Построения модели с носителем из характеристик, отношений или составляющих интерфейсного компонента [2] некоторой модели
Стратегии построения и использования моделей адекватности	Предвкушения
	Приоритетного анализа «экстремальных» ситуаций
	Выявления и использования ограничений

В качестве типовых преобразований и комбинирования стратегий рассмотрим их последовательное применение, во-первых, для построения модели элемента создаваемого объекта (например, замена пункта плана, воспринимаемая исполнителем как цель, на план достижения этой цели, или замена «черного ящика» на конкретное устройство, представленное чертежом, техническим описанием и т. п.), во-вторых, для свертывания системы элементов в отдельный объект (например, выделение повторяющейся части программного кода в подпрограмму).

Механизм аппроксимирования, реализации стратегии в виде последовательного применения базовых стратегий основан на учете условий, при выполнении которых применение этой стратегии является наиболее перспективным, т. е. на каждом этапе построения требуемого объекта выбирается та базовая стратегия *S*, для которой на этом этапе выполняются условия наибольшей перспективности.

*Стратегия обогащения, редуцирования, абстрагирования или конкретизации* модели может быть успешно применена, если уже имеется модель с достаточно высоким уровнем адекватности, в которой надо изменить носитель, характеристики и отношения таким образом, чтобы обеспечить ее адекватность относительно другой эталонной модели или других характеристик адекватности.

Применение *стратегии смены ролей и приоритетов* перспективно в случае, когда имеется достаточно адекватная модель для решения двойственной задачи (выделение такой задачи представляет собой отдельную проблему) и имеется шанс построения требуемого объекта в виде модели с тем же носителем и характеристиками и отношениями, индуцированными характеристиками и отношениями исходной модели. Например, такая ситуация складывается при решении уравнения

$$x^4 - 2x^3 - 2(a + 2)x^2 + 2(a + 4)x - 4a + a^2 = 0.$$

Отыскание таких значений переменной *x*, при которых выполняется это равенство, можно рассматривать как процесс проектирования, поскольку оценка адекватности представляет собой оценку достоверности (например, при приближенных вычислениях в качестве оценки адекватности нередко выступает отклонение от нуля значения левой части этого равенства при данном числовом значении переменных). Данное уравнение относительно переменной *x* является алгебраическим уравнением четвертой

степени, формулы для решения которого учащимся средних учебных заведений, как правило, неизвестны. Поиск корней упрощается после смены ролей переменных, т. е. если переменную  $a$  теперь считать неизвестной, а переменную  $x$  – параметром. В этом случае уравнение имеет порядок 2, применение формулы для корней квадратного уравнения приводит к появлению двух уравнений порядка 2 относительно переменной  $x$ .

Выбор *стратегии комбинирования моделей* может привести к необходимым результатам в случае, когда исполнителю уже известно достаточное число моделей, описывающих различные аспекты создаваемого объекта, причем эти аспекты описывают создаваемый объект с достаточной полнотой, т. е., используя эти модели, можно создать модель требуемого уровня адекватности. Примером реализации этой стратегии является проектирование советских самоходных артиллерийских установок во время Великой Отечественной войны 1941–1945 гг., представлявших собой, как правило, установку качающейся части серийных артиллерийских орудий на шасси серийных танков, сопровождающуюся минимальными изменениями обеих конструкций. Другим примером является создание векторного анализа. В качестве эталонной модели можно рассматривать совокупность формул векторной алгебры и математического анализа. Характеристики адекватности в данном случае предназначены для измерения количества и важности формул векторной алгебры и математического анализа, которые остаются истинными для скалярных и векторных полей, а также для измерения уровня отличий формул, которые не переносятся дословно, от их прототипов.

Успешность применения *стратегии поиска и использования аналогии* определяется количеством и качеством моделей, известных исполнителю, уровнем его умения осуществлять сравнение, абстрагирование и конкретизацию. Например, изучение теории несобственных интегралов можно организовать как результат применения стратегии поиска и использования аналогии, где в качестве объекта аналогии выбирается теория рядов.

