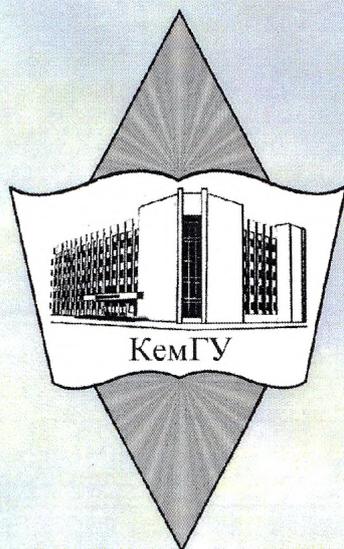


ВЕСТНИК

**КЕМЕРОВСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИВЕРСИТЕТА**



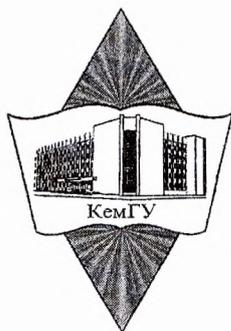
Выпуск 2 (38)

**OF KEMEROVO
STATE UNIVERSITY**

Issue 2 (38)

**КЕМЕРОВО
2009**

BULLETIN



СОДЕРЖАНИЕ

Редакционная коллегия:

Невзоров Б. П., д-р пед. наук, профессор,
академик МАН ВШ (главный редактор);
Рябова М. И., канд. хим. наук, ст. науч. сотр.
(ответственный секретарь).

Члены редколлегии:

А. А. Араева, д-р филол. наук, профессор;
К. Е. Афанасьев, д-р физ.-мат. наук, профессор;
В. В. Бобров, д-р ист. наук, профессор;
Н. Н. Данилов, д-р физ.-мат. наук, профессор;
В. В. Желтов, д-р филос. наук, профессор;
Э. М. Казин, д-р биол. наук, профессор;
Н. Э. Касаткина, д-р пед. наук, профессор;
Б. П. Невзоров, д-р пед. наук, профессор;
Е. А. Пименов, д-р филол. наук, профессор;
И. П. Поварич, д-р экон. наук, профессор;
А. С. Поплавной, д-р физ.-мат. наук, профессор;
М. И. Рябова, канд. хим. наук, доцент;
Б. А. Сечкарёв, д-р хим. наук, профессор;
В. П. Щенников, д-р филос. наук, профессор;
Н. А. Юркевич, канд. юрид. наук, доцент;
М. С. Яницкий, д-р. психол. наук, профессор.

Ответственные за выпуск:

Б. П. Невзоров, д-р пед. наук, профессор,
первый проректор КемГУ;
М. И. Рябова, канд. хим. наук, зав. отделом
аспирантуры и докторантуры КемГУ.

Редактор выпуска – З. А. Кунашева.
Компьютерная верстка – В. А. Шерина.

ИНФОРМАТИКА

- Андреев Н. Е.* Обзор методов автоматизированной оценки эффективности выполнения параллельных программ 5
Афанасьев К. Е., Власенко А. Ю. Семантические ошибки в параллельных программах для систем с распределенной памятью и методы их обнаружения современными средствами отладки 13

МАТЕМАТИКА

- Андреев А. Н., Тайлакова Е. В.* Численное исследование низших собственных частот слоистой композитной цилиндрической оболочки, нагруженной осесимметричным внешним давлением 21
Афанасьев К. Е., Рейн Т. С., Карабцев С. Н. Метод естественных соседей для решения задач вязкой и идеальной несжимаемой жидкости 25
Гейдаров Н. А., Захаров Ю. Н. О треугольных методах решения систем линейных и нелинейных уравнений с вариационной оптимизацией параметров 34
Данилов Н. Н. Представление динамической матричной игры в форме задачи конфликтного управления 39
Трофимов С. Н. Анализ помех отражения в неоднородных многопроводных линиях передачи 42
Чернова Е. С. Вычисление оптимальной траектории в модели устойчивого развития региона, построенной в форме модифицированной глобальной модели «Мир-3» ... 48

ПСИХОЛОГИЯ

- Смагина С. С.* Образ семьи в структуре субъективного опыта дошкольников 52
Сухих А. В. Факторы развития ответственного поведения студентов университета 59

ФИЗКУЛЬТУРА И СПОРТ

- Калинин В. М.* Вопросы здоровья человека и его связь с двигательной активностью 62

ФИЛОЛОГИЯ

- Евпак Е. В.* Панорама культурной жизни русских эмигрантов (актуализация исторического опыта) 66

**Журнал теоретических
и прикладных исследований**

Печатается по решению научно-методического и редакционно-издательского советов ГОУ ВПО «Кемеровский государственный университет». Выходит 1 раз в квартал.

Ни одна из частей журнала либо издание в целом не могут быть перепечатаны без письменного разрешения авторов или издателя.

Адрес редакции: 650043, ул. Красная 6, к. 213, редакция журнала «Вестник Кемеровского государственного университета».
Телефон: (3842)58-13-01,
факс (3842)58-38-85,
E-mail: nevzorov@kemsu.ru

Журнал зарегистрирован в Сибирском окружном межрегиональном территориальном управлении Министерства РФ по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций.

Регистрационный номер ПИ 12-2098

Со второго полугодия 2004 г. на «Вестник КемГУ» открыта подписка. Подписной индекс 51944, 42150.

ISBN 978-5-8353-0965-8
© ГОУ ВПО «Кемеровский государственный университет», 2009.

Подписано к печати 20.11.2009 г.
Формат А4.
Печать офсетная.
Усл. печ. л. – 13,75.
Уч.-изд. л. – 11,06.
Тираж 500 экз.
Заказ № 471/Н
Отпечатано в типографии
Томского государственного
педагогического университета.
634041, Томск, ул. Герцена, 49.
Тел.: (3822) 52-12-93.

<i>Зырянова Е. Г.</i> Частная записка в школьном дискурсе	70
<i>Плаксина Н. Ю.</i> Маргинальные страницы тетрадей в жанроведческом аспекте	75
<i>Кишина Е. В., Спицына В. А.</i> Ценностный уровень концептов «жизнь», «смерть» в рок-текстах	80

ФИЛОСОФИЯ

<i>Красиков В. И.</i> Философы в четырех волнах русской эмиграции в Америке: траектории жизненных судеб	85
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

ХИМИЯ

<i>Подлегаева Л. Н., Руссаков Д. М., Созинов С. А., Морозова Т. В., Швайко И. Л., Звиденцова Н. С., Колесников Л. В.</i> Исследование свойств наночастиц серебра, полученных восстановлением из растворов и термическим напылением в вакууме	91
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

ЭКОНОМИКА

<i>Старикова Л. Н.</i> Оценка дебиторской задолженности МУП ЖКХ в процессе конкурсного производства	96
<i>Чекменёв А. В., Чекменёва Т. Д.</i> Задача оптимизации затрат на ресурсы производства с ограничением в виде производственной функции	104

<i>Авторы выпуска</i>	107
-----------------------------	-----

<i>Правила оформления статей в «Вестник КемГУ»</i>	108
----------------------------------------------------------	-----

<i>Подписка на «Вестник КемГУ»</i>	109
------------------------------------------	-----

ИНФОРМАТИКА

УДК 004.051

**ОБЗОР МЕТОДОВ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОЦЕНКИ
ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ****Н. Е. Андреев**

Согласно отчету Межведомственной комиссии по развитию сверхмощных вычислений США, эффективность современных параллельных систем находится ниже отметки в 10 %. Для того, чтобы добиться приемлемой эффективности, разработчики пользуются инструментами поиска и устранения проблем производительности. Большая часть таких инструментов полагаются на пользователя при анализе и интерпретации данных, но есть ряд систем позволяющих в той или иной мере автоматизировать этот процесс и снизить нагрузку на пользователя. В статье приведен краткий обзор таких инструментов и методов.

According to the report of the USA High-end computing revitalization task force (HECRTF) sustained performance of contemporary parallel machines is less than 10 %. To gain acceptable parallel performance programmers often use performance analysis instruments. Most of them entirely rely on developer in finding parallel performance problems but some automate this process more or less. This paper is dedicated to such kind of instruments.

Ключевые слова: параллельное программирование, трассировка, оценка производительности, эффективность, автоматизация, оптимизация.

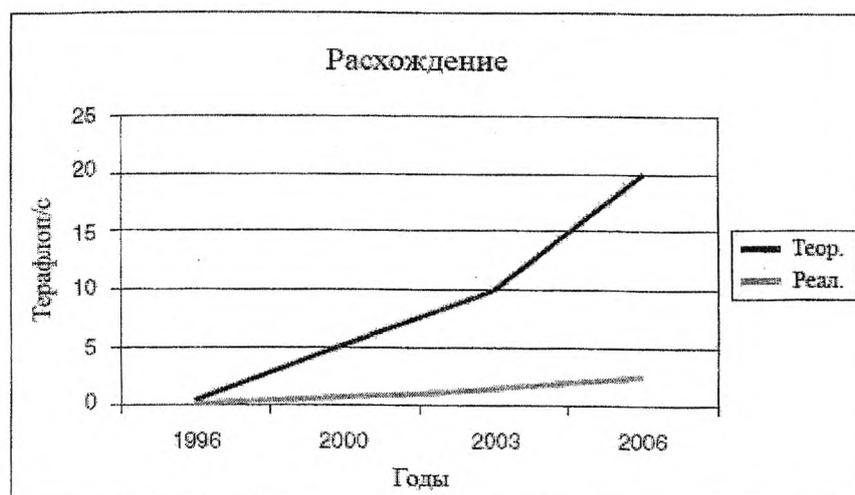
Введение

Компьютер – пожалуй, самая сложная машина, созданная когда-либо человеком, а параллельный компьютер, в свою очередь, – самая сложная компьютерная система. Она была создана для поддержки одновременных вычислений, но, несмотря на то, что одновременные события явление обычное для окружающего нас мира, запрограммировать одновременно на компьютере не просто даже для простых, на первый взгляд, задач. Главное преимущество параллельных систем заключается в поддержке одновременного выполнения параллельных операций с целью достижения высокой производительности. Получение высокой эффективности в процессе выполнения программы еще более усложняет использование параллельных систем. Согласно отчету Межведомственной комиссии по развитию сверхмощных вычислений США, эффективность современных параллельных систем находится ниже отметки в 10 % [1]. Рынок сверхмощных вычислений просто не настолько велик, чтобы отвлечь внимание компьютерной индустрии от более крупных и более прибыльных секторов электронной коммерции и бизнес-расчетов. Продажи в сфере высокопроизводительных вычислений составляют примерно 1 миллиард долларов, тогда как на рынке серверов – более 50 миллиардов. Так как индустрия сосредоточена на доходном серверном рынке, предложения в области высокопроизводительных вычислений представляют собой совокупность большого количества процессоров, разработанных для более мелких систем. Такие массивные мультипроцессорные системы исключительно сложны в программировании и достижении высокого уровня производительности для определенного класса приложений. Рис. 1 иллюстрирует постоянно растущее несоответствие между теоретической пиковой производительностью суперкомпьютеров и производительностью на реальных приложениях. На рис. 1

представлены результаты теста, разработанного в Национальном исследовательском центре научных расчетов в области энергетики (NERSC), который расположен в Национальной лаборатории Лоуренса в Беркли, специально для оценки производительности приложений, использующихся в центре. Постоянные технологические улучшения микропроцессоров, подталкиваемые законом Мура, приводят к резкому росту верхней кривой теоретической пиковой производительности. Тем не менее в результате мы получаем все менее сбалансированные мультипроцессоры, в которых с каждым годом растет дисбаланс между скоростью процессоров и пропускной способностью памяти. Этот дисбаланс приводит к низкому росту кривой производительности на реальных приложениях.

В условиях резкой нехватки производительности программистам необходимы инструменты анализа эффективности и оптимизации программ. Разработка и реализация таких инструментов для параллельных компьютеров очень сложна ввиду как архитектурной, так и эксплуатационной сложности таких систем. Общие требования к таким программам следующие:

- скрывать модель системы и брать на себя низкоуровневые операции по управлению системой, чтобы упростить процесс оптимизации программы;
- быть чувствительными к ограничениям, накладываемым задачей, на объем получаемой информации о системе;
- извлекать важные для анализа метрики системы;
- учитывать возможные возмущения системы, возникающие при оснащении (добавлении меток, снимающих метрики производительности) программы или искажении результатов моделирования, возникающие ввиду той или иной степени абстракции от физической системы.



Теор.: теоретическая пиковая производительность

Реал.: производительность на реальных приложениях

Рис. 1. Расхождение теоретической и реальной производительности

Полезность инструментального средства определяется точностью моделирования системы, на которой оно базируется. Ввиду сложности параллельных платформ, это знание достаточно сложно извлечь. Возможно, самый важный аспект инструмента – это способность к разрешению проблем производительности. Он может оказать неоценимую помощь в нахождении и устранении проблем параллельных программ, если он поддерживает возможность мониторинга состояний программы и системы, но такие инструменты могут сами влиять на систему в процессе измерений, необходимых для последующего анализа. В худшем случае возмущение поведения системы может достигать такого уровня, когда наблюдения будут ненадежны, а модели, в которых эти данные используются, приведут к неправильным выводам.

Инструменты анализа производительности

Анализ производительности – ключевой аспект, на который следует обращать внимание при разработке инструментов данного класса. То, как инструмент способен анализировать приложение, играет важную роль при его признании. В идеале такая программа должна не только показывать данные в интуитивно понятном виде, но и помогать пользователю детализировать интересующую его информацию так, чтобы возникшие узкие места и проблемы производительности могли быть легко выявлены.

Adam Leko в статье «Performance Analysis Strategies» [2] приводит эталонный процесс отладки производительности (рис. 2). Сначала пользователь добавляет в свою программу измерительный код (желательно без особых усилий), запускает его и далее подает полученные в процессе выполнения данные в программу анализа. Программа должна помочь пользователю найти и исправить проблемы произ-

водительности исходной программы. Этот процесс повторяется до тех пор, пока пользователь не добьется приемлемого уровня производительности. Измерительный код должен вносить низкий процент накладных расходов на выполнение пользовательской программы и собирать достаточный объем данных, чтобы выявить любую проблему производительности. Процесс анализа в идеале должен быть автоматизирован на столько, на сколько это возможно и выполнен полно и точно после того, как все необходимые данные были собраны в процессе выполнения программы. В реальности не существует инструментов, которые бы следовали этому процессу в таком виде. Зачастую они поддерживают его частично, балансируя между функциональностью, накладными расходами на выполнение и простотой использования. Современные системы настолько сложны, что собрать информацию, достаточную для выявления любой проблемы производительности, невозможно без серьезного влияния на скорость выполнения программы, что сводит на нет полезность такой информации. Даже когда удается собрать достаточно полную информацию без изменения характеристик выполнения программы, большой объем и различный тип информации создают проблемы объединения ее в единое целое, что затрудняет анализ данных.

Таким образом, реальные инструменты анализа производительности должны решить, какие данные они будут собирать и должны быть способны проводить анализ и фильтрацию даже недостаточно полной и точной информации. Фактически это означает, что фильтрация и анализ могут (а иногда должны) проводиться на разных этапах отладки производительности, вместо фиксированного, как показано на рис. 2.

Существующие методики можно разделить следующим образом:

1. Предварительный анализ, интерактивные методы, постобработка. Методы предварительного анализа выполняют оценку до непосредственного запуска программы, интерактивные методы выполняют анализ в процессе работы прикладной программы. Постобработка – это метод, который требует наличия полной информации, получаемой в процессе выполнения программы, перед тем, как анализ поведения этой программы может быть запущен.

2. Ручные и полуавтоматические методы. Некоторые стратегии анализа и поиска узких мест могут быть в той или иной степени автоматизированы, другие полностью полагаются на пользователя при анализе и интерпретации данных.

Необходимо заметить, что данные категории не взаимоисключающие. Некоторые стратегии могут основываться на комбинации вышеописанных методов. Таким образом, инструменты можно условно разделить на шесть категорий: постобработка, интерактивный метод и предварительный анализ в ручном и полуавтоматическом вариантах.

Еще одной важной особенностью, которую необходимо принимать во внимание при обсуждении методов анализа производительности, является масштабируемость. Методы, которые хорошо работают на небольших системах, но разваливаются на системах из нескольких десятков процессоров, не очень-то полезны, так как многие проблемы производительности не проявляются, пока размер системы не достигнет определенной отметки.

Также необходимо заметить, что в методе ручного анализа трудоемкий процесс поиска узких мест производительности выполняется пользователем. Инструменты, использующие данный метод, при поиске проблем полагаются полностью на предоставление пользователю соответствующих диаграмм, графиков и таблиц и методы манипулирования ими (масштабирование и поиск). Предоставление информации о производительности программы в графическом виде может быть мощным приемом, но без сложных методов фильтрации объем отображаемых данных может быть чрезвычайно большим.

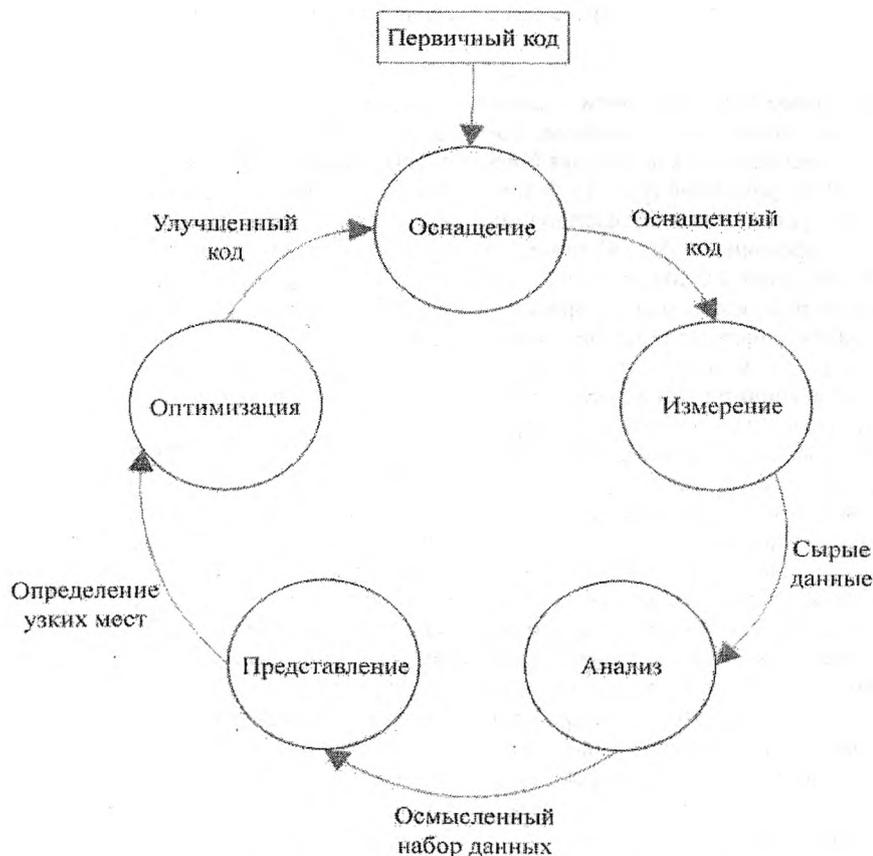


Рис. 2. Цикл отладки производительности

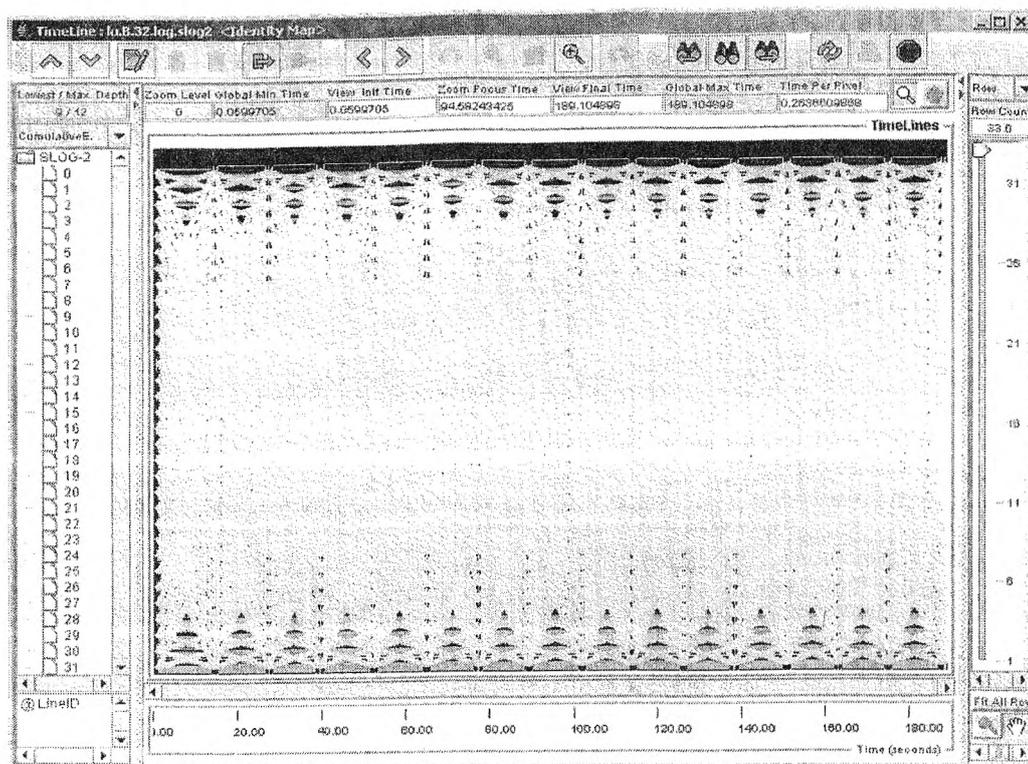


Рис. 3. Визуализации теста NAS LU в Jumpshot-4

Чтобы привести пример того, как объем данных в трассах может стать чрезвычайно большим, посмотрим как выглядит визуализация бенчмарка NAS LU (нагрузка класса В) в Jumpshot-4 (рис. 3). В данном примере отсутствует какая-либо фильтрация данных. Размер трассировочного файла для трех минут выполнения составляет 325 МБ. Как видно из рисунка, очень сложно разглядеть, что же происходит в программе из-за большого количества коммуникаций, даже несмотря на то, что 32-процессорная система считается небольшой по сегодняшним меркам. Чтобы справиться с этой проблемой, инструменты, работающие с файлами трасс и предоставляющие лишь методы ручного анализа, зачастую позволяют осуществлять поиск, фильтрацию и масштабирование, чтобы ограничить объем отображаемых данных. Например, многие инструменты визуализации трасс MPI позволяют пользователю ограничить отображаемые передачи сообщений при помощи выбора тэга или источника и назначения. Тем не менее большинство инструментов, использующих ручной анализ при помощи трасс, не позволяют отобразить полученные данные обратно на исходный код, так как сложно увязать эту информацию с временной шкалой. За выбор фильтров в данном методе также ответственен пользователь.

Методы полуавтоматического анализа

Очевидно, что машины гораздо более приспособлены к обработке больших массивов информации. С учетом этого, некоторые разработчики создали прототипы систем, которые пытаются автоматизировать процесс поиска проблем производительности

на столько, на сколько это возможно. Есть несколько реализованных прототипов, которые способны выполнять нечто похожее на автоматический анализ собранных в процессе выполнения программы данных. Большинство стратегий используют приемы и методы из области искусственного интеллекта, такие как экспертные системы на основе баз знаний и методы автоматической классификации. Далее в статье рассматриваются несколько инструментов, в основе которых лежат методы полуавтоматической обработки.