*Стратегия перехода от проектирования из отдельных деталей к использованию узлов и агрегатов* эффективна в ситуации, когда требуемый объект может быть представлен совокупностью элементов, представляющих собой модели, известные исполнителю. Например, для автомобилей и телевизоров постепенно осуществлялся переход от проектирования их из отдельных деталей к использованию агрегатов и узлов. В алгебре примером успешного применения этой стратегии является переход от изучения алгебраической системы к исследованию фактор-системы, а также переход от изучения алгебры векторов линейного пространства к исследованию алгебры подпространств этого линейного пространства.

*Стратегия построения модели с носителем из характеристик, отношений или составляющих интерфейсного [2] компонента некоторых моделей* может быть успешной, например, в ситуации, когда проектирование осуществляется с помощью обобщения и абстрагирования от особенностей конкретных моделей. Примером является отделение субъекта деятельности от выполняемых им функций. При этом возможно, что одно и то же лицо выполняет несколько функций и в то же время в выполнении некоторой функции (некоторой обязанности) может участвовать несколько лиц.

Применение *стратегии предвкушения* состоит в том, что исполнитель представляет себе ситуацию, когда цель деятельности уже достигнута, и на основе анализа этой ситуации, т. е. построения и обогащения ее модели, пытается представить себе процесс преобразования исходной ситуации, который приведет к требуемому результату. Результативность применения стратегии предвкушения определяется тем, насколько адекватной является эталонная модель функционирования создаваемого объекта, насколько адекватна гипотеза и т. п.

*Стратегия приоритетного анализа «экстремальных» ситуаций* обычно применяется в условиях дефицита информации: недостаточности готовых технических решений, бедного понятийного аппарата, слабой изученности свойств объектов и т. д.

Применение *стратегии выявления и использования ограничений* может быть перспективным в условиях, когда имеются сомнения в том, насколько полной является существующая система оценок адекватности, в частности, насколько правильно выбраны эталонные модели, а также в том случае, когда можно рассчитывать, что в результате применения этой стратегии сложатся условия для применения стратегии предвкусения или построения новой модели. В проектном задании нередко характеристики адекватности и конкретные способы измерения их значений определяются не вполне корректно. В этом случае у разработчика проекта появляется возможность улучшить адекватность создаваемой модели за счет совершенствования процедуры оценивания адекватности, выявления дополнительных ограничений. С одной стороны, это может быть использовано недобросовестным исполнителем проекта для того, чтобы защитить неудачный (например, «сырой») проект. С другой стороны, известно большое число случаев, когда процедура улучшения измерения адекватности моделей приводила к появлению успешных проектов.

Мы покажем, что система стратегий, приведенная в табл. 2, является полной при выполнении следующих условий, которые мы назовем постулатами проектной деятельности, не требующей инсайта.

*Постулат цели проектной деятельности.* Целью проектной деятельности является создание модели, обладающей достаточным уровнем достоверности относительно следующих эталонных моделей: а) предметных моделей, представленных в техническом задании; б) моделей, представленных ресурсными ограничениями (экономическими, временными, технологическими, допустимым уровнем риска и др.).

*Постулат полимодельности.* Всякий рассматриваемый объект: 1) является моделью, компонентой или элементом какой-либо компоненты некоторой модели; 2) может быть описан совокупностью моделей, в том числе существенно различных, но обладающих определенным, заранее оговоренным уровнем адекватности.

*Постулат алгебраичности.* Описание объекта, представленное в типовой, стандартной форме для деятельности в данной области, носит алгебраический характер, т. е. сводится к представлению его с помощью набора типовых базовых объектов (моделей) и системы типовых преобразований объектов.

*Постулат характеристичности.* Всякий класс объектов одной природы определяется набором отличительных характеристик и диапазоном предельных значений этих характеристик.

*Постулат динамики целей.* В процессе проектной деятельности возможны следующие изменения системы целей: 1) появление новых целей; 2) изменение отношений между целями (например, смена приоритетов или порядка достижения целей); 3) замена цели на план ее достижения; 4) замена цели на результат ее достижения.

Мы будем считать, что любое изменение проектного задания означает переход к другому проекту.

*Постулат направленности проектной деятельности.* Ведущими факторами проектной деятельности являются: 1) динамически изменяемая система целей; 2) ресурсные ограничения (доступные технологии и другие виды ресурсов). Отметим, что основные цели формируются до начала проектной деятельности, на этапе разработки технического задания.