IPS-2

IPS [3] – это одна из ранних программ, первые публикации о которой датируются 1987 годом. Разрабатывалась Висконсин-Мэдисонским Университетом совместно с Bell Laboratories для систем, работающих на микропроцессорах VAX, DECStation и Sun 4 под управлением ОС 4.3BSD UNIX. В IPS используется несколько методов автоматизированного анализа программ: анализ критического пути и анализ фазового поведения.

Анализ критического пути (АКП) позволяет найти самый длинный по времени путь, через который параллельная программа проходит в процессе своего выполнения. Чтобы провести АКП, на основе трассировочной информации строится граф операций программы. Вершины графа – события, например, межпроцессные коммуникации или создание процессов, а дуги – время, затраченное на выполнение события. По ходу взаимодействия процессов друг с другом возникают различные пути, оптимизация самого длительного из которых, приведет к

сокращению общего времени выполнения программы. После того как граф операций построен, выполняется поиск самого длинного пути. Путь может состоять из тысяч вершин, поэтому на каждом из уровней иерархии пользователю информация представляется в агрегированном виде. Например, на уровне процессов, какой процент времени критического пути программа выполняла расчеты и какой межпроцессные коммуникации, для каждой пары процессов. IPS не позволяет рассчитывать пути, близкие к критическому. Если существуют пути близкие по времени и практически не пересекающиеся с критическим, то оптимизация не даст результатов. Для того чтобы определить, какое влияние на программу окажет оптимизация критического пути, IPS позволяет приравнять его к нулю и пересчитать оценку.

Анализ фазового поведения (АФП) [3] – это метод, способный выделить различные фазы выполнения программы. Например, в параллельной программе, работающей по схеме главный-подчиненный можно выделить следующие фазы:

- 1) главный процесс ставит задачу,
- 2) инициализируются подчиненные процессы,
- 3) главный распределяет части задачи каждому подчиненному,
- 4) подчиненный рассчитывает свою часть задачи,
- 5) главный объединяет частичные результаты.

Шаги 3-5 повторяются пока не получено решение. Каждая фаза имеет свои характеристики. Задача АФП автоматически выделить эти фазы, что позволит в дальнейшем выполнять оптимизацию, сосредоточившись на определенной фазе. АФП состоит из трех этапов: сглаживания, сегментации и комбинирования. На вход метода подаются кривые метрик производительности, которые представляют собой значение метрики в различные моменты времени выполнения программы. Задача сглаживания упростить последующий анализ за счет устранения пиков. Сглаживание выполняется по алгоритму скользящего окна. После сглаживания выполняется сегментация. Задача сегментации – построить кривую границ, которая бы для каждой метрики производительности m показывала вероятность возникновения перехода фаз для каждого момента времени t_i . Для этого сначала строится ступенчатая функция $h_{m,i}$, которая для момента времени t_i равна разнице между значениями предыдущего минимума (максимума) и следующего максимума (минимума) кривой метрики m . Далее строится кривая границ, которая имеет следующий вид: $B_{m,i} = \text{abs}\left(\frac{\Delta V_{m,i}}{\Delta t_i}\right) \times h_{m,i}$,

где $\Delta V_{m,i}$ – разность между значениями метрики m в моменты времени t_i и t_{i-1} .

Чем больше значение $B_{m,i}$, тем выше вероятность, что в данной точке кривой находится переход фаз. После того как кривые границ для каждой метрики посчитаны, они объединяются в итоговой функции, учитывающей все метрики производи-

тельности: $B_i = \sum_{m \in M} B_{m,i} = \sum_{m \in M} \text{abs}\left(\frac{\Delta V_{m,i}}{\Delta t_i}\right) \times h_{m,i}$. Считается, что в момент времени t_i происходит переход фаз, если первая производная от B_i равна нулю и B_i выше определенного порогового значения. Пороговое значение выставляется программистом вручную. Чем пороговое значение выше, тем меньше фаз и наоборот. После того, как фазы получены, программист получает возможность более гибко и оптимально выполнять оптимизацию программы. Например, он может применить АКП к определенной фазе.

Подход Vetter'a

Jeffrey Vetter из Национальной Ливерморской лаборатории им. Лоуренса разработал метод автоматической классификации неэффективных коммуникаций для программ, написанных на MPI [4]. При разработке подхода Vetter преследовал три цели: сокращение объема данных, портативность и точность. Основа метода – подход, позаимствованный из области машинного обучения. Как и в IPS-2, используется постобработка трассировочной информации. Новизна подхода в использовании классификации на базе дерева решений. Vetter в своей классификации уделяет внимание четырем операциям: блокирующим и не блокирующим операциям отправки и приема сообщений. Исходя из возможных вариантов неэффективного использования данных операций, он выделяет 7 классов неэффективных коммуникаций: нормальный – операция выполнена нормально, поздняя отправка – операция MPI_Send запущена значительно позже MPI_Recv, поздний прием – операция MPI_Recv запущена значительно позже MPI_Send, поздний старт отправки – то же что и поздняя отправка, но для MPI_Isend, позднее завершение отправки – операция MPI_Wait для соответствующей операции MPI_Isend запущена поздно, программа может получить доступ к буферу отправки раньше, поздний старт приема – то же что и поздний прием, но для MPI_Irecv, позднее завершение приема – операция MPI_Wait для соответствующей операции MPI_Irecv запущена поздно, программа может получить доступ к буферу приема раньше. На первом этапе работы программы пользователь должен вручную обучить дерево решений на заранее подготовленных тестах эффективного и неэффективного поведения MPI-программ. Это делается потому, что основной параметр, которым оперирует дерево решений при классификации, – это время выполнения операции, а на разных программно-аппаратных конфигурациях времена могут сильно различаться. После того, как дерево обучено, пользователь может запустить задачу и подать результаты трассировки модулю классификации. В качестве результата пользователь получает таблицу, каждая строка которой – это пара отправитель-получатель и количество попаданий в каждую из 7 категорий [4]. Отправитель и получатель в таблице указаны функциями программы, из которых выполнялись операции, и смещением относительно начала

функции, чтобы программист мог точно определить проблемную пару операций. При проверке дерева решений на тех же данных, на которых оно было обучено, автор получил процент ошибки от 3 на тесте поздняя отправка, до 42 на тесте позднее завершение приема. Средний процент ошибки по совокупности тестов – 13 %. Автор подтверждает, что его подход менее точен, чем, например, нейронные сети, но более понятен для разработчика, который может посмотреть, почему пара отправка-прием была классифицирована по той или иной ветви. В прототипе поддерживается 7 категорий неэффективного поведения и 4 MPI операции, но дерево решений можно достаточно легко расширить. Для этого необходимо разработать тест для соответствующей проблемной ситуации.

SCALEA

Иной подход используется в пакете SCALEA [5, 6] – инструменте анализа производительности для программ, написанных на OpenMP, MPI, HPF и смешанных параллельных/распределенных программ. На первом этапе препроцессор SCALEA строит абстрактное синтаксическое дерево (АСД) программы, что позволяет пользователю выбрать интересующие его блоки кода, будь то обычные циклы, процедуры, циклы HPF INDEPENDENT, циклы OpenMP PARALLEL, секции OpenMP, операции MPI Send/Recv или что-либо другое. Если необходимо выбрать произвольную область кода, можно воспользоваться специальными директивами, которые вручную помещаются в исходный код программы. Для каждого анализируемого блока кода формируется файл описания инструментовки, который содержит идентификатор блока, информацию о его местоположении в исходном коде и ссылку на собранную информацию о производительности. Это позволяет уменьшить объем трассировочной информации за счет того, что служебная информация в каждой строчке трассы сокращается до единственного идентификатора, а также четко отображать данные анализа на исходный код программы. После того как инструментовка закончена, программа запускается, и в процессе ее выполнения собирается трассировочная информация, а также показатели аппаратных счетчиков. Обработка собранной информации выполняется в два этапа. В начале данные проходят первичную фильтрацию, и строится динамический граф вызовов блоков кода (ДГБ). ДГБ для программы Q задается направленным графом потоков $G = (R, E, s)$, где R – множество узлов, а E – множество дуг. Узел $r \in R$ представляет собой блок кода, который хотя бы единожды выполняется в процессе работы программы Q . Дуга $(r_1, r_2) \in E$ указывает, что при выполнении программы Q блок кода r_2 вызывается внутри r_1 ; r_2 в таком случае – динамический подблок r_1 . Блок кода, с которого начинается выполнение Q , задается s . ДГБ позволяет структурировать данные о производительности программы и точно рассчитать издержки на те или иные

операции по каждому блоку на основе информации из подблоков там, где это необходимо. После того, как ДГБ построен и трассы распределены по соответствующим блокам, начинается непосредственно анализ производительности. SCALEA выполняет анализ в форме поиска издержек выполнения программы. С точки зрения программиста, коммуникации MPI Send/Recv можно считать издержками на перемещения данных, которых в последовательной программе нет, а циклы процессора, которые тратятся на создание и уничтожение нитей в OpenMP при входе в параллельную секцию, – издержками на управление параллелизмом. Согласно закону Амдала [7], теоретически лучший последовательный алгоритм требует времени T_s для того, чтобы выполнить программу, T_p – время, необходимое для выполнения параллельной версии на p процессорах. Тогда временные издержки могут быть заданы как $T_o = T_p - T_s / p$, и отражают разницу между достигнутой и оптимальной производительностью T_o , в свою очередь, можно разделить на T_i и T_u таким образом, что $T_o = T_i + T_u$, где T_i – это издержки, которые можно установить, а T_u – это часть издержек, которые не удастся детально проанализировать. В SCALEA выделяется 6 групп издержек:

- *Перемещения данных* – любые передачи данных внутри адресного пространства процесса (доступ к локальной памяти) или между процессами (доступ к удаленной памяти).

- *Синхронизация* (например барьеры и блокировки) – это операции, координирующие работу процессов и нитей при доступе к данным для поддержания целостности данных и вычислений.

- *Управление параллелизмом* (например, fork/join – операции и диспетчеризация циклов) используется для регулирования и управления параллелизмом программы и может осуществляться пользователем, компилятором или библиотекой времени выполнения.

- *Дополнительные вычисления* отражают любые изменения исходной последовательной программы, включая изменения алгоритма и трансформации компилятора, с целью увеличения параллелизма (например устранение зависимостей по данным) или локальности данных (например при помощи изменения шаблонов доступа к данным).

- *Потеря параллелизма* ввиду неполного распараллеливания программы, которую можно дальше классифицировать как нераспараллеливаемый код (выполняемый только одним процессором), дублированный код (выполняемый всеми процессорами) и частично распараллеливаемый код (выполняемый более чем одним процессором, но не всеми).

- *Неидентифицированный параллелизм* относится к издержкам неохватываемым вышеописанными категориями.

Для того чтобы подсчитать издержки, SCALEA строит ДГБ для последовательной и параллельной

версий программы и сравнивает соответствующие регионы кода двух версий. Обозначим ДГБ параллельной и последовательной версий – $DRG_s(V_s, E_s, s_s)$ и $DRG_p(V_p, E_p, s_p)$ соответственно. Для региона кода R_i^p в DRG_p найдем соответствующий R_i^s – регион в DRG_s . Предположим, что это регион R_i^s . Положим, что $T_s(R_i^s)$, $T_p(R_i^p)$ и $T_o(R_i)$ – это время выполнения последовательной версии, время выполнения параллельной версии и полученные издержки. Тогда накладные расходы рассчитываются следующим образом:

$$T_o(R_i) = T_p(R_i^p) - T_s(R_i^s) / p.$$

EXPERT

EXPERT [8, 9] – это один из популярных инструментов, который также использует подход баз знаний для поиска узких мест параллельных программ. EXPERT в своем подходе позволяет отделить сам процесс анализа от описания шаблонов неэффективного поведения, имеет модульную архитектуру и расширяем. EXPERT – это модуль анализа, который входит в состав набора инструментов КОЖАК, который автоматически выполняет оценку производительности программ, написанных на C/C++ или Fortran с использованием MPI, OpenMP или смешанного подхода. В качестве источника данных используются файлы трасс. Инструментовка программы может быть выполнена автоматически при помощи профилировочного интерфейса компилятора, с помощью TAU [10] или DPCL [11]. Если необходимо, пользователь может оснастить произвольные блоки кода при помощи POMP-директив, которые потом обрабатываются OPARI [12]. OPARI используется также для автоматического оснащения OpenMP-программ. Инструментовка MPI-директив выполняется автоматически библиотекой-оберткой. После того как данные о работе программы собраны, они передаются в модуль анализа EXPERT.

В процессе анализа EXPERT ищет в трассировочных файлах шаблоны неэффективного поведения. То, как EXPERT представляет эти шаблоны внутри себя, позволяет ему фиксировать очень сложные ситуации, не охватываемые профилировочными инструментами и визуализаторами трасс. EXPERT описывает шаблоны в виде составных событий. Составное событие – это набор найденных в трассировочном файле событий, которые удовлетворяют условиям возникновения ситуации, описываемой шаблоном. Так как составные события обычно включают в себя сложные межсобытийные связи, необходимы высокоуровневые структуры данных, которые способны отслеживать и предоставлять в нужный момент такую информацию. Поэтому EXPERT построен на базе языка EARL [13] – языка доступа к трассировочным файлам. Основная задача EARL – упростить описание шаблонов неэффективного поведения, что позволяет легко расширять и корректировать набор шаблонов, используемых в процессе анализа. В отличие от необработанного файла трасс, который позволяет считывать записи в

последовательном виде, EARL обеспечивает произвольный доступ к различным событиям и два типа абстракций: состояния и указатели. Состояния отражают различные аспекты общего состояния выполнения программы. Каждое состояние – это множество событий. Появление события приводит к добавлению, либо к удалению элемента из множества. Например, для каждой пары процессов EARL поддерживает очередь сообщений. Если возникает событие отправки сообщения, оно добавляется в очередь, если возникает событие приема, то соответствующее ему событие отправки удаляется из очереди. EARL также поддерживает состояния для коллективных коммуникаций MPI, операций OpenMP parallel, синхронизаций на основе блокировок, стеков блоков кода и дерева вызовов. Указатели – это атрибуты событий, ссылающиеся на другое соответствующее событие. Например, событие приема содержит атрибут sendptr, который указывает на соответствующее ему событие отправки. Наличие указателей, дает возможность воспользоваться состояниями. Другие указатели связывают соответствующие события входа и выхода, операции над одной и той же переменной синхронизации и информацию о порядке вызовов. Состояния и указатели формально описаны в [14], а исчерпывающая документация по EARL API может быть найдена в [13].

В процессе анализа поведения приложения EXPERT последовательно перебирает файлы трасс и пытается найти шаблоны, описанные ранее в виде составных событий. Для того чтобы проиллюстрировать, как описываются и обнаруживаются составные события, обратимся к рис. 4, на котором в виде временной шкалы изображено составное событие *поздняя отправка*. Процесс А ожидает сообщения от процесса В, которое отправлено гораздо позже начала операции приема. Таким образом, большая часть времени, потраченная операцией приема, фактически время простоя, которое может быть использовано с пользой. EXPERT распознает этот шаблон, ожидая операции приема в потоке событий. Как только такое событие поймано, EXPERT при помощи указателей (пунктирные линии на рисунке), подсчитанных EARL, находит моменты входа обоих коммуникационных операций и определяет смещение (idle time на рисунке 4). Из рисунка также видно, что шаблона поздняя отправка можно избежать, поменяв порядок приема сообщений. Так как сообщение от процесса С отправлено раньше В, оно в любом случае достигнет процесса А раньше. Поэтому, вместо того, чтобы ждать сообщения от процесса В, А может провести это время с пользой. В данном контексте шаблон поздняя отправка называется *поздняя отправка / неправильный порядок*. EXPERT распознает эту ситуацию, просмотрев состояние выполнения, подсчитанное EARL, на момент приема процессом А сообщения от процесса В. Проверка очереди сообщений, отправленных А, показывает, что есть более старые сообщения, чем только что принятое.

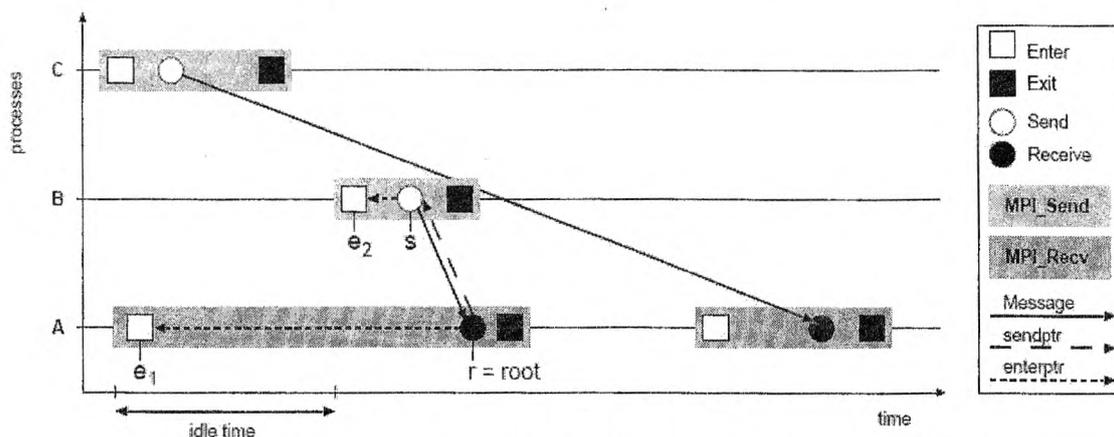


Рис. 4. Составное событие поздняя отправка / неправильный порядок

EXPERT позволяет: вычислить стоимость коммуникаций, синхронизации и стоимость операций ввода/вывода, выявить преобладающую и самую частую операции коммуникации, большие сообщения, наличие неравномерного распределения и разбалансировку на барьерной операции. Также в поле зрения метода попадают такие сложные события, как поздняя отправка, поздний прием, неправильный порядок сообщений и несколько событий из парадигмы главный – подчиненные.

Заключение

В данной статье представлен ряд методов, реализованных в инструментах автоматизированного анализа и отладки производительности параллельных приложений. Подавляющее большинство современных инструментов идут по пути наименьшего сопротивления, давая возможность пользователю вручную фильтровать и просматривать полученные в процессе сбора данные. Инструменты, рассмотренные в статье, выпадают из этого списка. Они реализуют в себе сложные подходы, которые позволяют значительно снизить нагрузку на пользователя в процессе анализа приложения и повысить результативность данного процесса. Полагаясь только на временные шкалы и профилировку, программист рискует пропустить действительные причины, приведшие к низкой эффективности его приложения. Большинство утилит анализа базируются на постобработке трасс. Причиной тому – легкость реализации и удобство для пользователя. Также большинство разработчиков признают крайнюю важность вовлечения пользователя в процесс анализа. Хотя некоторые пытаются (со временем) полностью избавить его от утомительного анализа и оптимизации, проблема оптимизации изучена не настолько глубоко. Поэтому любой метод, выходящий за рамки простого анализа масштабируемости, предполагает вмешательство пользователя, и раз так, инструмент, реализующий данный подход, должен обеспечить пользователя интерфейсом должного уровня.

Литература

1. Federal Plan for High-End Computing: Report of the High-End Computing Revitalization Task Force (HECRTF) [Электронный ресурс], 2004. URL: http://www.nitrd.gov/pubs/2004_hecrtf/20040702_hecrtf.pdf (дата обращения: 2.03.09).
2. Leko, A. Performance Analysis Strategies [Электронный ресурс]. URL: <http://www.hcs.ufl.edu/prj/upcgroup/upcperf/documents/20050302AnalysisDraft.pdf> (дата обращения: 2.03.09).
3. Miller, B. PIPS-2: The Second Generation of a Parallel Program Measurement System. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, IEEE Computer Society / B. P. Miller, M. Clark, J. Hollingsworth, S. Kierstead, S. S. Lim, T. Torzewski. – 1990. – С. 206 – 217.
4. Vetter, J. Performance Analysis of Distributed Applications Using Automatic Classification of Communication Inefficiencies / J. Vetter // Труды XIV International Conference on Supercomputing, ACM Press. – 2000. – С. 245 – 254.
5. Truong, H.-L.. On using SCALEA for Performance Analysis of Distributed and Parallel Programs / H.-L. Truong, T. Fahringer, G. Madsen, A. D. Malony, H. Moritsch, S. Shende // Труды конференции SC2001, ACM Press, 2001. – С. 37.
6. Truong, H.-L. Scalea - a Performance Analysis System for Distributed and Parallel Programs / H.-L. Truong, T. Fahringer // Труды VIII International Euro-Par Conference, Springer, 2002. – С. 75 – 85.
7. Amdahl, D. Validity of the Single-processor Approach to Achieving Large-scale Computer Capabilities / D. Amdahl // Труды конференции AFIPS, AFIPS Press, 1967. – С. 483 – 485.
8. Wolf, F. Automatic Search for Patterns of Inefficient Behavior in Parallel Applications / F. Wolf, B. Mohr, J. Dongarra, S. Moore. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.netlib.org/netlib/utk/people/JackDongarra/PAPERS/auto-apart-2005.pdf> (дата обращения: 2.03.09).
9. Wolf, F. Automatic Performance Analysis of MPI Applications Based on Event Traces / F. Wolf, B. Mohr.

// Труды VI International Euro-Par Conference, Springer. – 2000. – С. 123. – 132.

10. Shende, S. S.. The Role of Instrumentation and Mapping in Performance Measurement: докторская диссертация, University of Oregon, 2001.

11. DeRose, L. The Dynamic Probe Class Library – An Infrastructure for Developing Instrumentation for Performance Tools. / L. DeRose, T. Hoover, J. Hollingsworth // Труды XV International Parallel and Distributed Processing Symposium, IEEE Computer Society, 2001.

12. Mohr, B. Design and Prototype of a Performance Tool Interface for OpenMP / B. Mohr, A. Malony,

S. Shende, F. Wolf // Journal of Supercomputing, Kluwer Academic Publishers, 2002. – С. 105 – 128.

13. F. Wolf. EARL - API Documentation. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.fzjuelich.de/jsc/datapool/Kojak/earl-2.0.pdf> (дата обращения: 2.03.09).

14. F. Wolf. Automatic Performance Analysis on Parallel Computers with SMP Nodes: докторская диссертация, RWTH Aachen University, 2003.

Рецензент – В. П. Потапов, директор института угля и углехимии СО РАН.

УДК 004.4'233

СЕМАНТИЧЕСКИЕ ОШИБКИ В ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ПРОГРАММАХ ДЛЯ СИСТЕМ С РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ПАМЯТЬЮ И МЕТОДЫ ИХ ОБНАРУЖЕНИЯ СОВРЕМЕННЫМИ СРЕДСТВАМИ ОТЛАДКИ

К. Е. Афанасьев, А. Ю. Власенко

В условиях постоянно растущего спроса на вычислительные ресурсы со стороны естественных, социальных и других наук все более остро ощущается потребность в качественном и удобном для исследователя программном обеспечении, позволяющем использовать данные ресурсы, предоставляемые вычислительными центрами. На сегодняшний день вычислительные кластеры, объединяющие множество узлов, каждый из которых обладает своей оперативной памятью – самый популярный вид архитектуры высокопроизводительных систем. Стандартом де-факто при программировании вычислительных кластеров является интерфейс MPI (Message Passing Interface), который очень сложен в использовании и требует со стороны программиста управления пересылками данных на низком уровне. Отладка MPI-приложений, где помимо ошибок последовательных программ могут появляться новые ошибки, обусловленные недетерминированным поведением независимых процессов, – очень трудоемкий процесс, для которого необходимо применение специальных инструментальных систем. Поэтому классификация ошибок параллельных программ и анализ методов, а также существующих программных средств отладки таких программ – крайне важная и актуальная в настоящее время задача.

In conditions of constantly increasing demand on computing resources from natural, social and other sciences need of qualitative and easy-to-use software for performing computations on these resources in data centers also increases. Computing clusters, which contain many nodes, each of which has its own operating memory, are the most popular architectural solutions for high performance systems today. MPI (Message Passing Interface) is a de-facto standard for programming computing clusters. MPI is very complex and requests managing of data transmissions between nodes in low level from programmer. Debugging of MPI applications is very hard process, because of new errors appearing from undeterministic behavior of independent processes. That is why applying special instrumental systems is essential for parallel debugging. So classification of errors in parallel applications and analysis of methods and existing debugging systems for these applications are extremely actual and important tasks nowadays.

Ключевые слова: высокопроизводительные вычислительные системы, параллельное программирование, MPI, семантические ошибки.

Введение

В настоящее время все большее значение во многих областях науки и производства приобретает компьютерное моделирование процессов, явлений и объектов реального мира. Особую роль вычислительная техника играет в таких задачах, как моделирование природных катаклизмов (цунами, торнадо, ураганы), производство новых лекарств, исследование космических процессов, в задачах геномной инженерии и др. При выполнении алгоритмов решения таких задач, реализованных в виде компьютерных программ, на ЭВМ очень часто требуются аппаратные ресурсы, намного превышающие ресурсы настольного персонального компьютера. В связи с

этим в последние годы многие научные центры и промышленные предприятия приобретают высокопроизводительные вычислительные комплексы, объединяющие сотни и тысячи автономных вычислительных узлов, каждый из которых снабжен своим процессором (процессорами) и оперативной памятью. Такие комплексы носят название «вычислительные кластеры».

Поскольку узлы не обладают общей памятью, то программируют кластеры следующим образом: большую расчетную задачу разбивают на части, каждая из которых может выполняться независимо от других, затем эти ветви параллельного приложения распределяют по вычислительным узлам. При ис-

полнении параллельной программы на кластере узлу время от времени требуются данные, хранящиеся на других узлах кластера. Поскольку кластерный тип архитектуры не обладает общей памятью, то для обмена данными используются пересылки по коммуникационной сети, связывающей узлы.

Наиболее распространенным прикладным инструментом для создания параллельных программ на сегодняшний день является интерфейс MPI (Message Passing Interface) [3]. Данная технология сложна в использовании, поскольку требует пересылок данных в явном виде с указанием размера и схемы размещения в памяти передаваемых/принимаемых данных. Кроме того, при взаимодействии независимо работающих процессов на разных вычислительных узлах возникает большое множество новых, по сравнению с последовательными программами, ошибок, вызванных недетерминированным поведением параллельной программы, конфликтами при доступе к памяти основной программы и работающей в то же время MPI-функции, неверным использованием внутренних типов данных и объектов MPI и многими другими проблемами. Для обнаружения таких ошибок непригодны методы и средства, используемые применительно к последовательным программам. Поэтому отладка MPI-программ представляет собой чрезвычайно сложный и трудоемкий процесс. К данному моменту уже разработаны несколько программных систем, служащих для поддержки процесса отладки параллельных приложений. Данные системы используют различные подходы и имеют различные положительные и отрицательные стороны. Некоторые из них свободно распространяемы, другие же являются коммерческими и обладают довольно высокой стоимостью. Таким образом, для понимания тех проблем, с которыми может столкнуться прикладной программист при разработке параллельного приложения, требуется описание и систематизация ошибок в MPI-программах, а для выбора подходящего инструмента отладки – классификация возможных подходов при построении программных средств и анализ систем, созданных к настоящему моменту.

Семантические ошибки в MPI-программах

Ошибка, которую можно определить как появление одного или более некорректных результатов на каком-либо из этапов преобразований программы из исходного кода в исполняемые файлы и последующей работы, может появиться из-за неверно составленного кода (программная ошибка) или аппаратных сбоев. Программные ошибки, в свою очередь, делятся на:

– *синтаксические* – ошибки, обнаруживаемые компилятором на стадии перевода программы в машинный код;

– и *семантические* (также называемые логическими или алгоритмическими).

Семантические ошибки можно разделить на:

– *сильные* – в этом случае программа проходит логическую последовательность состояний, которая

приводит к результату, отличному от ожидаемого, или к тому, что программа не способна выполнять свои функции;

– и *слабые*, которые не являются как таковыми ошибками в смысле данного выше определения, а представляют собой причины неэффективного поведения программы пользователя (не полное использование вычислительных ресурсов, большой процент расхода времени на коммуникационные операции в общем времени работы и т. д.).

В данной работе наибольшее внимание уделено вопросам обнаружения различных логических ошибок, в связи с тем, что все новые, по сравнению с последовательными программами, проблемы относятся именно к данной категории. Из множества логических подробно разобран класс сильных ошибок, потому как поиск слабых – задача оптимизации, а не отладки параллельного приложения.

Среди сильных алгоритмических ошибок выделяют:

– *локальные* – для их обнаружения каждому процессу не требуется информация от других процессов;

– *глобальные*, которые включают 2 и более процессов. Для их нахождения нужно анализировать данные из нескольких ветвей параллельного приложения.

Следует заметить, что под локальными ошибками подразумеваются не те, которые встречаются в последовательных программах, а проблемы, возникающие вследствие некорректного использования коммуникационного интерфейса MPI в пределах одного процесса. К проблемам такого рода относятся, в частности, следующие:

– несколько MPI-функций используют одну и ту же область памяти;

– область памяти, переданная в качестве аргумента MPI-операции, не доступна для записи или чтения;

– попытка записи или чтения данных в буфер, переданный MPI-функции;

– неверная последовательность вызовов;

– программа создает слишком большое число «внутренних объектов» или типов данных (их лимит ограничен в MPI Standard) и т. д.

Глобальные ошибки, возникающие при обмене данными между ветвями параллельного приложения, можно разбить по следующим категориям:

– Ошибки синхронизации:

- дедлоки
- ◆ потенциальные;
- ◆ реальные;
- гонки данных
- ◆ интерфейсные;
- ◆ межпроцессные.

– Ошибки несоответствия:

- несоответствия в типах аргументов;
- несоответствия в длине сообщений.

Дедлоки возникают, когда набор коммуникационных функций, вызванных в различных MPI-процессах, создаёт условия продолжения работы этих процессов, которые никогда не могут быть удовлетворены некоторыми корректными MPI-реализациями [6]. В итоге каждый из таких процессов находится в ожидании сигнала о том, что в другом процессе завершено некоторое действие. Коммуникационная операция создаёт зависимость, когда MPI-стандарт позволяет реализации блокировать процесс до тех пор, пока при работе другого процесса не произойдёт некоторое событие. Например, MPI-стандарт позволяет реализовать MPI_Send (функцию отправки сообщения) как синхронную операцию, и процесс, вызвавший эту функцию, может находиться в ожидании до тех пор, пока процесс-получатель не вызовет MPI_Recv (функцию приема сообщения). С другой стороны, функция MPI_Send может быть реализована как буферизованная посылка и завершаться, не дожидаясь вызова MPI_Recv на принимающей стороне. Поэтому в случае, когда 2 процесса обоюдно вызывают MPI_Send, а затем MPI_Recv, то, в зависимости от реализации MPI, дедлок может произойти или нет.

Пример демонстрирует, что одна и та же параллельная программа в некоторых случаях может приводить к возникновению дедлока, а в некоторых – нет. На основании этого дедлоки разделяют на стандартные (реальные), которые случаются всегда, и потенциальные, которые не проявляются на данной архитектуре или реализации MPI, но могут возникнуть при переносе приложения на другую платформу.

Потенциальные условия **гонки данных** (ошибки соревнования) могут быть вызваны различными причинами, например, при использовании функции приёма с макросом MPI_ANY_SOURCE в качестве номера отправителя или макросом MPI_ANY_TAG в качестве тэга, при использовании случайных чисел и т.д. Некоторые пользователи также полагаются на то, что коллективные функции являются синхронизирующими, однако единственной такой операцией по MPI-стандарту является MPI_Barrier. Так, в программе, содержащей следующий фрагмент (листинг 1), в зависимости от реализации MPI_Bcast, нулевой процесс первым может принять сообщение от первого или второго процесса.

Листинг 1.

```
if (rank == 0) {
    MPI_Recv(..., MPI_ANY_SOURCE,
MPI_ANY_TAG,...);
    MPI_Bcast(...);
    MPI_Recv(..., MPI_ANY_SOURCE,
MPI_ANY_TAG,...);
}
else if (rank == 1) {
    MPI_Send(...);
    MPI_Bcast(...);
}
else if (rank == 2) {
    MPI_Bcast(...);
    MPI_Send(...);
}
```

Выделяют *межпроцессные* и *интерфейсные* ошибки соревнования. Межпроцессная гонка данных происходит, когда несколько процессов пытаются послать одинаковое по логике, но разное по содержанию сообщение. Интерфейсные гонки данных возникают при параллельной работе процесса и вызванной им MPI-функции. Примерами могут служить попытки записи в буфер до окончания операции MPI_Isend или попытки чтения до окончания MPI_Irecv. Интерфейсные гонки данных можно отнести к локальным ошибкам в силу того, что они образуются в пределах одного процесса, но в данной классификации они находятся в числе глобальных, так как являются результатом одновременной работы различных последовательностей команд – основным потоком MPI-процесса и потоком, порожденным для выполнения коммуникации.

Семантика MPI всегда разрешает гонки данных, поэтому программа не «зависает», но результаты могут оказаться неожиданными для пользователя. Данная группа ошибок относится к классу обусловленных недетерминированным поведением параллельной программы.

В MPI Standard определено, что аргументы, переданные каждым из процессов, участвующих в коммуникационной операции, должны согласовываться с аргументами, переданными другими процессами. В простейшем случае под «соответствующими» аргументами имеют в виду идентичные, но возможны и более сложные случаи, если в вызове коммуникационной функции фигурирует составной тип данных. Так, абсолютно корректно послать, например, два элемента составного типа (MPI_INT, MPI_DOUBLE) и получить один (MPI_INT, MPI_DOUBLE, MPI_INT, MPI_DOUBLE). MPI-реализации обычно прерывают приложение, когда есть несоответствие типов данных, например при посылке MPI_INT и получении MPI_DOUBLE, но никакой точной информации о несоответствии пользователю не выдаётся. Поэтому реализация поиска **ошибок несоответствия** при построении программной системы, служащей для поддержки процесса отладки параллельных приложений, является важной и сложной задачей.

Методы и программные средства обнаружения алгоритмических ошибок

При построении инструментальных средств, служащих для помощи прикладному программисту обнаруживать семантические ошибки в параллельных приложениях, используются различные концепции. К ним относятся:

- диалоговая отладка (отладчики TotalView, Distributed Debugging Tool, mpishim);
- верификация модели программы (MPI-Spin);
- сравнительная отладка (Distributed Virtual Machine);
- автоматический анализ корректности:
 - анализ во время работы программы (MARMOT);

- анализ по трассе (Intel Message Checker).

Диалоговая отладка

Параллельные отладчики обеспечивают обычные интерактивные функциональные возможности отладчиков, типа выполнения в пошаговом режиме, установки контрольных точек, оценки переменных и т. д., но дополнительно позволяют пользователю контролировать и воздействовать на группы процессов в отдельном сеансе отладки.

Самым распространенным и технически развитым средством этой категории является коммерческий отладчик TotalView. Поскольку системы данной группы обладают очень схожим функционалом, то в настоящей статье будет рассмотрено только это программное средство.

TotalView (TV) – высокоуровневый отладчик оконного типа, специально спроектированный для многопроцессорных и многоядерных вычислительных систем. TV воспринимает множество реализаций MPI. TV имеет следующие возможности, которые отличают его от последовательных отладчиков:

- процессы и потоки внутри каждого процесса могут быть запущены, остановлены, перезапущены, просмотрены и удалены;

- значения переменных в программе можно изменять во время сеанса отладки;

- распределенная архитектура TV позволяет отлаживать удаленные программы в локальной сети;

- несколько процессов на разных процессорах могут быть сгруппированы, и когда один процесс достигает точки останова, все сгруппированные процессы будут остановлены.

TV имеет окна и области для отображения отлаживаемых процессов и потоков, групп процессов MPI-программы, исходного кода, активных точек, списков адресов и значений переменных.

Несмотря на то, что по ходу отладки программа может быть исправлена «на лету» и, таким образом, есть возможность проверить различные сценарии исполнения, одним из главных недостатков программных средств этой группы является невозможность обнаружения ошибок, связанных с недетерминированным поведением параллельного приложения.

Верификация модели программы

Верификация модели программы (проверка на модели) – это один из подходов к решению проблемы автоматизации отладки и проверки правильности программ [4]. Появление этой техники произошло совсем недавно (в 80-х годах XX в. в работах Кларка, Эмерсона, Квайла и Сифакиса), но, несмотря на это, она уже нашла широкое применение при разработке параллельных приложений.

Суть метода заключается в следующем. Для заданной анализируемой программы строится ее абстрактная формальная модель. Чаще всего она представляется в виде системы переходов между состояниями. В качестве состояния выступает кортеж значений переменных, фигурирующих в программе, а в качестве перехода между состояниями, соответственно, изменение переменной своего значения. За-

тем производится спецификация свойств, которыми должна обладать система. Например, желательно показать, что некоторая параллельная программа никогда не попадает в тупик. Чтобы модель была пригодна для верификации, в ней должны проявляться те свойства, анализ которых необходим для установления ее корректности. С другой стороны, она должна быть свободна от частных особенностей, не влияющих на проверяемые свойства, но усложняющих верификацию. Проверяемые свойства или требования выражаются на формальном математическом языке (например, представляются в виде логических формул). После этого верификация программы сводится к проверке выполнимости формализованного требования (спецификации) на абстрактной модели. При этом ведется перебор возможных состояний по разным маршрутам в графе. Если результаты проверки отрицательные, то пользователю предоставляют трассу, содержащую ошибку. Она строится в качестве контрпримера для проверяемого свойства и помогает проектировщику проследить, где возникает ошибка.

Главным плюсом такого подхода является то, что решается одна из основных проблем предыдущего класса инструментальных средств отладки – большая сложность обнаружения потенциальных ошибок, возникающих из-за недетерминированного поведения параллельной программы. Каждый раз при запуске приложения под управлением диалогового отладчика оно проходит лишь один из возможных маршрутов в графе состояния и проблемы, которые могут появиться на других маршрутах, остаются «в тени». Основная же трудность, которую приходится преодолевать в ходе проверки на модели, обусловлена эффектом «комбинаторного взрыва» в пространстве состояний, суть которого заключается в том, что с ростом числа процессов параллельной задачи, участвующих в проверке, число состояний растет, в общем случае, экспоненциально.

К инструментальным средствам, использующим данный подход, относится система MPI-Spin [7] – расширение известного верификатора Spin. Языком, на котором составляется абстрактная модель параллельной программы, является PROMELA (PRocess MEta LAnguage). Программа на PROMELA переводится в программу на C при помощи Spin (Simple Promela INterpreter), а затем компилируется и запускается обычным способом. Вершины дерева состояний перебираются по алгоритму обхода в глубину. Наряду с полным перебором состояний в графе, Spin имеет также режимы выполнения случайно выбранного маршрута и выполнения маршрута, заданного пользователем (при достижении системой каждой вершины, на которой может происходить разветвление, пользователю выдается сообщение и предлагается сделать выбор из нескольких альтернатив). При использовании MPI-Spin язык Promela дополняется конструкциями, упрощающими моделирование MPI-программ.

Таким образом, применение MPI-Spin для отладки MPI-программ имеет следующие недостатки: для каждой проверяемой программы необходимо

составить, по сути, одну дополнительную – модель на языке PROMELA; невозможно обнаружить ошибки, связанные с неверным управлением внутренними ресурсами MPI, ошибки несоответствия, многие локальные ошибки (например перекрывание буферов памяти в различных коммуникационных операциях); и, наконец, вышеупомянутая проблема комбинаторного взрыва.

Сравнительная отладка

Основная идея данного подхода заключается в том, чтобы сравнить поведение данной (отлаживаемой) версии программы с поведением эталонной и выдать пользователю информацию о расхождениях. Часто за эталонную версию принимают последовательный вариант данного параллельного приложения. Для этого выбираются определенные точки программы и в них сравниваются значения переменных. Выбор точек может осуществляться как пользователем, так и самой программной системой поддержки параллельной отладки (как в системе DVM [2]). Для сравнения двух выполнений программы можно сначала накопить трассы, фиксирующие выполненные операторы и значения переменных, а затем сравнивать эти трассы, либо сначала собрать трассу при одном выполнении программы, а затем динамически сравнивать с ней другое выполнение. При отладке больших параллельных вычислительных задач размеры полных трасс при этом могут достигать очень больших размеров и не помещаться в имеющуюся оперативную память. В связи с этим разработаны различные методы определения тех моментов в программе, где целесообразно устанавливать контрольные точки записи состояния в файл трассы [1]. К ним относятся сбор трассы с граничных итераций вложенных друг в друга циклов, сбор трассы только на угловых значениях переменных циклов (например, если в программе есть двойной цикл (i, j) , $i=a..b$, $j=c..d$, то угловыми будут пары (a, c) , (a, d) , (b, c) и (b, d) соответственно). Такой подход базируется на тех соображениях, что при граничных значениях переменных цикла высока вероятность появления таких ошибок, как неинициализированные переменные, выход за границы массива и пр. Естественно, что из-за применения таких стратегий многие расхождения могут остаться незамеченными для инструментального средства.

Интегрированный в систему DVM сравнительный отладчик OPENMP работает по следующей схеме (для анализа MPI-программ может быть применен аналогичный алгоритм). Сначала производится первый прогон параллельной программы со сбором трассы с запущенных потоков, затем автономной утилитой полученная трасса приводится к последовательному виду, т. е. записи трассы располагаются в таком порядке, в котором они были бы выданы при последовательном выполнении. Затем запускается инструментированная последовательная программа, и полученная на предыдущем шаге трасса сравнивается динамически с реальным вычислением. В случае OPENMP-программ для получения последовательной программы из параллельной дос-

точно всего лишь не принимать во внимание OPENMP-директивы при компиляции.

Метод сравнительной отладки при разработке параллельных приложений применим в том случае, если исследователь обладает уже отлаженным и корректно работающим последовательным вариантом своей программы, что, естественно, бывает далеко не всегда. Кроме того, обозначенный выше факт неконтролируемого разрастания файла полной трассы, необходимого для тотального анализа отлаживаемой программы, является весьма серьезной проблемой при использовании данного метода.

Автоматический анализ корректности

Автоматический анализ корректности MPI-программ подразумевает под собой выявление поведения параллельной программы, способного привести к семантическим ошибкам. Чаще всего анализируются аргументы и последовательность вызовов MPI-функций, сравниваются с информацией о вызовах в других процессах (в случае проверки на глобальную ошибку) или с данными о ранее вызванных MPI-функциях в том же процессе (при проверке на локальную ошибку), а затем на основании некоторых алгоритмов делается вывод о существовании реальных или потенциальных ошибок. Для сбора информации об MPI-вызовах применяется профилировочный интерфейс MPI. Этот инструмент основан на том, что в любой реализации MPI каждая функция стандарта должна иметь возможность быть вызванной двумя способами: при помощи приставок MPI_ и PMPI_. Таким образом, становится возможным разработать собственную библиотеку MPI-функций, каждая из которых выглядит следующим образом:

Листинг 2.

```
MPI_Function( arg_1, arg_2, ..., arg_n ) {  
    [Some_work]  
    Result = PMPI_Function(arg_1, arg_2, ..., arg_n)  
    [Some_work]  
    return Result;  
}
```

Такую библиотеку (называемую профилировочной) можно скомпилировать в статическую и компоновать с программой пользователя. При этом важно, чтобы во время трансляции пользовательской программы при перечислении статических библиотек в строке компиляции данная библиотека стояла раньше MPI-библиотек реализации. Тогда каждый MPI-вызов будет перехватываться профилировочной библиотекой, далее будет производиться анализ аргументов функции на возникновение ошибки и, возможно, их запись в некоторую структуру для последующего сопоставления с параметрами вызываемых в будущем MPI-функций, затем функция PMPI_Function будет производить работу, которую ожидает от MPI_Function пользователь, потому как осуществляется реализацией MPI. Наконец, после работы PMPI_Function, можно проанализировать возвращенный ею результат и передать его в качестве выходного значения во внешнюю функцию.

В качестве простого примера можно привести алгоритм проверки на возникновение локальной

ошибки управления внутренними ресурсами MPI. Пусть в некотором процессе параллельной программы встретился вызов неблокирующей передачи сообщения MPI_Isend. Процесс, достигнув данной функции по ходу работы, записывает факт использования объекта-запроса в некоторую структуру данных, хранящуюся в памяти, либо в файл трассы на жестком диске. Предположим, что далее этот процесс не вызывал соответствующей функции MPI_Request_free. При вызове завершающей функции MPI-программы (MPI_Finalize) данной ветвью параллельного приложения в первом случае просматривается данная структура и фиксируется факт наличия записи о неосвобожденном запросе, во втором случае в файле трассы фиксируется отсутствие записи о соответствующем вызове функции освобождения объекта-запроса. Информация о найденной ошибке выдается пользователю.

Анализ по трассе

На основании двух подходов к обнаружению ошибок в MPI-программах, изложенных в приведенном примере, автоматический анализ корректности разделяют на анализ по трассе (посмертный анализ) и динамический анализ. При применении посмертного анализа каждый процесс параллельного приложения записывает данные об MPI-вызовах в локальный файл трассы, после работы файлы с каждого процесса собираются в единую трассу, которая на следующем шаге анализируется отдельной утилитой. Конкретное содержание файлов трассы зависит от формата. Обычно записываются имя MPI-функции, время и аргументы вызова.

Данный подход использовался при разработке программной системы Intel Message Checker [5]. Данное средство состояло из трех компонент:

- Trace Collector – подсистема для сбора информации об MPI-вызовах в файле трассы во время выполнения параллельной программы.

- Analyzer Engine – утилита, которая проводит анализ файла трассы. Диагностическую информацию Analyzer Engine записывает назад в файл трассы для третьего компонента Visualizer.

- Visualizer – загружает файл трассы и позволяет пользователю просматривать ошибки с автоматическим перемещением к строкам кода, где они возникли.

Так же, как и большинство инструментальных средств автоматического контроля корректности, компонент Trace Collector использует профилированный интерфейс MPI для сбора информации об MPI-вызовах. Для каждого вызова он записывает все входные и выходные параметры и некоторую дополнительную информацию, например контрольную сумму буфера сообщения. Вся трассировочная информация собирается в структурированный файл трассы после нормального или аварийного завершения программы.

Analyzer Engine находит реальные и потенциальные ошибки по файлу трассы. Результатом работы данного компонента является файл с информацией об ошибках и предупреждениях с соответствующими ссылками на события, записанные в трассу.

Программная система в состоянии обнаружить следующие ошибки:

- несоответствия функций отправки и приема из-за некорректного указания посылающего или принимающего процесса в вызове коммуникационной функции;
- потенциальные и реальные дедлоки;
- ошибки, вызванные записыванием в буфер отправки перед завершением функции MPI_Isend;
- разный порядок вызовов коллективных и редукционных операций;
- ошибки, вызванные перекрыванием буфера отправки или приема с другой коммуникационной операцией (обнаружение данной ошибки не реализовано для производных типов данных);
- ошибки несоответствия размеров сообщений в операциях отправки и приема;
- несоответствия контрольных сумм посланных и принятых сообщений;
- аварийное завершение работы во время вызова MPI-функции;
- несоответствия типов передаваемых и принимаемых данных.