*Утверждение 1.* Если стратегия  $S$  используется для планирования процесса проектирования, причем применяется без использования инсайта и в условиях выполнения постулата цели проектной деятельности, постулата полимодельности, постулатов алгебраичности, характеристичности, динамики целей и постулата направленности проектной деятельности, то реализация стратегии  $S$  может быть представлена в виде комбинирования трех базовых стратегий: 1) стратегии адаптации известной модели; 2) стратегии построения новой модели; 3) стратегии построения и использования

модели адекватности. В свою очередь реализация этих базовых стратегий может быть представлена в виде комбинации следующих стратегий: а) смены ролей и приоритетов; б) обогащения, редуцирования и конкретизации моделей и абстрагирования от некоторых их особенностей; в) комбинирования объектов; г) перехода от проектирования из отдельных деталей к использованию узлов и агрегатов; д) поиска и использования аналогии; е) построения модели с носителем из характеристик, отношений или составляющих интерфейсного компонента; ж) приоритетного анализа «экстремальных» ситуаций; з) предвкусения; и) выявления и использования ограничений.

Согласно постулату цели проектной деятельности целью проекта является создание модели с уровнем адекватности, достаточно высоким относительно заданных заранее эталонных моделей и значений характеристик достоверности. Следовательно, эта деятельность связана с двумя процессами: 1) созданием модели и 2) оценением адекватности.

*Процесс создания модели* сводится либо к созданию принципиально новой модели, либо к корректировке известных моделей, их адаптации к новым условиям. Таким образом, достижение основной цели возможно только с помощью стратегии адаптации модели либо стратегии создания новой модели. Отсутствие инсайта означает, что даже создание новой модели  $A$  опирается на уже существующие, известные модели. Формирование требуемой модели  $A$  сводится (быть может, в несколько этапов) либо к комбинированию нескольких известных моделей (реализуется стратегия комбинирования моделей), либо к преобразованию некоторой модели  $B$ , либо к построению  $A$  аналогии с  $B$ . Построение модели начинается с построения носителя (интерфейсный компонент формируется во многом «автоматически»). Элементы носителя новой модели  $A$  создаются либо с помощью носителя выбранной известной модели  $B$ , либо с помощью остальных компонентов модели  $B$ .

Если носитель создаваемой модели  $A$  является подмножеством носителя модели  $B$ , то модель  $A$  мы рассматриваем как результат адаптации модели  $B$  к новым условиям, и она отличается либо добавлением новых характеристик, отношений и элементов ее интерфейсного компонента (применяется стратегия обогащения, редуцирования, абстрагирования или конкретизации модели), либо заменой некоторых характеристик, отношений и элементов интерфейсного компонента.

Если же носитель создаваемой модели  $A$  формируется из носителя модели  $B$ , причем он не является его подмножеством (иначе применялась бы стратегия адаптации известной модели), то элементами носителя модели  $A$  будут упорядоченные или неупорядоченные подмножества носителя модели  $B$ . Стратегию, применяемую при этом для построения носителя, характеристик и отношений  $A$ , мы назвали стратегией перехода от проектирования из отдельных деталей к использованию узлов и агрегатов. Стратегию, применяемую для построения модели  $A$  с носителем из остальных компонентов модели  $B$ , мы назвали стратегией построения модели с носителем из характеристик, отношений или составляющих интерфейсного компонента модели  $B$ .

Наконец, в случае, когда моделей, описывающих разные аспекты создаваемого объекта, недостаточно для получения модели с помощью описанных выше процедур, остается только применение стратегии поиска и использования аналогии.

*Оценка адекватности модели*, согласно постулату цели проектной деятельности, является неотъемлемой чертой проектирования. В первую очередь для этого надо построить систему эталонных моделей и систему характеристик адекватности, систему отношений между ними (например, выстроить иерархию эталонных моделей и характеристик адекватности по уровню их значимости на разных этапах проектирования, хронологическому порядку применения, отнесению к определенному типу и др.). Таким образом, следует для каждого этапа проектирования строить *модель адекватности*, носителем которой являются рассматриваемые модели, определить систему

характеристик (например, характеристики адекватности, комплексные оценки моделей – сложность, практическая реализуемость и др.) и систему отношений (отнесение модели к одному из типов – оцениваемая или эталонная, сравнение моделей по разным критериям и др.). В процессе их создания естественным образом будет сформирован интерфейсный компонент модели адекватности. Аппарат, предназначенный для создания такой модели адекватности, мы называем стратегией построения моделей адекватности.