Компонент Visualizer представляет собой графическое приложение, имеющее несколько окон: информационное окно, содержащее перечень найденных в программе ошибок; область исходного кода, где по клику на строке в информационном окне подсвечивается строка исходного кода, где произошла ошибка; окно для отображения трассы в графическом виде.

В настоящее время корпорация Intel отказалась от дальнейшей разработки данного программного средства, и сейчас многие идеи, заложенные в нем, реализованы в системе Intel Trace Analyzer and Collector, которое будет рассмотрено ниже. Один из недостатков инструментальных средств посмертного анализа описан выше при обсуждении систем сравнительной отладки – неконтролируемое разрастание файла трассы при работе с параллельной программой, ветви которой интенсивно обмениваются сообщениями. Другой слабой стороной является непереносимая продолжительность работы компонента Analyzer Engine на больших трассах – данная утилита не была распараллелена.

Анализ во время исполнения

Отличие данного подхода от предыдущего заключается в том, что анализ вызовов MPI-функций производится не по собранной трассе после завершения параллельной программы, а динамически по ходу работы. Здесь опять существует несколько вариантов относительно того, какой процесс (или какие процессы) проводит данный анализ.

В случае системы MARMOT [6] – разработке Штуттгартского центра высокопроизводительных вычислений, существует выделенный сервер отладки, который собирает данные об MPI-вызовах от процессов на рабочих узлах кластера. Архитектуру MARMOT можно представить следующим образом:

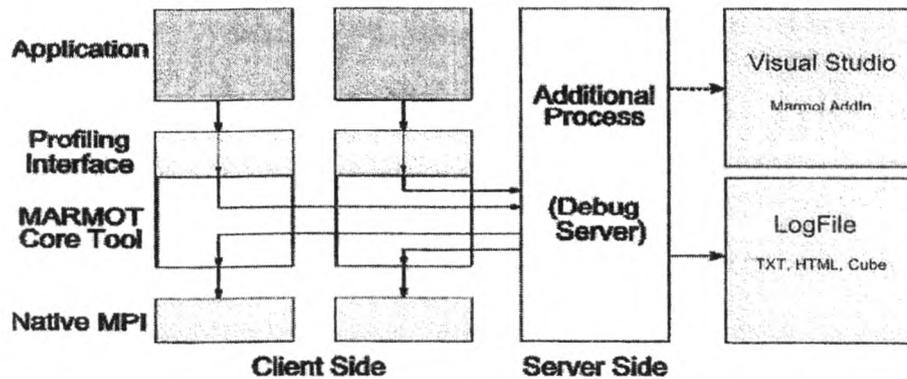


Рис. 1. Архитектура системы MARMOT

По ходу работы процессы вызывают MPI-функции, которые при помощи профилировочного интерфейса перехватываются библиотекой MARMOT. Информация об аргументах функций передается процессу, называемому Debug Server, на выделенном хосте. Данный процесс проводит динамический анализ приложения и по окончании работы системы выдает пользователю найденные ошибки. Опционально Debug Server может записывать трассу в доступном для анализа пользователем виде: TXT-, HTML-файлов или Cube-формате для последующей визуализации при помощи программного средства Cube. MARMOT для Windows реализован в виде плагина для среды Visual Studio.

Остановимся подробнее на алгоритмах обнаружения семантических ошибок, применяемых в MARMOT.

Дедлоки. В настоящее время обнаружение дедлоков в MARMOT базируется на механизме таймаутов и таким образом отыскиваются все реальные дедлоки. Сервер отладки MARMOT фиксирует время, проведенное процессом в MPI-вызове. Если это время превысило определенный пользователем лимит на всех процессах, то процесс отладки выдает предупреждение о дедлоке. Затем пользователь может просмотреть несколько последних вызовов на каждом узле.

Гонки данных. Ранее в статье было указано, что одной из причин появления гонок данных является использование макросов MPI_ANY_SOURCE и MPI_ANY_TAG в коммуникациях точка-точка. MARMOT регистрирует их присутствие и выдает предупреждение вне зависимости от того, было ли их использование оправданным и могло ли привести к появлению некорректного результата или нет.

Несоответствия. При различии длин или типов аргументов в MPI-функциях система выдает предупреждение пользователю. Но при использовании производных типов данных вполне корректно, например, послать два элемента типа (MPI_INT, MPI_DOUBLE) и принять один (MPI_INT, MPI_DOUBLE, MPI_INT, MPI_DOUBLE). Такие ситуации MARMOT не в состоянии отслеживать и делать правильные выводы.

Управление внутренними ресурсами. MARMOT может сохранять историю корректного

создания, использования и удаления всех MPI-ресурсов, таких как коммутаторы, группы, типы данных и т.д. Для этого данное программное средство ведет свой собственный учет внутренних ресурсов MPI и, таким образом, дублирует управление, выполняемое MPI-реализацией. MARMOT также проверяет корректность использования запросов и других аргументов (тэгов, рангов и т. д.), например повторное использование активных запросов.

Исчерпание памяти и других ресурсов. Неблокирующие функции, такие как MPI_Isend и др., могут завершиться без вызова соответствующих функций ожидания или тестов на окончание. В то же время разработчику необходимо учитывать, что число доступных дескрипторов ограничено (и зависит от реализации). Поэтому объекты запросов всегда следует освобождать, также как и коммутаторы, типы данных и т.д. MARMOT выдает предупреждение, когда существуют активные и неосвобожденные запросы на момент вызова MPI_Finalize.

Перекрывание областей памяти. Еще одна проблема – повторное использование памяти, которая находится в использовании на текущий момент, например чтение/запись из/в буфер/-а во время незаконченной операции отправки/приема. Поскольку из множества всех операторов в программе пользователя MARMOT обладает информацией только о вызванных MPI-функциях, то он не в состоянии обнаружить эти ошибки, тем не менее, когда некоторая область памяти, уже переданная в качестве аргумента одной MPI-функции, передается другой, то выдается ошибка.

Как видно, система MARMOT применяет довольно грубые и неточные алгоритмы для поиска самых опасных и трудно-обнаруживаемых вручную ошибок – дедлоков и гонок данных. Также нельзя считать удовлетворительными методы обнаружения ошибок несоответствия. Кроме того, при использовании данного средства Debug Server может стать узким местом, очень негативно влияющим на производительность параллельной программы во время исполнения.

Заключение

В настоящее время при численном решении большой и ресурсоемкой задачи исследователь вы-

нужен распараллеливать задачу для возможности ее исполнения на вычислительных кластерах. Во время работы такая параллельная программа представляет собой набор процессов, запущенных на разных узлах кластера и обменивающихся данными друг с другом посредством сетевого сегмента. Вследствие этого взаимодействия и использования программных интерфейсов, созданных для поддержки разработки параллельных приложений, возникает множество новых ошибок, крайне сложных для обнаружения без специализированных инструментальных средств. Применительно к программам, созданным при помощи интерфейса MPI, из множества данных ошибок можно выделить такие подклассы, как ошибки неверного использования внутренних объектов MPI-реализации; ошибки синхронизации при организации взаимодействия процессов (гонки данных, дедлоки); несоответствия в операциях отправки/приема.

При разработке систем отладки MPI-программ используются различные подходы. В общем случае каждый класс средств отладки наиболее подходит для обнаружения того или иного типа ошибок. Так, при помощи диалоговых отладчиков удобно обнаруживать ошибки несоответствия, но они практически бесполезны при поиске ошибок, обусловленных недетерминированным поведением параллельной программы. Сильной стороной метода верификации модели программы является, напротив, простота выявления ошибок синхронизации, но, поскольку система работает не с самой программой, а с моделью, абстрагированной от конкретных типов данных, то невозможно становится обнаружение неверного использования внутренних объектов и типов данных MPI. Автоматический анализ корректности по собранной трассе приводит к большому накладным расходам при работе параллельной программы, поскольку в этом случае ведется запись на жесткий диск файла трассы вызванных MPI-функций, а, как известно, операции по обращению к диску крайне медленны по сравнению с работой процессора с оперативной памятью и тем более процессорным кешем. Для сравнительной отладки требуется корректно работающий эталонный вариант программы и также нельзя не отметить неконтролируемого разрастания файла полной трассы, необходимого для тотального анализа отлаживаемой программы.

Автоматический анализ MPI-программ во время исполнения лишен вышеперечисленных недостатков. Благодаря использованию эвристических алгоритмов позволяет обнаруживать все типы ошибок и требует незначительных накладных расходов – коммуникации между сервером отладки (специально выделенном для этих целей узле кластера) и вычислительными узлами содержат только метадачные пересылки. Имеющееся на сегодняшний день сред-

ство этой категории – система MARMOT – обладает серьезным архитектурным недостатком – сервер отладки может стать узким местом при анализе параллельного приложения и, к тому же, алгоритмы, используемые MARMOT, нельзя назвать совершенными. В связи с этим в будущем следует ожидать развития программных систем автоматического анализа параллельных программ во время исполнения и появления новых архитектурных решений при построении средств этой категории.

Литература

1. Средства отладки OPENMP-программ в DVM-системе / В. А. Алексахин, В. О. Барина, В. А. Бахтин и др. // Тр. Всеросс. науч. конф. «Научный сервис в сети Интернет: технология распределённых вычислений» 22-27 сентября 2008 г., г. Новороссийск – М.: Изд-во МГУ, 2008.
2. Средства отладки MPI-программ в DVM-системе / В. Ф. Алексахин, К. Н. Ефимкин, В. Н. Ильяков и др. // Тр. Всеросс. науч. конф. «Научный сервис в сети Интернет: технология распределённых вычислений» 19-24 сентября 2005 г., г. Новороссийск – М.: Изд-во МГУ, 2005. – С. 113 – 115.
3. Афанасьев К. Е. Многопроцессорные вычислительные системы и параллельное программирование / К. Е. Афанасьев, С. В. Стуколов. – Кемерово: Кузбассвузиздат, 2003. – 233 с.
4. Эдмунд, М. Верификация моделей программ: Model Checking / М. Эдмунд, Кларк, О. Грамберг, Д. Пелед. – М.: издательство Московского центра непрерывного математического образования, 2002. – 416 с.
5. Desouza J. Automated, scalable debugging of MPI programs with Intel Message Checker / J. Desouza, B. Kuhn, B. Supinski // Proceedings of the second international workshop on Software engineering for high performance computing system applications. – St. Louis, Missouri, 2005. – P. 78 – 82.
6. Krammer B. MPI Application Development Using the Analysis Tool MARMOT / B. Krammer, M. Mueller, M. Resch // Lecture Notes in Computer Science. Vol. 3038. – Springer Berlin, 2004. – P. 464 – 471.
7. Siegel S. Verifying Parallel Programs with MPI-Spin / S. Siegel // Proceedings of the 14th European PVM/MPI Users' Group Meeting. – Paris, September/October 2007. – P. 13 – 14.

Научный руководитель – К. Е. Афанасьев – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой ЮНЕСКО по НИТ КемГУ.

Рецензент – В. П. Потапов – директор института угля и углекислоты СО РАН.

МАТЕМАТИКА

УДК 539.3

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НИЗШИХ СОБСТВЕННЫХ ЧАСТОТ СЛОИСТОЙ КОМПОЗИТНОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ, НАГРУЖЕННОЙ ОСЕСИММЕТРИЧНЫМ ВНЕШНИМ ДАВЛЕНИЕМ

А. Н. Андреев, Е. В. Тайлакова

Исследованы собственные частоты круговой цилиндрической слоистой композитной оболочки, нагруженной статическим осесимметричным внешним давлением.

Eigen frequencies problem of a circular cylindrical multilayered composite shell loading external static axial symmetry pressure is investigated.

Ключевые слова: дифференциальное уравнение, краевая задача, оболочка, композит, устойчивость, колебания, частота, инвариантное погружение.

1. Общие соотношения

Рассмотрим слоистую цилиндрическую композитную оболочку радиуса R и толщины h , каждый слой которой армирован волокнами постоянного сечения либо в осевом, либо в окружном направлении. В качестве отсчетной поверхности принимаем внутреннюю поверхность оболочки. В теле оболочки вводим цилиндрическую систему координат x, ϕ, z , где x – расстояние, отсчитываемое вдоль образующей от края оболочки ($0 \leq x \leq l$), ϕ – угловая координата ($0 \leq \phi \leq 2\pi$), z – поперечная координата ($0 \leq z \leq h$). Уравнения поверхностей раздела j -го и $(j+1)$ -го слоев ($j=1, 2, \dots, m-1$) запишутся в виде:

$$z = h_j \quad (0 = h_0 < h_1 < \dots < h_{m-1} < h_m = h). \quad (1.1)$$

Примем, что оболочка нагружена осесимметричным внешним давлением

$$\sigma_{zz}^h = -P_0 P(x), \quad (1.2)$$

где P_0 – постоянный множитель, имеющий размерность напряжения, $P(x)$ – функция осевой координаты. Для описания механического поведения оболочки под нагрузкой используем нелинейную неклассическую динамическую систему уравнений [1, 2], позволяющую учесть поперечные сдвиговые деформации и включающую в себя следующие группы зависимостей ($k=1, 2, \dots, m$ – порядковый номер слоя):

– соотношения упругости, записанные для k -го слоя

$$\begin{aligned} \sigma_{xx}^k &= a_{11}^k \varepsilon_{xx}^k + a_{12}^k \varepsilon_{\phi\phi}^k, \\ \sigma_{\phi\phi}^k &= a_{12}^k \varepsilon_{xx}^k + a_{22}^k \varepsilon_{\phi\phi}^k, \\ \sigma_{x\phi}^k &= \sigma_{\phi x}^k = a_{33}^k \gamma_{x\phi}^k, \\ \tau_{xz}^k &= G_{13}^k \gamma_{xz}^k, \quad \tau_{\phi z}^k = G_{23}^k \gamma_{\phi z}^k; \end{aligned} \quad (1.3)$$

– закон распределения физических составляющих вектора перемещений по толщине пакета слоев

(здесь и всюду в дальнейшем отброшены слагаемые порядка h/R как величины, малые по сравнению с 1)

$$\begin{aligned} v_x^k &= u_x - z \frac{\partial w}{\partial x} + \mu_{11}^k(z) \pi_x, \\ v_\phi^k &= u_\phi - \frac{z}{R} \frac{\partial w}{\partial \phi} + \mu_{22}^k(z) \pi_{\phi x}, \\ v_z^k &= w(x, \phi); \end{aligned} \quad (1.4)$$

– соотношения деформации – перемещения

$$\begin{aligned} \gamma_{xz}^k &= \frac{f'(z) \pi_x}{G_{13}^k}, \quad \gamma_{\phi z}^k = \frac{f'(z) \pi_\phi}{G_{23}^k}, \quad \varepsilon_{zz}^k = 0, \\ \varepsilon_{xx}^k &= \frac{\partial u_x}{\partial x} - z \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \mu_{11}^k(z) \frac{\partial \pi_x}{\partial x} + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial x} \right)^2, \\ \varepsilon_{\phi\phi}^k &= \frac{1}{R} \left(\frac{\partial u_\phi}{\partial \phi} - \frac{z}{R} \frac{\partial^2 w}{\partial \phi^2} + \mu_{22}^k(z) \frac{\partial \pi_\phi}{\partial \phi} + w \right) + \\ &+ \frac{1}{2} \left(\frac{1}{R} \frac{\partial w}{\partial \phi} \right)^2, \end{aligned} \quad (1.5)$$

$$\begin{aligned} \gamma_{x\phi}^k &= \frac{\partial u_\phi}{\partial x} - 2 \frac{z}{R} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial \phi} + \mu_{22}^k(z) \frac{\partial \pi_\phi}{\partial x} + \\ &+ \frac{1}{R} \left(\frac{\partial u_x}{\partial \phi} + \mu_{11}^k(z) \frac{\partial \pi_x}{\partial \phi} \right) + \frac{1}{R} \frac{\partial w}{\partial x} \frac{\partial w}{\partial \phi}; \end{aligned}$$

– выражения физических составляющих обобщенных усилий и моментов в отсчетной поверхности оболочки через составляющие напряжений в ее слоях

$$\begin{aligned} [T_{xx}, M_{xx}, S_{xx}] &= \sum_{k=1}^m \int_{h_{k-1}}^{h_k} \sigma_{xx}^k [1, z, \mu_{11}^k(z)] dz, \\ [T_{x\phi}, M_{x\phi}, S_{x\phi}] &= \sum_{k=1}^m \int_{h_{k-1}}^{h_k} \sigma_{x\phi}^k [1, z, \mu_{22}^k(z)] dz, \end{aligned}$$

$$[T_{\varphi x}, M_{\varphi x}, S_{\varphi x}] = \sum_{k=1}^m \int_{h_{k-1}}^{h_k} \sigma_{\varphi x}^k [1, z, \mu_{11}^k(z)] dz,$$

$$[T_{\varphi \varphi}, M_{\varphi \varphi}, S_{\varphi \varphi}] = \sum_{k=1}^m \int_{h_{k-1}}^{h_k} \sigma_{\varphi \varphi}^k [1, z, \mu_{22}^k(z)] dz, \quad (1.6)$$

$$[Q_x, Q_\varphi] = \sum_{k=1}^m \int_{h_{k-1}}^{h_k} \left[\frac{\tau_{xz}^k}{G_{13}^k}, \frac{\tau_{\varphi z}^k}{G_{23}^k} \right] f'(z) dz;$$

– представления интегральных характеристик даламберовых массовых сил инерции (точка – знак частного дифференцирования по времени t)

$$[\ddot{X}_x, \ddot{Y}_x, \ddot{Z}_x] =$$

$$= \sum_{k=1}^m \int_{h_{k-1}}^{h_k} \rho_k \left(\ddot{u}_x - z \frac{\partial \ddot{w}}{\partial x} + \mu_{11}^k(z) \ddot{\pi}_x \right) [1, z, \mu_{11}^k(z)] dz,$$

$$[\ddot{X}_\varphi, \ddot{Y}_\varphi, \ddot{Z}_\varphi] =$$

$$= \sum_{k=1}^m \int_{h_{k-1}}^{h_k} \rho_k \left(\ddot{u}_\varphi - \frac{z}{R} \frac{\partial \ddot{w}}{\partial \varphi} + \mu_{22}^k(z) \ddot{\pi}_\varphi \right) [1, z, \mu_{22}^k(z)] dz,$$

$$\ddot{I} = \ddot{w} \sum_{k=1}^m \int_{h_{k-1}}^{h_k} \rho_k dz; \quad (1.7)$$

– выражения для величин $\mu_{\alpha\alpha}^k(z)$ ($\alpha=1, 2$)

$$\mu_{\alpha\alpha}^k(z) = \frac{f(z) - f(h_{k-1})}{G_{\alpha 3}^k} + \sum_{j=1}^{k-1} \frac{f(h_j) - f(h_{j-1})}{G_{\alpha 3}^j}; \quad (1.8)$$

– дифференциальные уравнения движения элемента оболочки

$$\frac{\partial T_{xx}}{\partial x} + \frac{1}{R} \frac{\partial T_{\varphi x}}{\partial \varphi} - \ddot{X}_x = 0, \quad \frac{1}{R} \frac{\partial T_{\varphi \varphi}}{\partial \varphi} + \frac{\partial T_{x\varphi}}{\partial x} - \ddot{X}_\varphi = 0, \quad (1.9)$$

$$\frac{\partial^2 M_{xx}}{\partial x^2} + \frac{2}{R} \frac{\partial^2 M_{x\varphi}}{\partial x \partial \varphi} + \frac{\partial}{\partial x} \left(T_{xx} \frac{\partial w}{\partial x} \right) +$$

$$+ \frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial x} \left(T_{\varphi x} \frac{\partial w}{\partial \varphi} \right) + \frac{1}{R^2} \frac{\partial^2 M_{\varphi\varphi}}{\partial \varphi^2} - \frac{T_{\varphi\varphi}}{R} +$$

$$+ \frac{1}{R^2} \frac{\partial}{\partial \varphi} \left(T_{\varphi\varphi} \frac{\partial w}{\partial \varphi} \right) + \frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial \varphi} \left(T_{\varphi x} \frac{\partial w}{\partial x} \right) -$$

$$- \ddot{I} - \frac{\partial \ddot{Y}_x}{\partial x} - \frac{1}{R} \frac{\partial \ddot{Y}_\varphi}{\partial \varphi} = P_0 P(x),$$

$$\frac{\partial S_{xx}}{\partial x} + \frac{1}{R} \frac{\partial S_{\varphi x}}{\partial \varphi} - Q_x - \ddot{Z}_x = 0,$$

$$\frac{1}{R} \frac{\partial S_{\varphi\varphi}}{\partial \varphi} + \frac{\partial S_{x\varphi}}{\partial x} - Q_\varphi - \ddot{Z}_\varphi = 0.$$

Функциональный параметр $f(z)$ принимаем в виде:

$$f(z) = z^3 - \frac{3}{2} h z^2,$$

соответствующем [1] квадратичному закону изменения поперечных сдвиговых напряжений по толщине пакета слоев.

Итак, составлена неклассическая замкнутая система дифференциальных уравнений (1.3) – (1.9), описывающая процесс нелинейного динамического деформирования слоистой упругой цилиндрической оболочки с конечной сдвиговой жесткостью. Порядок этой системы равен 12 и от числа слоев не зависит. В корректно поставленной краевой задаче такой порядок требует задания на границе области шести краевых условий. В рассмотренном ниже случае жесткого защемления краев эти условия сводятся к обращению в нуль на торцах оболочки обобщенных перемещений:

$$\text{при } x=0, l \quad w = \frac{\partial w}{\partial x} = u_x = u_\varphi = \pi_x = \pi_\varphi = 0 \quad (1.10)$$

и 2π – периодичности решения по угловой координате φ . В (1.4) – (1.10) w, u_x, u_φ – соответственно прогиб, осевая и угловая составляющие вектора перемещений отсчетной поверхности, π_x, π_φ – обобщенные перемещения, связанные с учетом поперечных сдвигов. Отметим, что в результате предельного перехода

$$G_{13}^k \rightarrow \infty, \quad G_{23}^k \rightarrow \infty$$

сформулированная система дифференциальных уравнений преобразуется в систему уравнений классической теории оболочек, базирующейся на кинематической модели недеформируемой нормали.

Эффективные жесткости и податливости материалов слоев, необходимые для выполнения конкретных расчетов, определялись на основе уравнений структурной модели армированного слоя [1].

2. Осесимметричный изгиб цилиндрической оболочки

Осесимметричное напряженно-деформированное состояние жестко защемленной ортотропной цилиндрической оболочки, несущей поперечную нагрузку (1.2), определяется путем решения линейной краевой задачи для системы обыкновенных дифференциальных уравнений. Эти уравнения получаются из (1.3) – (1.9), если опустить в последних динамические и нелинейные слагаемые. Кроме того, в этих уравнениях необходимо опустить слагаемые, содержащие частные производные по угловой переменной φ и принять во внимание обращение в нуль угловой составляющей вектора перемещений.

Сформулированная краевая задача приведена к матричной форме:

$$y' = Ay + f, \quad (2.1)$$

$$\text{при } \xi = 0, 1 \quad y_1 = y_2 = y_3 = y_4 = 0 \quad (2.2)$$

и решена методом инвариантного погружения [1, 2]. В (2.1), (2.2) $\xi = x/l$, y – вектор безразмерных кинематических и силовых характеристик напряженно-деформированного состояния. Выражения для компонент 8-мерных векторов y, f и 8×8 матрицы A ввиду их громоздкости здесь не приводятся. Подробно методика вывода уравнений (2.1), (2.2) изложена в [1].

3. Решение статической задачи устойчивости

Задача устойчивости жестко зашпеленной слоистой цилиндрической оболочки, нагруженной осесимметричным внешним давлением, решена в рамках концепции Эйлера о разветвлении форм равновесия. Неклассическая система линейных дифференциальных уравнений задачи устойчивости, записанная в вариациях, включает в себя следующие группы зависимостей:

- соотношения упругости (1.3);
- закон распределения вариаций составляющих вектора перемещений по толщине пакета слоев (1.4);
- выражения вариаций физических составляющих усилий и моментов в отсчетной поверхности оболочки через вариации составляющих напряжений в ее слоях (1.6);
- соотношения вариации деформаций – вариации перемещений:

$$\begin{aligned} \gamma_{xz}^k &= \frac{f'(z)\pi_x}{G_{13}^k}, \quad \gamma_{\varphi z}^k = \frac{f'(z)\pi_\varphi}{G_{23}^k}, \quad \varepsilon_{zz}^k = 0, \\ \varepsilon_{xx}^k &= \frac{\partial u_x}{\partial x} - z \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \mu_{11}^k(z) \frac{\partial \pi_x}{\partial x} + \frac{\partial w_0}{\partial x} \frac{\partial w}{\partial x}, \\ \varepsilon_{\phi\phi}^k &= \frac{1}{R} \left(\frac{\partial u_\phi}{\partial \phi} - \frac{z}{R} \frac{\partial^2 w}{\partial \phi^2} + \mu_{22}^k(z) \frac{\partial \pi_\phi}{\partial \phi} + w \right), \\ \gamma_{x\phi}^k &= \frac{\partial u_\phi}{\partial x} - 2 \frac{z}{R} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial \phi} + \mu_{22}^k(z) \frac{\partial \pi_\phi}{\partial x} + \\ &+ \frac{1}{R} \left(\frac{\partial u_x}{\partial \phi} + \mu_{11}^k(z) \frac{\partial \pi_x}{\partial \phi} \right) + \frac{1}{R} \frac{\partial w_0}{\partial x} \frac{\partial w}{\partial \phi}; \end{aligned} \quad (3.1)$$

(здесь и ниже знаком «0» отмечены характеристики основного состояния, найденные путем решения задачи осесимметричного изгиба оболочки);

- уравнения нейтрального равновесия:

$$\begin{aligned} \frac{\partial T_{xx}}{\partial x} + \frac{1}{R} \frac{\partial T_{\varphi\varphi}}{\partial \varphi} = 0, \quad \frac{1}{R} \frac{\partial T_{\varphi\varphi}}{\partial \varphi} + \frac{\partial T_{x\varphi}}{\partial x} = 0, \\ \frac{\partial^2 M_{xx}}{\partial x^2} + \frac{2}{R} \frac{\partial^2 M_{x\varphi}}{\partial x \partial \varphi} + \frac{\partial}{\partial x} \left(T_{xx}^0 \frac{\partial w}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(T_{xx}^0 \frac{\partial w^0}{\partial x} \right) + \\ + \frac{1}{R^2} \frac{\partial^2 M_{\phi\phi}}{\partial \phi^2} - \frac{T_{\phi\phi}}{R} + \frac{1}{R^2} \frac{\partial}{\partial \phi} \left(T_{\phi\phi}^0 \frac{\partial w}{\partial \phi} \right) + \\ + \frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial \phi} \left(T_{\phi x}^0 \frac{\partial w}{\partial x} \right) + \frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial \phi} \left(T_{\phi x}^0 \frac{\partial w^0}{\partial x} \right) = 0, \\ \frac{\partial S_{xx}}{\partial x} + \frac{1}{R} \frac{\partial S_{\varphi\varphi}}{\partial \varphi} - Q_x = 0, \quad \frac{1}{R} \frac{\partial S_{\varphi\varphi}}{\partial \varphi} + \frac{\partial S_{x\varphi}}{\partial x} - Q_\varphi = 0. \end{aligned} \quad (3.2)$$

Перечисленные зависимости вместе составляют полную систему неклассических уравнений устойчивости цилиндрической оболочки и должны интегрироваться при соответствующих краевых условиях. В рассматриваемом здесь случае жесткого зашпеленения краев эти условия заключаются в обращении в нуль на торцах $\xi = 0, \xi = 1$ вариаций составляющих вектора перемещений

$$w = \frac{\partial w}{\partial \xi} = u_x = u_\varphi = \pi_x = \pi_\varphi = 0 \quad (3.3)$$

и в 2π – периодичности решения по угловой координате φ . Спектр бифуркационных нагрузок и соответствующих им форм потери устойчивости определяется путем интегрирования линейной однородной краевой задачи на собственные значения для данной системы дифференциальных уравнений с частными производными. Коэффициенты $T_{xx}^0, T_{\varphi\varphi}^0, \dots$ пропорциональны параметру P_0 и определяются в результате предварительного решения задачи изгиба (2.1), (2.2). Введя безразмерный параметр нагружения $\lambda = P_0/E_1^c$ и вектор y вариаций безразмерных кинематических и силовых параметров напряженно-деформированного состояния оболочки, представим задачу ее устойчивости в матричной форме ($\xi = x/l$):

$$A(D_\varphi) \frac{\partial y}{\partial \xi} = B(D_\varphi) y + \lambda C(\xi, D_\varphi) y, \quad (3.4)$$

$$\|E_6, O_6\| y(0, \varphi) = 0, \quad \|E_6, O_6\| y(1, \varphi) = 0. \quad (3.5)$$

Здесь E_6, O_6 – 6×6 единичная и нулевая матрицы соответственно, A, B, C – 12×12 матрицы, элементы которых – полиномы от дифференциального оператора D_φ ($D_\varphi = \partial/\partial\varphi$) с коэффициентами, зависящими от переменной ξ . Выражения для элементов этих матриц ввиду их громоздкости здесь не приводятся. Решение задачи устойчивости (3.4), (3.5) строим в форме ряда Фурье:

$$y(\xi, \phi) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} y_n(\xi) \exp(in\phi), \quad (3.6)$$

($i = \sqrt{-1}$) с векторными коэффициентами $y_n(\xi)$. Ясно, что представление решения задачи устойчивости в форме (3.6) позволяет удовлетворить условию его 2π -периодичности по угловой координате. Подставляя (3.7) в (3.5), (3.6) и отделяя угловую координату, приходим к распадающимся по индексу n линейным краевым задачам на собственные значения для систем обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$y_n'(\xi) = A_n^{-1}(\xi) B_n(\xi) y_n(\xi) + \lambda A_n^{-1}(\xi) C_n(\xi) y_n(\xi), \quad (3.7)$$

$$\|E_6, O_6\| y_n(0) = 0, \quad \|E_6, O_6\| y_n(1) = 0. \quad (3.8)$$

Элементы матриц $A_n(\xi), B_n(\xi), C_n(\xi)$ получаются из соответствующих элементов матриц A, B, C путем преобразования $D_\varphi \rightarrow n$.

Задача (3.7), (3.8) решена численным методом, изложенным в [1] при следующем выборе координатной системы:

$$w_j(\xi) = \sqrt{2k-1} \cdot P_{k-1}(2\xi-1) e_j, \quad (k=1, 2, \dots, L, \quad j \in J), \quad (3.9)$$

где $P_k(\xi)$ – ортогональные на $[-1, 1]$ многочлены Лежандра, e_j – векторы стандартного ортонорми-

рованного базиса в \mathbf{R}^{12} , J – множество номеров ненулевых столбцов матрицы $\mathbf{C}_n(\xi)$. Выполнен многопараметрический анализ критических интенсивностей давлений и соответствующих им форм потери устойчивости.

4. Собственные колебания оболочки, нагруженной осесимметричным внешним давлением

Пусть интенсивность внешнего давления остается меньше критической. В этом случае равновесное состояние цилиндрической оболочки является устойчивым, и существует режим установившихся гармонических колебаний в окрестности этого состояния. Изучению таких колебаний посвящен настоящий раздел.

Дифференциальные уравнения задачи получим из общей системы нелинейных уравнений динамики (1.3) – (1.9), линеаризовав эту систему в окрестности основного состояния и выполнив преобразование

$$\frac{\partial^2}{\partial t^2} \rightarrow -\omega^2,$$

где ω – частотный параметр. Получающаяся в результате система уравнений включает в себя следующие группы зависимостей:

- соотношения упругости (1.3);
- закон распределения вариаций составляющих вектора перемещений по толщине пакета слоев (1.4);
- выражения вариаций физических составляющих обобщенных усилий и моментов в отсчетной поверхности оболочки через вариации составляющих напряжений в ее слоях (1.6);
- соотношения вариации деформаций – вариации перемещений (3.1)
- представления интегральных характеристик даламберовых массовых сил инерции (1.7)
- уравнения собственных колебаний:

$$\begin{aligned} \frac{\partial T_{xx}}{\partial x} + \frac{1}{R} \frac{\partial T_{\phi x}}{\partial \phi} + \omega^2 X_x &= 0, \\ \frac{1}{R} \frac{\partial T_{\phi\phi}}{\partial \phi} + \frac{\partial T_{x\phi}}{\partial x} + \omega^2 X_\phi &= 0, \\ \frac{\partial^2 M_{xx}}{\partial x^2} + \frac{2}{R} \frac{\partial^2 M_{x\phi}}{\partial x \partial \phi} + \frac{\partial}{\partial x} \left(T_{xx}^0 \frac{\partial w}{\partial x} \right) + \\ + \frac{\partial}{\partial x} \left(T_{xx} \frac{\partial w^0}{\partial x} \right) + \frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial x} \left(T_{\phi x}^0 \frac{\partial w}{\partial \phi} \right) + \\ + \frac{\partial}{\partial x} (\omega^2 Y_x) + \frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial x} \left(T_{x\phi} \frac{\partial w^0}{\partial \phi} \right) + \\ + \frac{1}{R^2} \frac{\partial^2 M_{\phi\phi}}{\partial \phi^2} - \frac{T_{\phi\phi}}{R} + \frac{1}{R^2} \frac{\partial}{\partial \phi} \left(T_{\phi\phi}^0 \frac{\partial w}{\partial \phi} \right) + \end{aligned} \quad (4.1)$$

$$\begin{aligned} + \frac{1}{R^2} \frac{\partial}{\partial \phi} \left(T_{\phi\phi} \frac{\partial w^0}{\partial \phi} \right) + \frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial \phi} \left(T_{\phi x}^0 \frac{\partial w}{\partial x} \right) + \\ + \frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial \phi} \left(T_{\phi x} \frac{\partial w^0}{\partial x} \right) + \frac{\omega^2 \partial Y_\phi}{R \partial \phi} + \omega^2 I = 0, \end{aligned}$$

$$\frac{\partial S_{xx}}{\partial x} + \frac{1}{R} \frac{\partial S_{\phi x}}{\partial \phi} - Q_x + \omega^2 Z_x = 0,$$

$$\frac{1}{R} \frac{\partial S_{\phi\phi}}{\partial \phi} + \frac{\partial S_{x\phi}}{\partial x} - Q_\phi + \omega^2 Z_\phi = 0.$$

Перечисленные зависимости вместе составляют полную систему дифференциальных уравнений задачи о собственных колебаниях нагруженной цилиндрической оболочки и должны интегрироваться при соответствующих краевых условиях. В рассматриваемом здесь случае жесткого защемления краев эти условия заключаются в обращении в нуль на торцах вариаций составляющих вектора перемещений ($\xi = x/l$):

при $\xi = 0, \xi = 1$

$$w = \frac{\partial w}{\partial \xi} = u_x = u_\phi = \pi_x = \pi_\phi = 0 \quad (4.2)$$

и в 2π -периодичности решения по угловой координате ϕ . С математической точки зрения, задача заключается в отыскании значений частотного параметра ω , при которых данная линейная однородная краевая задача для системы уравнений с частными производными допускает нетривиальные решения. Матричная форма этой задачи такова:

$$\mathbf{A}(D_\phi) \frac{\partial \mathbf{y}}{\partial \xi} = \mathbf{B}(D_\phi) \mathbf{y} + \lambda \mathbf{C}(\xi, D_\phi) \mathbf{y} + \omega^2 \mathbf{F}(D_\phi), \quad (4.3)$$

$$\|\mathbf{E}_\phi, \mathbf{O}_\phi\| \mathbf{y}(0, \phi) = \mathbf{0}, \quad \|\mathbf{E}_\phi, \mathbf{O}_\phi\| \mathbf{y}(1, \phi) = \mathbf{0}. \quad (4.4)$$

Здесь $\mathbf{A}, \mathbf{B}, \mathbf{C}, \mathbf{F}$ – 12×12 матрицы, причем первые три из них тождественны одноименным матрицам из (3.4). В (4.3), (4.4) параметр λ рассматривается как известный и варьируется в пределах $0 \leq \lambda < \lambda_c$, где λ_c – безразмерная критическая нагрузка, найденная на предыдущем этапе. Таким образом, неизвестными величинами задачи (4.3), (4.4) служат собственные частоты и соответствующие им нетривиальные решения (собственные вектор-функции), определяющие формы собственных колебаний. Решение этой задачи получено тем же методом, каким было получено решение задачи устойчивости (3.4), (3.5) при использовании координатной системы (3.9).

В таблице 1 приведены данные, иллюстрирующие зависимость трех низших собственных частот от параметра λ . Расчет выполнен для двухслойной оболочки, первый слой которой армирован в окружном направлении, второй – в осевом, при следующих значениях геометрических

$$R/h = 20, \quad R/l = 1, \quad t_1 = t_2 = 0.5h,$$

механических

$$\nu_1^c = \nu_1^a = \nu_2^c = \nu_2^a = 0.3, \quad E_1^c = E_2^c,$$

$$E_1^a = E_2^a, \quad E_1^a / E_1^c = 20$$

и структурных $\omega_1 = \omega_2 = \omega_{z1} = \omega_{z2} = 0.5$

параметров композитной оболочки (t_k – толщина k -го слоя, $E_k^{c(a)}, \nu_k^{c(a)}$ – соответственно модуль Юнга связующего (с) и армирующих элементов (а) k -го слоя, ω_k, ω_{zk} – интенсивности армирования в поверхности k -го слоя и по его высоте соответственно). При вычислениях использовалась структурная модель армированного слоя, уравнения которой приведены в [1], Результаты получены для случая равномерно распределенного внешнего давления и при значении параметра волнообразования $n=6$ (образование именно такого числа окружных волн сопровождается потерю устойчивости оболочки при данных значениях параметров). Из таблицы 1 видно, что при увеличении параметра λ от $\lambda=0$ до $\lambda=0,6\lambda^*$ (т. е. при достижении интенсивности

внешнего давления 60 % от критической) наименьшая собственная частота ω_1 уменьшается почти вдвое. Значения второй (ω_2) и третьей (ω_3) собственных частот также уменьшаются при возрастании интенсивности внешнего давления, но в несколько меньшей степени.

Литература

1. Андреев, А. Н. Многослойные анизотропные оболочки и пластины. Изгиб, устойчивость, колебания / А. Н. Андреев, Ю. В. Немировский. – Новосибирск: Наука, 2001. – 288 с.
2. Механика – от дискретного к сплошному / А. Н. Андреев и др.; отв. редактор В. М. Фомин. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008. – 344 с.

Рецензент – Ю. А. Фадеев – д-р физ.-мат. наук, профессор, ФГОУ ВПО «Кузбасский государственный технический университет».

Таблица 1

<i>Зависимость низших собственных частот от параметра λ</i>							
λ	0	$0,1\lambda^*$	$0,2\lambda^*$	$0,3\lambda^*$	$0,4\lambda^*$	$0,5\lambda^*$	$0,6\lambda^*$
ω_1	1.1988	1.1375	1.0726	1.0035	0.9293	0.8485	0.7590
ω_2	2.0198	1.9868	1.9531	1.9188	1.8839	1.8483	1.8119
ω_3	3.1856	3.1638	3.1419	3.1199	3.0977	3.0753	3.0538

УДК 532.5: 519.652

МЕТОД ЕСТЕСТВЕННЫХ СОСЕДЕЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ВЯЗКОЙ И ИДЕАЛЬНОЙ НЕСЖИМАЕМОЙ ЖИДКОСТИ

К. Е. Афанасьев, Т. С. Рейн, С. Н. Карабцев
(keafa@kemsu.ru)

Данная работа посвящена разработке численных алгоритмов на основе метода естественных соседей для решения задач динамики вязкой и идеальной несжимаемых жидкостей со свободными границами.

The present work is devoted to development of numerical algorithms based on natural element method for solving of hydrodynamics problems with free boundaries.

Ключевые слова: гидродинамические нагрузки, большие деформации, свободные границы, идеальная жидкость, вязкая жидкость, математическое моделирование, комплексы программ.

Введение

Моделирование течений несжимаемой жидкости со свободными границами, сопровождающихся нелинейными эффектами и большими деформациями расчетной области, невозможно без использования современных численных методов. Физические эксперименты для изучения подобных течений оказываются сложными и дорогостоящими, а быстрота протекания реальных процессов делает численные методы практически единственным источником информации о картине течения. Наибольшее распространение в задачах моделирования течений несжимаемой жидкости получили методы конечных разностей, конечных и граничных элементов, ком-

плексный метод граничных элементов, а также метод контрольных объемов [6, 9]. Эти методы принадлежат классу сеточных и обладают одним общим недостатком. В процессе расчета сетка, на которой строится решение, сохраняет свою узловую связность, что, при больших деформациях расчетной области, может приводить к ее вырожденности.

С ростом производительности компьютеров развитие получили бессеточные методы, которые аппроксимируют уравнения в частных производных, основываясь только на наборе узлов, без знания дополнительной информации о структуре сетки. В таких методах отношение соседства частиц не фиксировано и может со временем изменяться, то есть

частицы, бывшие соседями в начальный момент времени, могут со временем расходиться достаточно далеко друг от друга. Характерными представителями этой группы методов являются метод сглаженных частиц (SPH - Smoothed Particle Hydrodynamics) [16], полунявный метод движущихся частиц (MPS - Moving Particle Semi-implicit) [15], метод Лагранжево-Эйлеровых частиц [10]. Данные методы позволяют достаточно точно воспроизводить кинематику течений, однако получение динамических характеристик, необходимых для расчета гидродинамических нагрузок, является трудоемкой задачей. К общим недостаткам бессеточных методов можно отнести сравнительно невысокую точность и трудность введения граничных условий.

Эти обстоятельства заставили исследователей искать новые методы, сочетающие в себе идеи и возможности бессеточного подхода, но вместе с тем обладающие достоинствами сеточных методов. Первым из бессеточных методов нового поколения появился бессеточный метод естественных соседей (Natural Element Method) [19]. Особенность метода NEM в том, что для стационарных задач он является обычным (классическими) методом Галеркина, то есть является сеточным. Для нестационарных задач применяется подход Лагранжа к описанию среды, именно: на каждом шаге по времени по найденному на предыдущем шаге положению узлов строится сетка, определяющая новую структуру соседей для каждой узловой точки области, на которой решается аппроксимированная система уравнений. В силу этого, метод NEM сохраняет некоторые преимущества классического метода Галеркина, а именно: простоту функций формы в области определения, непрерывность между элементами, легкость введения граничных условий. При этом имеет все достоинства бессеточных методов, так как функции формы метода естественных соседей зависят только от положения узловых точек.

В настоящей работе рассматривается численный алгоритм моделирования движения вязкой и идеальной жидкости со свободными границами методом естественных соседей. Приводятся результаты решения задачи о колебаниях жидкости в прямоугольном бассейне и определяются нагрузки на стенки бассейна. Представлено сравнение результатов решения для вязкой жидкости с результатами, полученными при решении задачи движения идеальной жидкости в полной постановке для уравнений Эйлера и комплексного потенциала.

§ 1. Постановка задачи

Выпишем полную нелинейную постановку задачи о движении идеальной несжимаемой жидкости со свободной границей.

В расчетной области течения D , представленной конечным набором узлов, ограниченной свободной поверхностью Γ_0 и твердыми границами Γ_1 , Γ_2 и Γ_3 (рис. 1), задано течение идеальной несжимаемой жидкости, описываемое системой уравнений Эйлера и уравнением неразрывности:

$$\frac{Du_i}{Dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + f_i, \quad \mathbf{x}(t) \in D, \quad i = \overline{1,2}. \quad (1)$$

$$\partial u_i / \partial x_i = 0, \quad \mathbf{x}(t) \in D. \quad (2)$$

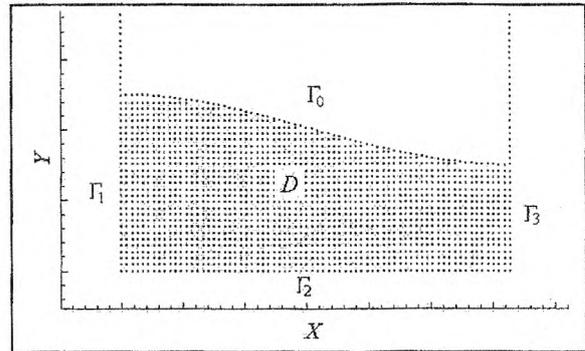


Рис. 1. Схема области течения и основные обозначения

Здесь:

$\mathbf{x}(t) = (x_1(t), x_2(t))$ – пространственные координаты,

$\mathbf{u}(x, t) = (u_1(x, t), u_2(x, t))$ – вектор скорости,

$p(x, t)$ – давление,

ρ – плотность,

$\mathbf{f} = (f_1, f_2) = (0, -g)$ – вектор массовых сил.

Движение расчетных узлов во всей области описывается уравнением вида:

$$dx_i / dt = u_i, \quad \mathbf{x}(t) \in D, \quad i = \overline{1,2}. \quad (3)$$

На свободной поверхности Γ_0 выполняется динамическое условие $p(x, t) = p_{atm}$, на твердых стенках Γ_1 , Γ_2 , Γ_3 выполняется условие непротекания $\mathbf{u} \cdot \mathbf{n} = 0$, где $\mathbf{n} = (n_1, n_2)$ – внешняя нормаль к границе жидкости.

Ниже приводится общая постановка задачи о движении вязкой несжимаемой жидкости. Пусть в области течения D происходит движение ньютоновской вязкой несжимаемой жидкости, описываемое системой уравнений Навье-Стокса и уравнением неразрывности (2). В постановке Эйлера уравнения Навье-Стокса будут иметь следующий вид:

$$\frac{Du_i}{Dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\mu}{\rho} \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) + f_i, \quad i = \overline{1,2}, \quad j = \overline{1,2}. \quad (4)$$

В системе уравнений (2), (4) искомыми функциями являются давление p и вектор скорости \mathbf{u} , параметрами – плотность ρ , вектор внешних сил \mathbf{f} и коэффициент динамической вязкости μ , по повторяющемуся индексу j производится суммирование.

Запишем граничные условия для системы уравнений Навье-Стокса (2), (4). Так как жидкость вязкая, то на твердых стенках Γ_1 , Γ_2 и Γ_3 выполняется условие прилипания: $u_i = 0, i = \overline{1,2}$. На свобод-

ной поверхности Γ_0 , как и случае идеальной жидкости, выполняется динамическое условие $p = p_{атм}$.

Для нестационарной задачи о движении, как вязкой, так и идеальной жидкости, необходимо задать положение расчетных узлов $\mathbf{x}(0) = \mathbf{x}^0$ и распределение неизвестных функций во всей области течения: $\mathbf{u}(\mathbf{x}, 0) = \mathbf{u}^0(\mathbf{x})$, $p(\mathbf{x}, 0) = p^0(\mathbf{x})$.