Построение модели адекватности начинается с построения модели желаемого результата деятельности, анализа и обогащения этой модели. Нередко результат этой деятельности оформляется в виде проектного задания. На следующем этапе определяют целесообразные способы измерения отклонения реальных результатов деятельности от задуманных ранее и критерии достижения требуемого результата. Эту деятельность естественно трактовать как применение стратегии предвкушения.

Процесс оценивания адекватности обычно осложняется невозможностью провести всеобъемлющий, полный контроль, поскольку иногда такое измерение сопровождается разрушением объекта (например, при определении предела прочности) или требуется измерить значения некоторой величины в бесконечно большом числе точек и т. д. Поэтому оценивание адекватности модели начинается с анализа «подозрительных ситуаций», в частности, таких, для которых получение удовлетворительных значений характеристики адекватности гарантирует, что и во всех других ситуациях эти значения тоже будут удовлетворять заданным критериям. Аппарат выявления и анализа таких ситуаций мы назвали стратегией приоритетного анализа «экстремальных» ситуаций.

Однако даже тот факт, что все значения характеристик адекватности удовлетворяют заданным критериям, не гарантирует полного достижения цели. Дело в том, что априорные эталонные модели, созданные в результате применения стратегии предвкушения, и соответствующие характеристики адекватности, в свою очередь, могут быть не вполне адекватными. Именно этим диктуется необходимость натуральных испытаний опытного образца, принятая в технике, пробная эксплуатация программного обеспечения с целью оценки удобства, отсутствия сбоев и др. Нередко при этом выявляются не учтенные ранее требования и другие ограничения. Иногда неполнота отражения свойств исходного объекта в его математической модели не позволяет решить задачу. Например, невозможно однозначно решить уравнение  $x + y = 3$ , если при постановке задачи не было учтено, что величины  $x$  и  $y$  являются натуральными числами и  $x < y$ . Инструмент для осуществления соответствующей деятельности мы назвали стратегией выявления и использования ограничений.

Таким образом, мы обосновали истинность утверждения 1.

*Выводы.* Деятельность проектного характера играет важную роль в управлении. Полученный результат – утверждение 1 – позволяет, в перспективе, выделить компетенции в области реализации и построения стратегий, в частности компонентов проектной деятельности, выделить новые направления развития аппарата для измерения уровня сформированности соответствующих компетенций, что важно для подбора персонала и совершенствования системы профессионального и карьерного роста сотрудников. В образовании утверждение 1 позволяет организовать обучение, например математике, таким образом, чтобы способствовать формированию умения реализовать стратегии, подобно тому, как это позволяет делать [3] аналогичный результат систем базовых исследовательских стратегий [2]. Например, из изоморфности процесса реализации стратегии и процесса поиска доказательства [4] следует губительность отказа от изучения доказательного аппарата математики для процесса формирования умения применять стратегии.



**Источники**

1. Мельников Ю. Б., Поторочина К. С., Ткаленко Н. В. Стратегия как механизм планирования при обучении математике // Изв. Рос. гос. пед. ун-та им. А. И. Герцена. 2008. №9(48): Естественные и точные науки (физика, химия, современная техника и технология, естествознание, методика преподавания естественных и точных наук, математика).
2. Мельников Ю. Б., Поторочина К. С. Алгебраический подход к математическому моделированию и обучению математической и «предматематической» деятельности // Ярослав. пед. вестн. 2010. №3: Физико-математические и естественные науки.
3. Мельников Ю. Б. Алгебра и теория чисел. 4-е изд., испр. и доп. Екатеринбург : Изд-во УрГЭУ, 2010. Режим доступа: <http://lib.usue.ru/resource/free/12/MelnikovAlgebra4/index.html>.
4. Мельников Ю. Б. Математические модели реализации стратегии // Тр. IX Междунар. Колмогоровских чтений. Ярославль : Изд-во ЯГПУ, 2011.