§ 2. Алгоритм решения

1. Дискретизация по времени

Интегрирование по времени систем уравнений Эйлера и Навье-Стокса, описывающих поведение идеальной и вязкой жидкостей соответственно, представляет некоторые трудности, когда жидкость несжимаемая или слабосжимаемая. В таком случае не может быть использован явный метод интегрирования по времени, в частности, не удастся устранить нефизические осцилляции функции давления. Для систем дифференциальных уравнений в частных производных в работе [12] был предложен в общем виде метод расщепления (метод дробных шагов). Суть этого метода заключается в разбиении физического процесса на два: конвекцию-диффузию и вклад давления. На первом этапе в уравнении движения учитываются только конвективные члены, в результате чего выделяется фиктивная переменная \mathbf{u}^* – предиктор скорости. Второй этап заключается в добавлении к \mathbf{u}^* члена $(-\Delta t \nabla p)$, который будет обеспечивать соленидальность \mathbf{u} на шаге по времени $t + \Delta t$. Для расщепления уравнения движения Навье-Стокса используется выражение:

$$\begin{aligned} \frac{Du_i}{Dt} &\approx \frac{u_i^{n+1} - u_i^n}{\Delta t} = \frac{u_i^{n+1} - u_i^* + u_i^* - u_i^n}{\Delta t} = \\ &= \left(-\frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial x_j} p + \frac{\mu}{\rho} \frac{\partial}{\partial x_j} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + f_i\right)^{n+1/2} \cdot \\ &\left(-\frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial x_j} p + \frac{\mu}{\rho} \frac{\partial}{\partial x_j} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + f_i\right)^{n+1/2} = \\ &= [\phi(\mathbf{x}, t)]^{n+1/2} = \frac{1}{2}(\phi^{n+1} + \phi^n), \end{aligned} \quad (5)$$

где $\Delta t = t^{n+1} - t^n$ – шаг по времени; под символом ϕ^n понимается выражение $\phi^n = \phi(\mathbf{x}^n, t^n)$, соответственно, $u_i^n = u_i(t^n, \mathbf{x}^n)$, $u_i^{n+1} = u_i(t^{n+1}, \mathbf{x}^{n+1})$.

Разделив слагаемые в уравнении (5) в соответствии с идеей метода расщепления, получим следующие выражения для предиктора и корректора скорости:

$$u_i^* = u_i^n + f_i \Delta t + \frac{\mu}{\rho} \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\partial u_i^{*+1/2}}{\partial x_j} \right) \Delta t, \quad (6)$$

$$u_i^{n+1} = u_i^* - \frac{\Delta t}{\rho} \frac{\partial}{\partial x_i} p^{n+1}. \quad (7)$$

При расщеплении уравнения движения Эйлера, вследствие отсутствия в нем слагаемого, отвечающего за вязкость, уравнение (6) переписывается в виде: $u_i^* = u_i^n + \Delta t f_i$. (8)

Для интегрирования уравнения неразрывности вводится фиктивная функция плотности ρ , удовлетворяющая уравнению $D\rho/Dt + \rho \partial u_i / \partial x_i = 0$ [13], тогда

$$\begin{aligned} \frac{D\rho}{Dt} &\approx \frac{\rho^{n+1} - \rho^n}{\Delta t} = \frac{\rho^{n+1} - \rho^* + \rho^* - \rho^n}{\Delta t} = \\ &= \frac{\rho^{n+1} - \rho^*}{\Delta t} + \frac{\rho^* - \rho^n}{\Delta t} = -\rho \frac{\partial(u_i^{n+1} - u_i^* + u_i^*)}{\partial x_i} = \\ &= -\rho \frac{\partial(u_i^{n+1} - u_i^*)}{\partial x_i} - \rho \frac{\partial u_i^*}{\partial x_i}, \end{aligned} \quad (9)$$

где ρ^* , так же как и при расщеплении уравнения движения, является фиктивной переменной. Из выражения (9) получим:

$$\frac{\rho^* - \rho^n}{\Delta t} = -\rho \frac{\partial u_i^*}{\partial x_i}, \quad (10)$$

$$\frac{\rho^{n+1} - \rho^*}{\Delta t} = -\rho \frac{\partial(u_i^{n+1} - u_i^*)}{\partial x_i}. \quad (11)$$

Используя (7) и (11), можно записать уравнение Пуассона для функции давления:

$$\frac{\rho^{n+1} - \rho^*}{\Delta t^2} = \frac{\partial^2 p^{n+1}}{\partial x_i^2}. \quad (12)$$

Подстановка функции ρ^* из уравнения (10) в (12) приводит последнее к виду:

$$\frac{\rho^{n+1} - \rho^n}{\Delta t^2} + \frac{\rho}{\Delta t} \frac{\partial u_i^*}{\partial x_i} = \frac{\partial^2 p^{n+1}}{\partial x_i^2}. \quad (13)$$

Описанный выше метод расщепления относится к классу проекционных методов [4].

Самый простой способ ввести условие несжимаемости – записать равенство: $\rho^{n+1} = \rho^n = \rho^0 = \rho$. Тогда первое слагаемое в левой части уравнения (13) обратится в ноль. Тем не менее при лагранжевом подходе к описанию среды лучше оценить это слагаемое, чтобы избежать накопления численной ошибки на каждом временном шаге. Перепишем условие несжимаемости, полагая, что на временном шаге t^{n+1} плотность равна начальной, то есть $\rho^{n+1} = \rho^0 = \rho$. Однако, из-за вычислительной ошибки, это равенство не обязательно будет выполняться, поэтому значение плотности ρ^n должно оцениваться на каждом временном шаге с учетом упомянутой выше ошибки. Таким образом, уравнение (13) может быть переписано в виде:

$$\frac{\rho^0 - \rho^n}{\Delta t^2} + \frac{\rho}{\Delta t} \frac{\partial u_i^*}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \frac{\partial p^{n+1}}{\partial x_j}. \quad (14)$$

Алгоритм движения по времени состоит из следующих шагов.

I) задание на n -ом временном слое распределения узлов области в виде массива;

II) построение аппроксимирующих функций формы;

III) вычисление предиктора скорости \mathbf{u}^* из системы (6), в случае моделирования движения вязкой жидкости, и из системы (8) – в случае идеальной;

IV) решение уравнения Пуассона (14) для определения давления p^{n+1} ;

V) вычисление нового значения скорости u^{n+1} из уравнения (7) с учетом найденного на шаге IV давления;

VI) вычисление нового положения частиц на $(n+1)$ -ом временном шаге: $x^{n+1} = x^n + u^{n+1} \Delta t$ и далее на шаг I.

2. Основные этапы метода естественных соседей

Метод естественных соседей был предложен Л. Траверсони в 1994 году для решения задач теории пластичности [9]. Этот метод представляет собой разновидность метода Галеркина. Как и в методе Галеркина, неизвестные функции аппроксимируются следующим образом: $q = N^T Q$.

Для формирования дискретной системы уравнений используется метод взвешенных невязок в интегральной форме. При этом интегралы берутся по элементам расширенной триангуляции Делоне [3].

Можно выделить следующие *основные шаги* метода естественных соседей:

- расчетная область разбивается ячейками Вороного первого порядка [7];
- для текущего набора узлов определяется граница расчетной области [15];
- для каждого узла, используя дискретизацию Вороного, определяется множество его естественных соседей;
- генерируются элементы расширенной триангуляции Делоне;
- с помощью метода Галеркина записывается слабая форма уравнений движения и неразрывности. Для аппроксимации неизвестных функций вычисляются функции формы Сибсона и Лапласа и их производные. Для вычисления интегралов используются квадратуры Хаммера;
- полученная система линейных алгебраических уравнений решается методом сопряженных градиентов с предобуславливанием.

3. Интерполяционные функции Сибсона и Лапласа

Интерполяционные функции Сибсона, основанные на понятии естественных соседей [7], базируются на диаграммах Вороного первого и второго порядков и определяются через отношение площадей многоугольников [18]:

$$\alpha_I(x) = A_I(x) / A(x), \quad A(x) = \sum_{j=1}^L A_j(x), \quad I = \overline{1, L}. \quad (15)$$

Здесь L – число естественных соседей для точки $x = (x_1, x_2)$; $A(x)$ – площадь ячейки Вороного первого порядка, в которую входит точка x , $A_I(x)$ – площадь пересечения ячейки Вороного второго порядка точки x и площадью $A(x)$ (рис. 2а).

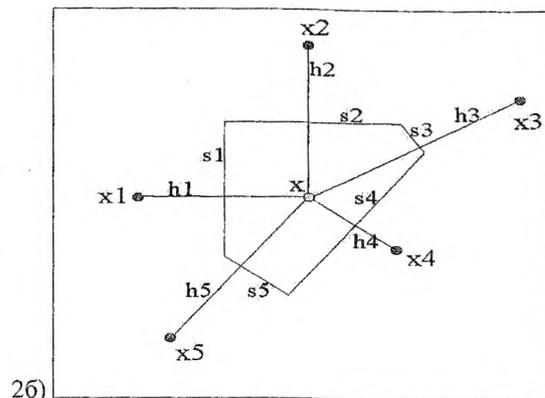
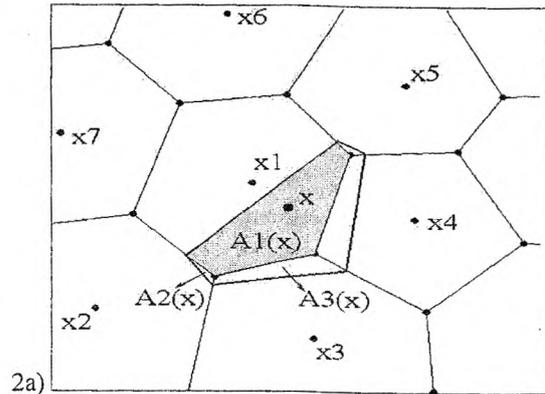


Рис. 2. К построению интерполяции: а) Сибсона; б) Лапласа

Построение интерполяции Лапласа также опирается на определение соседей посредством разбиения области ячейками Вороного [13]. Пусть точка x принадлежит многоугольнику Вороного с числом сторон равным N . Обозначим длины сторон многоугольника через $s_I, I = \overline{1, N}$, а высоты, опущенные из точки x на s_I , через h_I . Тогда интерполяционные коэффициенты Лапласа примут следующий вид:

$$\alpha_I = (s_I / h_I) \left(\sum_{j=1}^N s_j / h_j \right)^{-1}, \quad I = \overline{1, N}. \quad (16)$$

Такой способ определения коэффициентов α_I проще и экономичнее, чем в подходе Сибсона, так как не требует вычисления площадей пересечения многоугольников. На рисунке 2б изображена схема построения интерполяции Лапласа для двумерного случая.

Несибсоновская интерполяция имеет особенность, которая выводится из ее основных свойств. Если для заданного множества точек построить разбиение области ячейками Вороного, то многие из многоугольников разбиения будут треугольными элементами, на которых функции формы Лапласа ведут себя как линейные функции. Тот факт, что точное поведение функций формы на некоторых многоугольниках известно заранее, может упростить задачу интегрирования, а также вычисления производных.

Производные функций формы Сибсона и Лапласа могут быть получены дифференцированием уравнений (15) и (16) соответственно.

На основе функций формы Лапласа можно построить еще один вид интерполяции, основанный на понятии ячеек Вороного: расширенную интерполяцию Лапласа [1]. Ее отличие от классической заключается в выборе множества соседних узлов для точки x , а именно: интерполяция проводится по всем соседям x , удовлетворяющим критерию описанной окружности Делоне [7]. Носитель функции формы в этом случае будет совпадать с носителем интерполяционной функции Сибсона, а коэффициенты интерполяции будут представлять функции формы Лапласа.

Точность использования интерполяционных функций Сибсона и Лапласа проверялась на решении уравнения Пуассона в ограниченной области D при заданном значении правой части по известной функции (метод пробных функций). Будем рассмат-

ривать область D , верхняя граница Γ_1 которой описывается уравнением $y = 0.5 \cdot \sin(x), x \in [0, 2\pi]$, а боковые и нижняя границы $\Gamma_2, \Gamma_3, \Gamma_4$ являются прямыми линиями: $\Gamma_2 : x = 0, y \in [-1, 0]$; $\Gamma_3 : y = -1, x \in [0, 2\pi]$; $\Gamma_4 : x = 2\pi, y \in [-1, 0]$.

В описанной выше области решалось уравнение Пуассона $\Delta u = b$ для функции $u = x \cdot y^2$ с граничными условиями Дирихле на Γ_1 и Неймана на границах $\Gamma_2, \Gamma_3, \Gamma_4$:

$$u = x \cdot y^2, (x, y) \in \Gamma_1;$$

$$\frac{\partial u}{\partial n} = -y^2, (x, y) \in \Gamma_2;$$

$$\frac{\partial u}{\partial n} = -2 \cdot x \cdot y, (x, y) \in \Gamma_3; \quad \frac{\partial u}{\partial n} = y^2, (x, y) \in \Gamma_4.$$

В таблице 1 приводится относительная погрешность значений функции u для различного числа узлов области N .

Таблица 1

Относительная погрешность функций формы (Ф.Ф.) Сибсона, Лапласа и расширенной интерполяции (Р. И.) Лапласа (%)

N	1209	3122	5552	8668	10500
Ф.Ф. Сибсона	$1.1387 \cdot 10^{-3}$	$8.0157 \cdot 10^{-4}$	$6.4594 \cdot 10^{-4}$	$5.1295 \cdot 10^{-4}$	$3.7801 \cdot 10^{-4}$
Ф.Ф. Лапласа	$1.0495 \cdot 10^{-3}$	$5.1352 \cdot 10^{-4}$	$6.9359 \cdot 10^{-4}$	$7.1723 \cdot 10^{-4}$	$7.7108 \cdot 10^{-4}$
Ф.Ф. Р.И.Лапласа	$1.1387 \cdot 10^{-3}$	$6.0531 \cdot 10^{-4}$	$5.0360 \cdot 10^{-4}$	$5.2752 \cdot 10^{-4}$	$4.6223 \cdot 10^{-4}$

Из данных таблицы видно, что с увеличением числа узлов алгоритм решения задачи, использующий для вычисления неизвестных функции формы Сибсона и функции формы расширенной интерполяции Лапласа, дает более точные результаты, чем алгоритм, в основе которого лежат функции формы Лапласа. Однако при одинаковом числе узлов области несибсоновская интерполяция требует меньше времени, чем интерполяция Сибсона и расширенная интерполяция Лапласа.

4. Стабилизация условия несжимаемости в системе уравнений Навье-Стокса

Одной из главных трудностей численного моделирования нестационарных уравнений Навье-Стокса является регуляризация условия несжимаемости (2). В описанном выше методе расщепления по пространственным переменным условие несжимаемости представлено уравнением Пуассона для давления (14). Для устранения нефизических осцилляций функции давления используется метод конечных приращений (Finite Increment Calculus [17]), основанный на понятии дифференциального приближения [11].

Устойчивость решения системы Навье-Стокса методами, основанными на методе Галеркина, обеспечивается выбором конечно-элементных пространств для скорости и давления: степени интерполяционных полиномов компонент вектора скорости и давления должны удовлетворять условию Ладженской-Бабушки-Бреззи (ЛББ). В данной работе

для аппроксимации уравнения неразрывности использовались линейные базисные функции (функции формы расширенной интерполяции Лапласа), для уравнения движения – квадратичные базисные функции (функции формы Сибсона). Построение такого обобщенного метода естественных соседей (GNEM - General Natural Element Method) приводит к удовлетворению условий ЛББ для совместной аппроксимации, что гарантирует невырожденность решения.

Движение идеальной несжимаемой жидкости моделируется методом естественных соседей (NEM), где в качестве интерполяционных функций для скорости и давления используются функции формы Сибсона.

§ 3. Тестовые расчеты

Тестирование метода естественных соседей и обобщенного метода естественных соседей проводилось на решении следующих задач: задача Л. В. Овсянникова о деформации жидкого эллипса – со свободной границей [5] и задача о распределении давления в покоящейся жидкости конечной глубины с твердыми границами.

1. Задача Л. В. Овсянникова о деформации жидкого эллипса

В начальный момент времени область расчета представляет собой круг единичного радиуса, в который заключена несжимаемая жидкость. Деформация круга в эллипс начинается под действием на-

чального распределения скоростей в отсутствии внешних сил.

Распределение поля скоростей следующее: $u_1 = \alpha'(t)/\alpha(t) \cdot x$, $u_2 = -\alpha'(t)/\alpha(t) \cdot y$. С ростом t круг деформируется в эллипс

$x^2/\alpha^2(t) + \alpha^2(t)y^2 = 1$, большая полуось которого $\alpha(t) \rightarrow \infty$, а малая $1/\alpha(t) \rightarrow 0$ при $t \rightarrow \infty$. Коэффициент $\alpha(t)$ находится из решения задачи:

$$(\alpha^4(t) + 1)\alpha(t)\alpha''(t) = 2(\alpha'(t))^2, \quad (17)$$

$$\alpha(0) = 1, \alpha'(0) = 1.$$

Обыкновенное дифференциальное уравнение (17) второго порядка решалось методом Рунге-Кутта-Фельдберга. Полученные значения $\alpha(t)$ на различных временных шагах использовались для сравнения с численными результатами, найденными методом естественных соседей.

Общая постановка задачи, как правило, приводится для идеальной несжимаемой жидкости. Основное отличие моделирования течений вязкой и идеальной жидкостей заключается в постановке граничных условий для функции скорости на жесткой границе. Так как в задаче о деформации жидкого эллипса вся граница расчетной области является свободной, то данную задачу можно использовать для тестирования алгоритма движения по времени как для идеальной жидкости, так и для вязкой, при значении коэффициента динамической вязкости $\mu = 0$.

Начальное поле скоростей с учетом (17) задавалось в виде: $u_1(0) = x$, $u_2(0) = -y$. Давление на границе круга постоянно: $p = 0$. Расчеты проводились с шагом по времени $\Delta t = 1 \cdot 10^{-3}$ для различного числа узлов области. В таблице 2 для 1350 узлов приведены значения относительного отклонения длины главной полуоси.

Таблица 2

Относительная погрешность главной полуоси эллипса $\Delta(a(t))$, %

$t, [c]$	0.1	0.4	0.6	1.0	1.3	1.65
Идеальная жидкость	0.0258	0.0462	0.0805	0.1005	0.1284	0.1519
Вязкая жидкость	0.0274	0.0483	0.0840	0.1107	0.1380	0.1596

Таблица 3

Относительная погрешность значений функции давления $\Delta(p)$ %

N	300	600	900	1200	1500	1800
Вязкая жидкость	0.028	0.017	0.0094	0.0051	0.0024	0.00103
Идеальная жидкость	0.026	0.014	0.0087	0.0050	0.0022	0.00094

Из представленных данных видно, что результаты решения задачи методом естественных соседей (идеальная жидкость) и обобщенным методом естественных соседей (вязкая жидкость) хорошо согласуются с результатами метода Рунге-Кутта.

2. Задача об определении давления в покоящейся жидкости

Поиск давления в методах NEM и GNEM является неотъемлемой составной частью алгоритма движения по времени, в то время как во многих численных методах, в частности, в методе КМГЭ, поиск давления является дополнительной краевой задачей на основе известного распределения поля скоростей на каждом временном шаге. В качестве тестовой рассматривалась задача об определении поля давления в покоящейся жидкости в прямоугольной области Ω , верхняя граница которой являлась свободной, а боковые и нижняя – твердыми стенками.

Задача решалась для различного числа узлов расчетной области в отсутствии внешних сил и при

наличии нулевого начального распределения скоростей. На свободной границе задавалось условие $p = 0$, на твердых границах – $\partial p / \partial n = 0$. Расчеты проводились до момента времени $t = 5$ с. Во все время расчета численное давление было близко к гидростатическому. В таблице 3 представлена относительная погрешность функции давления для различного числа узлов области N для случаев вязкой и идеальной жидкостей.

§ 4. Численные расчеты

Применимость методов NEM и GNEM для моделирования течений идеальной и вязкой несжимаемой жидкостей демонстрируется на решении задачи о колебаниях жидкости в прямоугольном бассейне и определении нагрузок на стенки бассейна. Задача формулируется следующим образом. В расчетной области $D: x \in [0; \pi]$, $y \in [0; 1 + 0.25 \cos(x)]$ под действием силы тяжести происходит движение жидкости (рис. 1). В начальный момент времени

распределение поля скоростей $\vec{u}(x, 0) = 0$. Выбранное возвышение жидкости в начальный момент времени не приводит к образованию нелинейных режимов движения, при которых происходит формирование и дальнейшее обрушение волновых структур. Вследствие этого, профили свободной границы, а также значения гидродинамических нагрузок [19], создаваемых идеальной жидкостью на твердых стенках, сравниваются с результатами, полученными комплексным методом граничных элементов для потенциальной модели идеальной жидкости [8].

Для расчетов методом NEM использовалось 3220 узлов области, из них на жесткой границе – 209, на свободной – 105. Число узлов на свободной границе области в методе КМГЭ также было выбрано 105. Задача является неустойчивой, если используется постоянный шаг по времени. В данной работе шаг по времени выбирался из следующего условия [9]:

$$\Delta t = \min_x \left\{ \frac{s}{|u(x, t)|} \right\}, \quad (18)$$

где $s = \min_{i \neq j} |x_j - x_i|$ – минимальное расстояние между узлами расчетной области.

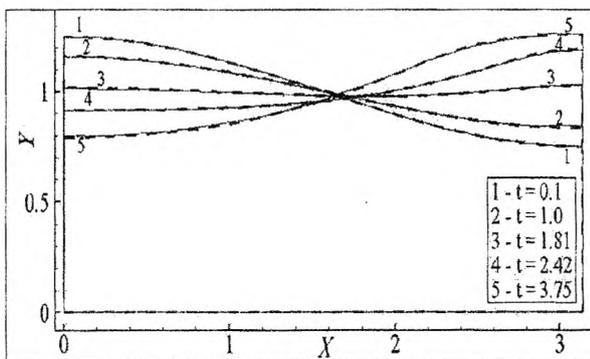


Рис. 3. Положение свободной границы идеальной жидкости в различные моменты времени

На рисунке 3 приведены профили свободной границы идеальной жидкости для метода естественных соседей (сплошная линия) и комплексного метода граничных элементов (пунктирная линия).

Из приведенного сравнения видно, что профили свободной границы идеальной жидкости, полученные методом естественных соседей, хорошо согласуются с результатами, полученными комплексным методом граничных элементов.

Также для различных значений числа Рейнольдса: $Re = 400$, $Re = 10000$, $Re = 50000$ проводилось моделирование колебаний вязкой несжимаемой жидкости обобщенным методом естественных соседей. Хорошее совпадение с приведенными на рисунке 3 профилями свободной границы наблюдается при $Re = 50000$.

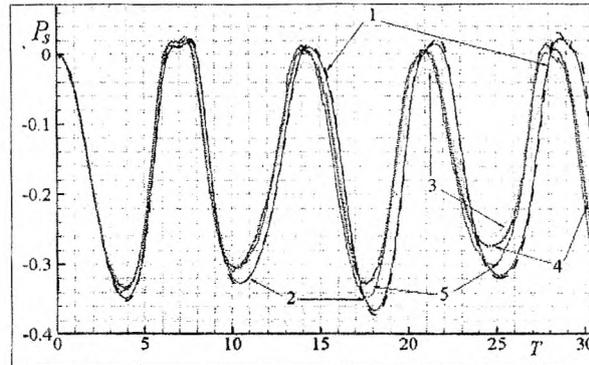


Рис. 4. Кривые динамических нагрузок

На рисунке 4 представлено сравнение хронограмм динамических нагрузок на левой вертикальной стенке области, рассчитанных КМГЭ (идеальная жидкость, потенциальная постановка, кривая 1), NEM (идеальная жидкость, нелинейная постановка, кривая 2), GNEM (вязкая жидкость, кривые 3-5 соответствующие значения числа Рейнольдса – $Re = 400; 10000; 50000$). Из представленных результатов видно, что хронограммы нагрузок, создаваемые идеальной жидкостью, полученные методами NEM и КМГЭ, совпадают с графической точностью. Хронограммы динамической нагрузки вязкой жидкости на твердых стенках бассейна лежат ниже кривых 1 и 2, отражающих значения нагрузок для идеальной жидкости. Для системы уравнений Навье-Стокса на жестких границах было задано условие прилипания, что означает отсутствие скольжения вдоль границы (для идеальной жидкости на жестких границах выполняется условие непротекания). В связи с этим в вязкой жидкости скорость приграничных частиц жидкости и соответственно давление на твердые границы ниже, чем в идеальной. Однако с увеличением числа Рейнольдса до 50000 значение нагрузок вязкой жидкости приближается к кривой 2, рассчитанной методом естественных соседей

Одним из важнейших преимуществ метода естественных соседей перед классическими сеточными методами является возможность численного моделирования течений, сопровождающихся большими деформациями расчетной области. Для получения моментов обрушения изменим расчетную область следующим образом:

$$D: x \in [0; \pi], y \in [-2; 1.1 \cos(x)].$$

Решение задачи осуществлялось методами NEM, GNEM и КМГЭ для числа узлов области 3690, из которых 145 узлов принадлежат свободной границе, 254 – твердой. Шаг по времени также выбирался из условия 18. Комплексный метод граничных элементов позволяет проводить моделирование лишь до момента обрушения. Дальнейший расчет становится невозможен вследствие нарушения связности области. Метод естественных соседей позволяет проводить моделирование как самого процесса обрушения, так и движения жидкости после него. На рисунке 5 приведено сравнение профилей свободной границы, полученной различными методами. Кри-

вая 1 соответствует методу NEM, 2 – GNEM, 3 (пунктирная линия) – КМГЭ. Результаты сравнения показывают достаточно точное совпадение профилей границ. Наибольшее расхождение соответствует моменту времени непосредственно перед обрушением гребня волны.

Момент соприкосновения гребня волны с подошвой происходит для разных методов в разные моменты времени: для NEM – $t = 4,56$, для GNEM – $t = 4,5$, для КМГЭ – $t = 4,61$. Моделирование течения после момента обрушения возможно методами NEM и GNEM. На рисунке 6 приведены картины

течения после моментов обрушения. Закраска области выполнена в соответствии с полем давления.

На рисунке 7 приведены хронограммы динамических нагрузок, создаваемых вязкой и идеальной жидкостями на правой и левой вертикальных стенках: кривая 1 (сплошная) – расчет методом NEM, кривая 2 (штрихпунктирная) – GNEM, кривая 3 (пунктирная) – КМГЭ. После момента обрушения гребня волны приведены значения нагрузок, полученных методами NEM и GNEM.

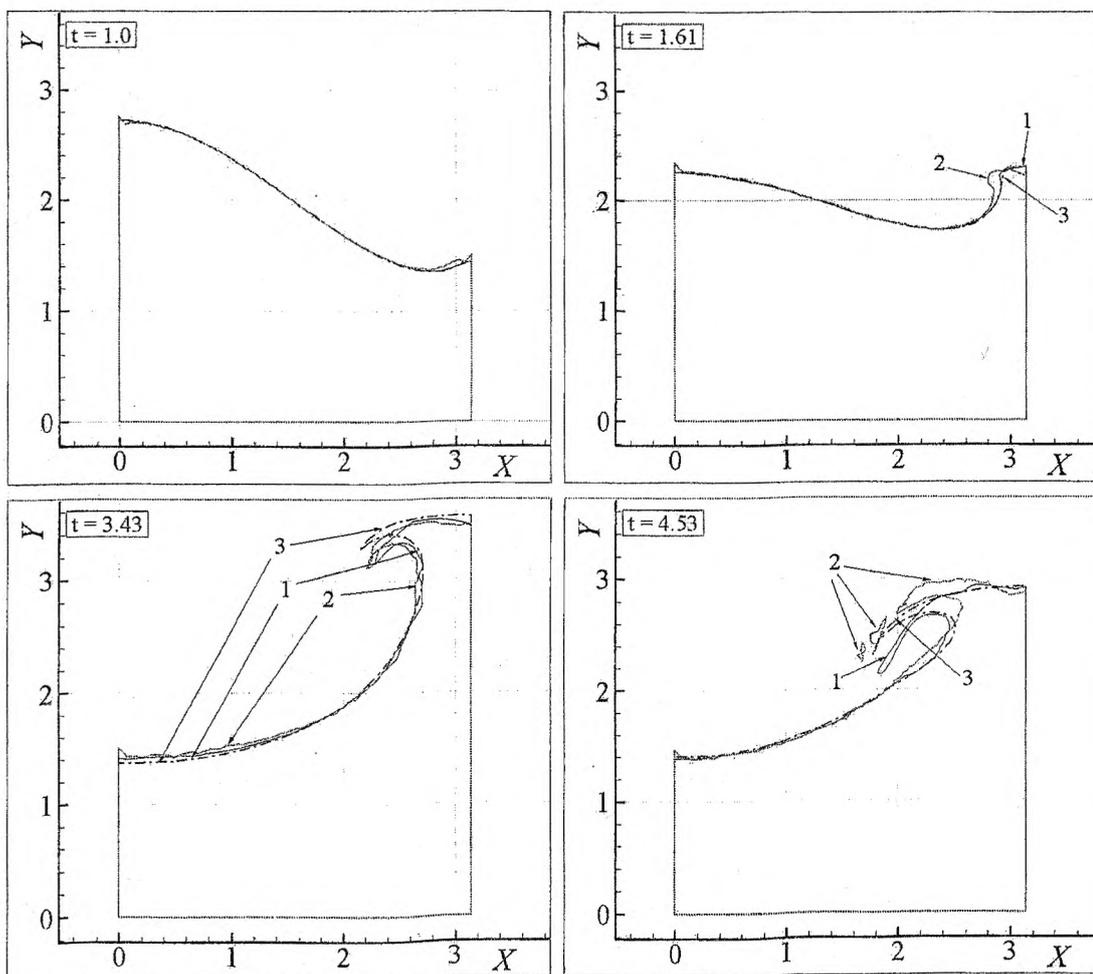
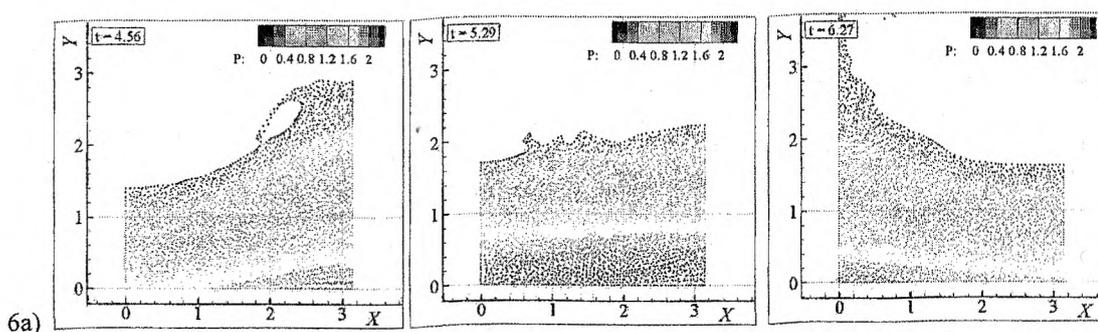


Рис. 5. Сравнение профилей свободной границы: кривая 1 – NEM, 2 – GNEM, 3 – КМГЭ



6а)

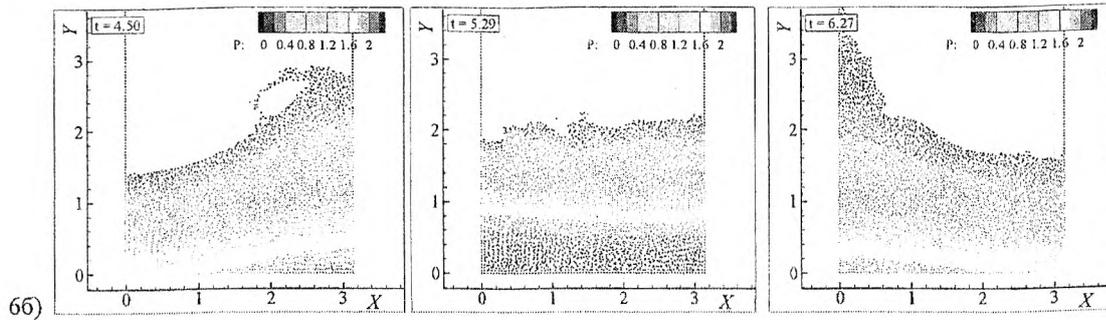


Рис. 6. Картина течения после момента обрушения: а) NEM, б) GNEM

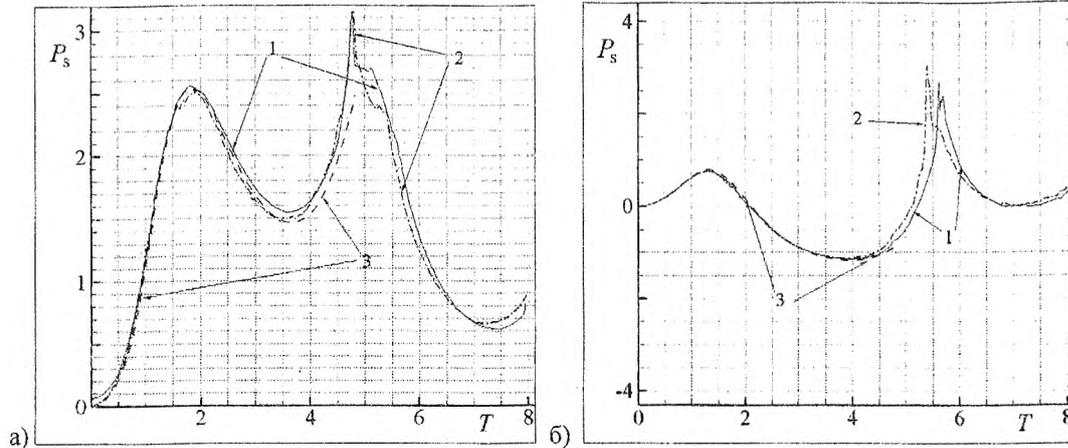


Рис. 7. Динамическая нагрузка: а) правая стенка, б) левая стенка

Для контроля консервативности представленных методов NEM и GNEM проводилась проверка закона сохранения полной энергии системы. К концу расчета относительное отклонение энергии для метода NEM составило 0,7 %, а для GNEM – 0,93 %.

Заключение

В работе предложена модификация метода естественных соседей, позволяющая проводить численное моделирование задач динамики вязкой и идеальной несжимаемой жидкостей со свободными границами на всех этапах вычислительного эксперимента, включая этапы сильно нелинейного поведения течения с образованием многосвязности расчетной области. Характерной особенностью представленных методов NEM и GNEM является возможность расчета давления жидкости в области и на границе, которое в дальнейшем может быть использовано для получения значений динамических нагрузок, создаваемых жидкостью на твердых стенках области.

Развитие условно-бессеточных численных методов – метода естественных соседей и обобщенного метода естественных соседей – является важной и актуальной задачей для моделирования течений идеальной и вязкой несжимаемой жидкостей, что дало возможность получать решение новых задач со свободными границами, решение которых традиционными методами или весьма затруднительно, или вообще невозможно.

Литература

- Афанасьев, К. Е. Сравнительное исследование алгоритмов интерполяции Сибсона и Лапласа / К. Е. Афанасьев, Т. С. Рейн // Труды VII Всероссийской научно-практической конференции «Инновационные недра Кузбасса. IT-технологии». – Кемерово: ИНТ, 2008. – С. 286 – 291.
- Беликов, В. В. Несибсоновская интерполяция – новый метод интерполяции значений функции на произвольной системе точек / В. В. Беликов, В. Д. Иванов, В. К. Конторович, С. А. Корытник, А. Ю. Семенов // Вычислительная математика и математическая физика. – 1997. – Т. 37. – № 1. – С. 11 – 17.
- Карабцев, С. Н. Эффективный алгоритм генерации конечноэлементной сетки для метода естественных соседей / С. Н. Карабцев, С. В. Стуколов // Материалы III Международной научной летней школы «Гидродинамика больших скоростей и численное моделирование». – Кемерово: ИНТ, 2006. – С. 401 – 409.
- Марчук, Г. И. Введение в проекционно-сеточные методы / Г. И. Марчук, В. И. Агощков. – М.: Наука, 1981. – 416 с.
- Овсянников, Л. В. Общие уравнения и примеры. Задача о неустановившемся движении жидкости со свободной границей / Л. В. Овсянников. – Новосибирск: Наука, 1967.

6. Патанкар, С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости / С. Н. Патанкар. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 152 с.
7. Скворцов, А. В. Триангуляция Делоне и ее применение / А. В. Скворцов. – Томск: ТГУ, 2002. – 128 с.
8. Стуколов, С. В. Решение нелинейных волновых задач гидродинамики идеальной жидкости комплексным методом граничных элементов: автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. – Кемерово, 1999. – 26 с.
9. Терентьев, А. Г. Численные методы в гидродинамике: учебное пособие / А. Г. Терентьев, К. Е. Афанасьев. – Чебоксары: Чуваш. ун-т., 1987. – 80 с.
10. Франк, А. М. Дискретные модели несжимаемой жидкости / А. М. Франк. – М.: Физматлит, 2001. – 208 с.
11. Шокин, Ю. И. Метод дифференциального приближения / Ю. И. Шокин. – Новосибирск: Наука, 1979. – 224 с.
12. Яненко, Н. Н. Об экономичных неявных схемах (метод дробных шагов) / Н. Н. Яненко // Докл. АН СССР. – 1960. – Т. 134. – 5 с.
13. Chorin, A. Numerical solution of the Navier-Stokes equations / A. Chorin // Math. Comp. – 1968. – Vol. 22. – P. 745 – 762.
14. Facundo, P. The meshless finite element method applied to a lagrangian particle formulation of fluid flows: In Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree Doctor of Philosophy. Instituto de Desarrollo tecnologico para la industria quimica (INTEC) universidad nacional del litoral / P. Facundo. – 2003. – 157 p.
15. Koshizuka, S. A particle method for incompressible viscous flow with fluid fragmentation / S. Koshizuka, H. Tamako, Y. Oka // Computational Fluid Dynamics Journal. – 1995. – P. 29 – 46.
16. Monaghan, J. Smoothed particle hydrodynamics / J. Monaghan // Ann. Rev. Astronand Astrophysics. – 1992. – № 30. – P. 543 – 574.
17. Onate, E. A stabilized finite element method for incompressible viscous flows using a finite increment calculus formulation / E. Onate // Comput. Meth. Appl. Mech. Eng. – 2000. – Vol. 182. – № 1 – 2. – P. 355 – 370.
18. Sibson, R. A brief description a natural neighbor interpolation / R. Sibson, V. Barnett (ed.) // Interpret multivariate data. – Chichester: John Wiley, 1981. – P. 21 – 36.
19. Sukumar, N. The natural element method in solid mechanics / N. Sukumar, B. Moran, T. Belytschko // Int. J. Num. Methods Eng. – 1998. – Vol. 43. – № 5. – P. 839 – 887.
20. Traveroni, L. Natural neighbor finite elements / L. Traveroni // In International Conference on Hydraulic Enginnering Software. Hydrosoft Proceedings 2. Computational Mechanics Publications. – 1994. – P. 291 – 297.

Рецензент – В. П. Потапов – д-р техн. наук, профессор, директор института угля и углехимии СО РАН.

УДК 519.6

О ТРЕУГОЛЬНЫХ МЕТОДАХ РЕШЕНИЯ СИСТЕМ ЛИНЕЙНЫХ И НЕЛИНЕЙНЫХ УРАВНЕНИЙ С ВАРИАЦИОННОЙ ОПТИМИЗАЦИЕЙ ПАРАМЕТРОВ

Н. А. Гейдаров, Ю. Н. Захаров

В настоящей работе рассмотрены градиентные итерационные методы решения СЛАУ и СБАУ, которые в линейном случае являются градиентным аналогом SOR, а в нелинейном – именно методами последовательной верхней релаксации. В этих итерационных схемах постоянный итерационный параметр, как в методе SOR, заменяется диагональной матрицей параметров. Элементы этой матрицы выбираются из последовательных минимумов функционалов погрешности.

SOR method is used for solution of system linear algebraic equations successfully (SLAE). Cause: both simplicity of realization and high rate of convergence in case of precise assignment of optimal iteration parameter. Using of nonoptimal parameter appreciably decrease rate of convergence of SOR method.

Iteration methods of solution of SLAE and system bilinear algebraic equations (SBAE) have been considered in this paper. These methods are SOR in linear case and - successive over and block relaxation method in nonlinear case. Constant iteration parameter is replaced by diagonal matrix of parameters in these iteration schemes.

Ключевые слова: метод ПБР, численные методы, итерационные методы, решение систем нелинейных уравнений.

Одними из популярных методов решения СЛАУ с положительно определенной и симметричной матрицей являются методы релаксации (методы Зейделя, последовательной верхней релаксации (ПВР), попеременно-треугольный и т. п. [1]). Это обусловлено несколькими причинами. Во-первых, эти методы фактически являются явными, т. е. для их реализации требуется обращение треугольных матриц.

Во-вторых, при точном задании итерационного параметра эти методы сходятся достаточно быстро. Например, метод ПВР может сходиться со скоростью чебышевского итерационного метода [2]. К сожалению, не всегда удается получить точное значение оптимального итерационного параметра, а использование приближенного значения этого параметра может приводить к существенному снижению скорости

сходимости. Поэтому и область применимости треугольных методов, несмотря на все их достоинства, недостаточно широка. При этом существует класс итерационных методов, не требующих знаний априорной информации, например о границах спектра матрицы решаемой системы. Это, например, – схемы с вариационной оптимизацией параметров, когда оптимальные итерационные параметры вычисляются на каждом итерационном шаге из условия минимума квадратичного функционала. К сожалению, выбор итерационного параметра в методах релаксации из условия минимума квадратичного функционала, как в градиентных методах, крайне затруднителен из-за его нелинейного вхождения в итерационную схему. Настоящая работа посвящена градиентному обобщению метода последовательной верхней релаксации, в случае решения СЛАУ, и построению метода ПВР для решения систем билинейных уравнений.

1. В вещественном евклидовом пространстве H_m размерности m рассмотрим систему линейных алгебраических уравнений: $Au = f$, (1) где $A = (a_{ij})$ – квадратная положительно определенная симметричная матрица размерности m ,

$$\begin{aligned} a_{11}u_1^{n+1} &= a_{11}u_1^n - \tau_1(a_{11}u_1^n + a_{22}u_2^n \dots a_{1m}u_m^n - f_1) \\ a_{22}u_2^{n+1} &= a_{22}u_2^n - \tau_2(a_{21}u_1^{n+1} + a_{22}u_2^n + \dots + a_{2m}u_m^n - f_2) \\ &\vdots \\ a_{kk}u_k^{n+1} &= a_{kk}u_k^n - \tau_k(a_{k1}u_1^{n+1} + \dots + a_{k,k-1}u_{k-1}^{n+1} + a_{kk}u_k^n + \dots + a_{km}u_m^n - f_k) \\ &\vdots \\ a_{mm}u_m^{n+1} &= a_{mm}u_m^n - \tau_m(a_{m1}u_1^{n+1} + \dots + a_{m,m-1}u_{m-1}^{n+1} + a_{mm}u_m^n - f_m). \end{aligned} \tag{3}$$

Очевидно, итерационный метод можно записать в матричном виде:

$$\tau^{-1}(\Lambda + \tau L)(u^{n+1} - u^n) + Au^n = f, \tag{4}$$

где $\tau = \begin{pmatrix} \tau_1 & & 0 \\ & \ddots & \\ 0 & & \tau_m \end{pmatrix}$ – диагональная матрица.

Если все элементы матрицы τ равны, то (4) является схемой последовательной верхней релаксации, если же нет – схемой ПВР с переменным итерационным шагом.

Пусть $D = D^* > O$ – квадратная самосопряженная положительно определенная матрица размерности m . Введем пространство H_D со скалярным произведением $(x, y)_D = (Dx, y)$ и нормой $\|x\| = \sqrt{(Dx, x)}$.

Если u – точное решение системы (1), то погрешность $v^n = D^{1/2}(u^n - u)$ схемы (2) имеет вид:

$u = (u_1, \dots, u_m)^T$, $f = (f_1, \dots, f_m)^T$ – неизвестный и известный векторы пространства H_m .

Представим матрицу в виде $A = \Lambda + L + U$, где $\Lambda = \text{diag}(a_{11}, \dots, a_{mm})$,

L – строго нижнетреугольная матрица,

U – строго верхнетреугольная матрица.

Для решения системы (1) рассмотрим следующий итерационный метод:

$$\Lambda u^{n+1} = \Lambda u^{n+k/m} - \tau_{k+1}z_{k+1}^{n+(k+1)/m} - \dots - \tau_m z_m^{n+1}, \tag{2}$$

$$k = 1, \dots, m; \quad n = 0, 1, 2, \dots,$$

$$\Lambda u^{n+k/m} = \Lambda u^n - \tau_1 z_1^{n+1/m} - \tau_2 z_2^{n+2/m} - \dots - \tau_k z_k^{n+k/m},$$

где u^0 – заданный произвольный вектор,

$$z_k^{n+k/m} = (0, \dots, 0, r_k^{n+k/m}, 0, \dots, 0)^T,$$

$r_k^{n+k/m} = (Au^{n+k/m} - f)_k$ – k -я компонента вектора $r^{n+k/m} = Au^{n+k/m} - f$.

Покомпонентно схема (2) выглядит следующим образом:

$$v^{n+1} = v^n - \sum_{k=1}^m \tau D^{1/2} \Lambda^{-1} z_k^{n+k/m}.$$

Введем следующие обозначения:

$$v^{n+k/m} = v^n - \sum_j^k \tau_j D^{1/2} \Lambda^{-1} z_j^{n+j/m},$$

$k = 1, \dots, m$.

Выберем τ_1 из условия минимума $\|v^{n+1/m}\|$.

Тогда имеем:

$$\min_{\tau_1} \|v^{n+1/m}\|^2 = \min_{\tau_1} \|v^n - \tau_1 D^{1/2} \Lambda^{-1} z_1^{n+1/m}\|^2$$

достигается при $\tau_1 = \frac{(v^n, D^{1/2} \Lambda^{-1} z_1^{n+1/m})}{\|D^{1/2} \Lambda^{-1} z_1^{n+1/m}\|}$, и в

этом случае:

$$\begin{aligned} \|v^{n+1/m}\|^2 &= \\ &= \left(1 - \frac{(v^n, D^{1/2} \Lambda^{-1} z_1^{n+1/m})^2}{\|D^{1/2} \Lambda^{-1} z_1^{n+1/m}\|^2 \|v^n\|^2} \right) \|v^n\|^2 = \rho_{1n}^2 \|v^n\|^2, \end{aligned}$$

где $\rho_{1n}^2 < 1$. Таким же образом выбираем τ_2 из условия минимума:

$$\|v^{n+2/m}\|^2 = \|v^{n+1/m} - \tau_2 D^{1/2} \Lambda^{-1} z_2^{n+2/m}\|^2.$$

Получим:

$$\|v^{n+2/m}\|^2 = \rho_{2n}^2 \|v^{n+1/m}\|^2 = \rho_{2n}^2 \rho_{1n}^2 \|v^n\|^2,$$

$$\text{где } \rho_{2n}^2 = 1 - \frac{(v^{n+1/m}, D^{1/2} \Lambda^{-1} z_1^{n+2/m})^2}{\|D^{1/2} \Lambda^{-1} z_1^{n+2/m}\|^2 \|v^{n+1/m}\|^2} < 1.$$

Аналогично вычисляются τ_3, \dots, τ_m , и окончательно будем иметь:

$$\tau_i = \frac{(v^{n+(i-1)/m}, D^{1/2} \Lambda^{-1} z_1^{n+i/m})}{\|D^{1/2} \Lambda^{-1} z_1^{n+i/m}\|}, \quad i=1, 2, \dots, m. \quad (5)$$

$$\|v^{n+1}\|^2 = \rho_n^2 \|v^n\|^2, \quad \rho_n = \prod_{i=1}^m \rho_{in}, \quad (6)$$

где

$$\rho_{in}^2 = 1 - \frac{(v^{n+(i-1)/m}, D^{1/2} \Lambda^{-1} z_1^{n+i/m})^2}{\|D^{1/2} \Lambda^{-1} z_1^{n+i/m}\|^2 \|v^{n+(i-1)/m}\|^2} < 1, \quad (7)$$

$$i=1, \dots, n.$$

2. Оказалось, что, аналогично предыдущему пункту, можно построить градиентную схему последовательной верхней релаксации для решения систем билинейных уравнений.

Рассмотрим систему нелинейных алгебраических уравнений:

$$a_{11}(u)u_1 + a_{12}(u)u_2 + \dots + a_{1m}(u)u_m = f_1$$

$$a_{21}(u)u_1 + a_{22}(u)u_2 + \dots + a_{2m}(u)u_m = f_2$$

⋮

$$a_{m1}(u)u_1 + a_{m2}(u)u_2 + \dots + a_{mm}(u)u_m = f_m, \quad (8)$$

которая в матричном виде записывается $A(u)u = f$. Далее будем полагать, что

$$a_{ii}(u) \neq 0 \quad (9)$$

для всех u . Пусть элементы матрицы этой системы зависят от неизвестного линейно, т.е. представляют собой линейные комбинации компонент вектора u :

$$a_{ij}(u) = \sum_p a_{ij}^p u_{k_j^p} + a_{ij}^0, \quad (10)$$

причем

$$A_1(u) = (a_{ij}^1(u)), \quad a_{ij}^1(u) = \sum_p a_{ij}^p u_{k_j^p}; \quad (11)$$

$$A_2 = (a_{ij}^0), \quad a_{ij}^0 = a_{ij}^0; \quad A(u) = A_1(u) + A_2,$$

где $u_{k_j^p}$ – одна из компонент вектора

$$u = (u_1, \dots, u_m)^T,$$

$$1 \leq k_j^p \leq m, 1 \leq i, j, p \leq m,$$

a_{ij}^p, a_{ij}^0 – некоторые числа.

Запишем матрицу $A(u)$ системы (8) как сумму двух матриц $A(u) = S(u) + T(u)$ таким образом, что:

$$S(u) = (s_{ij}(u)) \quad s_{ij}(u) = \sum_r a_{ij}^r u_{k_j^r} |k_j^r \geq j$$

$$T(u) = (t_{ij}(u)) \quad t_{ij}(u) = \sum_r a_{ij}^r u_{k_j^r} |k_j^r < j$$

$$a_{ij}(u) = s_{ij}(u) + t_{ij}(u).$$

Выпишем разложение матриц $S(u)$ и $T(u)$ на нижнетреугольную, верхнетреугольную и диагональную части.

$$S(u) = S_L(u) + S_\Lambda(u) + S_U(u).$$

$$T(u) = T_L(u) + T_\Lambda(u) + T_U(u).$$

Очевидно:

$$L(u) = S_L(u) + T_L(u),$$

$$\Lambda(u) = S_\Lambda(u) + T_\Lambda(u),$$

$$U(u) = S_U(u) + T_U(u).$$

Получим:

$$A(u) = L(u) + \Lambda(u) + U(u) =$$

$$= S_L(u) + T_L(u) + S_\Lambda(u) +$$

$$+ T_\Lambda(u) + S_U(u) + T_U(u).$$

Аналогично пункту 1 для решения системы (8) рассмотрим итерационный метод:

$$[S_\Lambda(u^n) + T_\Lambda(u^{n+1})]u^{n+1} =$$

$$= [S_\Lambda(u^n) + T_\Lambda(u^{n+1})]u^{n+k/m} -$$

$$- \tau_{k+1} z_{k+1}^{n+(k+1)/m} - \dots - \tau_m z_m^{n+1},$$

$$k=1, \dots, m; \quad n=0, 1, 2, \dots,$$

$$[S_\Lambda(u^n) + T_\Lambda(u^{n+1})]u^{n+k/m} =$$

$$= [S_\Lambda(u^n) + T_\Lambda(u^{n+1})]u^n - \quad (12)$$

$$- \tau_1 z_1^{n+1/m} - \tau_2 z_2^{n+2/m} - \dots - \tau_k z_k^{n+k/m},$$

где u^0 – заданный произвольный вектор,

$$z_k^{n+k/m} = (0, \dots, 0, r_k^{n+k/m}, 0, \dots, 0)^T,$$

$r_k^{n+k/m}$ – k -я компонента вектора.

$$r^{n+k/m} = [S_L(u^n) +$$

$$+ T_L(u^{n+1}) + S_\Lambda(u^n) + T_\Lambda(u^{n+1}) +$$

$$+ S_U(u^n) + T_U(u^{n+1})]u^{n+k/m} - f, \quad (13)$$

который является вектором невязки на промежуточном шаге $n+k/m$.

Для упрощения записи введем следующие обозначения:

$$\begin{aligned} L(u^n, u^{n+1}) &= S_L(u^n) + T_L(u^{n+1}), \\ \Lambda(u^n, u^{n+1}) &= S_\Lambda(u^n) + T_\Lambda(u^{n+1}), \\ U(u^n, u^{n+1}) &= S_U(u^n) + T_U(u^{n+1}), \\ A(u^n, u^{n+1}) &= L(u^n, u^{n+1}) + \\ &+ \Lambda(u^n, u^{n+1}) + U(u^n, u^{n+1}). \end{aligned}$$

Зависимость матриц от двух параметров показывает, что некоторые компоненты данных матриц содержат u^n , а другие u^{n+1} . Как следует из обозначений:

$$\begin{aligned} L(u^n, u^n) &= L(u^n), \quad \Lambda(u^n, u^n) = \Lambda(u^n), \\ U(u^n, u^n) &= U(u^n), \quad A(u^n, u^n) = A(u^n). \end{aligned}$$

Также, из соображений простоты записи, обозначим $a(u^n, u^{n+1}) = s(u^n) + t(u^{n+1})$,

$$a(u^n, u^n) = a(u^n).$$

Тогда

$$\begin{aligned} \Lambda(u^n, u^{n+1})u^{n+1} &= \Lambda(u^n, u^{n+1})u^n - \\ &- \tau \left(\begin{aligned} &L(u^n, u^{n+1})u^{n+1} + \\ &+(\Lambda(u^n, u^{n+1}) + U(u^n, u^{n+1}))u^n - f \end{aligned} \right), \end{aligned}$$

Покомпонентно запись (13) выглядит следующим образом:

$$\begin{aligned} a_{11}(u^n)u_1^{n+1} &= a_{11}(u^n)u_1^n - \tau_1(a_{11}(u^n)u_1^n + \dots + a_{1m}(u^n)u_m^n - f_1) \\ a_{22}(u^n, u^{n+1})u_2^{n+1} &= a_{22}(u^n, u^{n+1})u_2^n - \tau_2(a_{21}(u^n, u^{n+1})u_1^{n+1} + \\ &+ a_{22}(u^n, u^{n+1})u_2^n + \dots + a_{2m}(u^n, u^{n+1})u_m^n - f_2) \\ a_{33}(u^n, u^{n+1})u_3^{n+1} &= a_{33}(u^n, u^{n+1})u_3^n - \tau_3(a_{31}(u^n, u^{n+1})u_1^{n+1} + \\ &+ a_{32}(u^n, u^{n+1})u_2^{n+1} + a_{33}(u^n, u^{n+1})u_3^n + \dots + a_{3m}(u^n, u^{n+1})u_m^n - f_3) \\ &\vdots \\ a_{mm}(u^n, u^{n+1})u_m^{n+1} &= a_{mm}(u^n, u^{n+1})u_m^n - \tau_m(a_{m1}(u^n, u^{n+1})u_1^{n+1} + \dots + \\ &+ a_{m,m-1}(u^n, u^{n+1})u_{m-1}^{n+1} + a_{mm}(u^n, u^{n+1})u_m^n - f_m). \end{aligned} \tag{15}$$

Определим матрицу оптимального параметра τ в схеме (12). Формулу (13) можно выписать в виде:

$$r^{n+k/m} = A(u^n, u^{n+1})u^{n+k/m} - f.$$

На k -м промежуточном шаге зависимость матриц A, L, Λ, U от двух параметров u^n, u^{n+1} эквивалентна зависимости от $u^{n+k/m}$:

$$r^{n+k/m} = A(u^{n+k/m})u^{n+k/m} - f.$$

Также

$$\begin{aligned} \Lambda(u^{n+k/m})u^{n+k/m} &= \\ &= \Lambda(u^{n+k/m})u^{n+(k-1)/m} + \tau_k z_k^{n+k/m}, \end{aligned}$$

откуда

$$u^{n+k/m} = u^{n+(k-1)/m} + \tau_k \Lambda^{-1}(u^{n+k/m})z_k^{n+k/m},$$

что имеет смысл в силу (9).

где $\tau = \text{diag}(\tau_1, \dots, \tau_m)$.

Имеем далее:

$$\begin{aligned} (\Lambda(u^n, u^{n+1}) + \tau L(u^n, u^{n+1}))u^{n+1} &= \\ &= \Lambda(u^n, u^{n+1})u^n - \\ &- \tau((\Lambda(u^n, u^{n+1}) + U(u^n, u^{n+1}))u^n - f); \\ (\Lambda(u^n, u^{n+1}) + \tau L(u^n, u^{n+1})) & (u^{n+1} - u^n) = \\ &= -\tau(L(u^n, u^{n+1}) + \Lambda(u^n, u^{n+1}) + U(u^n, u^{n+1}) - f)u^n. \end{aligned}$$

Получим:

$$\begin{aligned} (\Lambda(u^n, u^{n+1}) + \tau L(u^n, u^{n+1})) & (u^{n+1} - u^n) + \\ &+ \tau(A(u^n, u^{n+1})u^n - f) = 0. \end{aligned}$$

Или окончательно:

$$\begin{aligned} \tau^{-1}(\Lambda(u^n, u^{n+1}) + \tau L(u^n, u^{n+1})) & (u^{n+1} - u^n) + \\ &+ (A(u^n, u^{n+1})u^n - f) = 0. \end{aligned} \tag{14}$$

$$\begin{aligned} r^{n+i/m} &= A(u^{n+(i-1)/m}) + \\ &+ \tau_k \Lambda^{-1}(u^{n+i/m})z_i^{n+i/m}(u^{n+(i-1)/m} + \\ &+ \tau_k \Lambda^{-1}(u^{n+i/m})z_k^{n+i/m}) - f, \quad i = 1, 2, \dots, m. \end{aligned}$$

Очевидно, что

$$r^{n+m/m} = r^{n+1} = A(u^{n+1})u^{n+1} - f \quad - \text{невязка схемы (12).}$$

Далее, используя (11):

$$r^{n+i/m} = r^{n+(i-1)/m} + \tau_i F_{1n}^{(i)} + (\tau_i)^2 F_{2n}^{(i)}, \tag{16}$$

где

$$F_{1n}^{(i)} = A(u^{n+(i-1)/m})\Lambda^{-1}(u^{n+i/m})z_i^{n+i/m} + A_1(\Lambda^{-1}(u^{n+i/m})z_i^{n+i/m})u^{n+(i-1)/m},$$

$$F_{2n}^{(i)} = A_1(\Lambda^{-1}(u^{n+i/m})z_i^{n+i/m})\Lambda^{-1}(u^{n+i/m})z_i^{n+i/m}.$$

Из (16) имеем:

$$\|r^{n+i/m}\|^2 = \|r^{n+(i-1)/m}\|^2 + \sum_{s=1}^4 (\tau_i)^s \theta_{sn}^{(i)} = \|r^{n+(i-1)/m}\|^2 - \Phi_{n+1}^{(i)}(\tau_i), \quad i = 1, 2, \dots, m. \quad (17)$$

Здесь:

$$\theta_{1n}^{(i)} = 2(r^{n+(i-1)/m}, F_{1n}^{(i)}),$$

$$\theta_{2n}^{(i)} = \|F_{1n}^{(i)}\|^2 + 2(r^{n+(i-1)/m}, F_{2n}^{(i)}),$$

$$\theta_{3n}^{(i)} = 2(F_{1n}^{(i)}, F_{2n}^{(i)}),$$

$$\theta_{4n}^{(i)} = \|F_{2n}^{(i)}\|^2.$$

Так как $\theta_{4n}^{(i)} \geq 0$, то график зависимости $\|r^{n+i/m}\|^2$ от τ_i имеет вид, показанный на рис. 1.

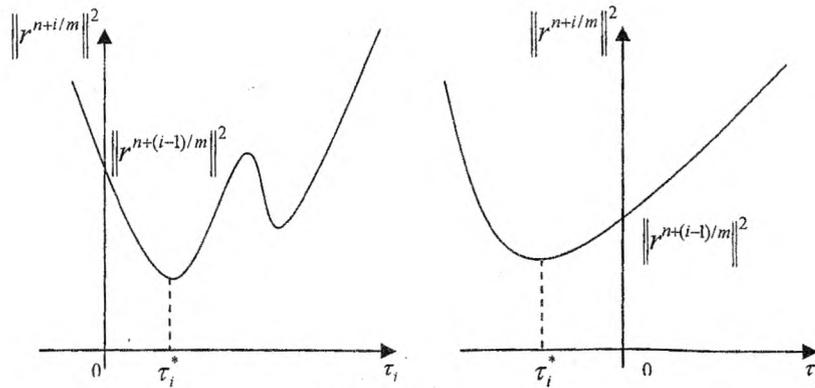


Рис. 1.

Таким образом, у полинома (17) или два, или один минимум. При этом глобальный минимум величины $r^{n+i/m}$ не превосходит $r^{n+(i-1)/m}$.

Выберем τ_i из условия минимума нормы вектора невязки $\|r^{n+i/m}\|$. Тогда τ_i находится как решение уравнения:

$$\sum_{q=1}^4 q(\tau_i)^{q-1} \theta_{qn}^{(i)} = 0 \quad (18)$$

по явным формулам Кардано. Пусть τ_i^* – решение (18), отвечающее глобальному минимуму (17). Подставив этот корень в (17), получим:

$$\|r^{n+i/m}\|^2 = \|r^{n+(i-1)/m}\|^2 - \Phi_{n+1}^{(i)} = \rho_{(i)}^2 \|r^{n+(i-1)/m}\|^2,$$

$$\rho_{(i)}^2 = 1 - \Phi_{n+1}^{(i)} / \|r^{n+(i-1)/m}\|^2, \quad (19)$$

где $\Phi_{n+1}^{(i)} = \Phi_{n+1}(\tau_i^*) \geq 0$.

Таким образом,

$$\|r^{n+i/m}\| \leq \|r^{n+(i-1)/m}\| \leq \dots \leq \|r^{n+0/m}\| = \|r^n\|,$$

$$i = 1, 2, \dots, m, \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

и, в силу ограниченности $\|r^0\|$,

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \|r^n\| = \|r^\infty\| < \infty.$$

Следует отметить, что $\Phi_{n+1}^{(i)} = 0$ только в случае $\tau_i^* = 0$, а это возможно, если:

$$\theta_{1n}^{(i)} = 2(r^{n+(i-1)/m}, F_{1n}^{(i)}) = 0. \quad (20)$$

Подробнее о методе и других способах выбора элементов матрицы τ см. [3].

Литература

1. Вазов, В. Разностные методы решения дифференциальных уравнений в частных производных / В. Вазов, Дж. Форсайт – М.: Иностранная литература, 1963. – 488 с.
2. Самарский, А. А. Методы решения сеточных уравнений / А. А. Самарский, Е. С. Николаев. – М.: Наука, 1978. – 592 с.
3. Захаров, Ю. Н. Градиентные итерационные методы решения задач гидродинамики / Ю. Н. Захаров. – Новосибирск: Наука, 2004. – 239 с.

Рецензент – Е. Л. Счастливец, Институт усовершенствования учителей СО РАН.

УДК 518.9

**ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ МАТРИЧНОЙ ИГРЫ
В ФОРМЕ ЗАДАЧИ КОНФЛИКТНОГО УПРАВЛЕНИЯ**

Н. Н. Данилов

В работе определяется класс динамических матричных игр, описываемых разностными уравнениями, вдоль траектории которых задана матрица выигрышей игроков. Вводятся новые понятия стратегии, седловой точки и цена игры. Найдено необходимое и достаточное условие оптимальности стратегий.

In the work the class of dynamic matrix games described by the difference equations, along trajectory of which the payoff matrix of players is set, is defined. New concepts of strategy, saddle point and game price are introduced. The necessary and sufficient condition of optimality of strategy is found.

Ключевые слова: матричные игры, модель задачи оптимального управления, стратегии, седловая точка, значение, игра.

Исследования поддержаны грантом «РФФИ-Кузбасс» № 07-01-96022

В работе определяется класс динамических матричных игр, описываемых разностными уравнениями, вдоль траектории которых задана матрица выигрышей игроков. Вводятся новые понятия стратегии, седловой точки и цена игры. Найдено необходимое и достаточное условие оптимальности стратегий.

Пусть переменная t , которую будем называть «временем», принимает лишь дискретные значения: $t=0, 1, \dots, T$. Рассмотрим некоторую управляемую систему, изменение состояния которой происходит в дискретные моменты времени t и описывается уравнением

$$x(t) = f^t(x(t-1), u_1(t), u_2(t)), t = 1, \dots, T \quad (1)$$

из заданного начального состояния: $x^0 = x(0)$. (2)

В (1)-(2) $x(t) \in R^k$ – вектор состояния;

$u_1(t) \in R^{l_1}, u_2(t) \in R^{l_2}$ – векторы управления в момент t ;

$f^t: R^k \times R^{l_1} \times R^{l_2} \rightarrow R^k$ – вектор-функция, характеризующая динамические возможности системы.

Предполагается, что управляющие параметры удовлетворяют условиям:

$$u_1(t) \in U_1^t, u_2(t) \in U_2^t, t = 1, \dots, T, \quad (3)$$

где $U_1^t \subset R^{l_1}, U_2^t \subset R^{l_2}$ – заданные непустые множества.

Соотношения (1)-(3) определяют дискретную систему с двумя управлениями. Будем считать, что выбором управления

$$u_1(\cdot) = \{u_1(1), \dots, u_1(T)\}$$

распоряжается игрок I, а выбором управления

$$u_2(\cdot) = \{u_2(1), \dots, u_2(T)\}$$

– игрок II. Множества допустимых управлений игроков есть соответственно:

$$U_1 = U_1^1 \times \dots \times U_1^T, U_2 = U_2^1 \times \dots \times U_2^T.$$

Предполагается, что каждой паре управлений $(u_1(\cdot), u_2(\cdot)) \in U_1 \times U_2$ соответствует единственная последовательность

$$x(\cdot) = \{x^0, x(1), \dots, x(T)\}$$

решений системы (1)-(2), которую будем называть траекторией. Множество всех траекторий системы (1)-(2) обозначим $X(x^0, T)$.

Целью игрока I является максимизация значения функции:

$$H = \sum_{t=1}^T \theta(x(t-1), u_1(t), u_2(t)), \quad (4)$$

где θ – функция, предписывающая этому игроку на каждом шаге (в каждом состоянии $x(t)$) его выигрыш в матричной игре:

$$h(x(t)) = \begin{pmatrix} a'_{11} & a'_{12} & \dots & a'_{1n} \\ a'_{21} & a'_{22} & \dots & a'_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a'_{m1} & a'_{m2} & \dots & a'_{mn} \end{pmatrix}, t = 1, \dots, T. \quad (5)$$

($\theta(x^0) = 0$), где m и n конечные числа.

Так как в разных состояниях $x(t)$ матрица $h(x(t))$ разная, то в случае необходимости мы будем записывать $a'_{ij} = a'_{ij}(x(t))$. Целью игрока II является минимизация значения функции (4).

Определение 1. Стратегией игрока I (II) будем называть отображение $\varphi_1(\varphi_2)$, которое каждому шагу t и реализуемому на этом шаге состоянию $x(t)$ ставит в соответствие некоторое допустимое на этом шаге управление

$u_1(t+1) \in U_1^{t+1} (u_2(t+1) \in U_2^{t+1})$ и номер i (j) выбранной строки (столбца) матрицы h .

Стратегии игроков можно представить так:

$$\varphi_1(\cdot) = \{(u_1(1), i_1), \dots, (u_1(T), i_T)\},$$

$$\varphi_2(\cdot) = \{(u_2(1), j_1), \dots, (u_2(T), j_T)\},$$

где $i_t \in j_t$ – номера выбранных в момент t (в состоянии $x(t)$) строки и столбца матрицы $h(x(t))$ ($t=1, \dots, T$). Множества стратегий игроков обозначим соответственно $\Phi_1 \in \Phi_2$.

Совокупность

$$\Gamma(x^0, T) = \left\langle \sum(x^0); \Phi_1, \Phi_2; H \right\rangle, \quad (6)$$

где $\sum(x^0)$ – символическое обозначение системы (1)-(2), назовем многошаговой конечной антагонистической игрой (или коротко – динамической матричной игрой).

Протекание игры $\Gamma(x^0, T)$ можно представить следующим образом. Игроки выбирают некоторые стратегии – $\varphi_1(\cdot) \in \Phi_1, \varphi_2(\cdot) \in \Phi_2$. Далее вычисляется траектория

$x(\cdot) = x(x^0, u_1(\cdot), u_2(\cdot)) = \{x^0, x(1), \dots, x(T)\}$ как решение системы (1)-(2), соответствующее ситуации $(\varphi_1(\cdot), \varphi_2(\cdot))$. Затем по формуле (4) вычисляется выигрыш игрока I вдоль этой траектории $x(\cdot)$:

$$H = H(x^0, \varphi_1(\cdot), \varphi_2(\cdot)) = K(x(\cdot)) = \sum_{t=1}^T a_{i_t, j_t}^t,$$

где a_{i_t, j_t}^t – элемент матрицы $h(x(t))$, предопределенный стратегиями $\varphi_1(\cdot) \in \varphi_2(\cdot)$.

Выигрыш игрока II вдоль этой же траектории равен числу $-\sum_{t=1}^T a_{i_t, j_t}^t$.

В классической теории игр изучаются так называемые матричные игры. С практической точки зрения, матричная игра – это статическая математическая модель, с помощью которой можно определить оптимальное поведение двух конфликтующих сторон, имеющих противоположные интересы и конечное число стратегий (решений, альтернатив). Матричные игры имеют достаточно широкое применение (см., напр., [1-4]). Поскольку процессы принятия решения в социально-экономических и других системах имеют динамический характер, то возникает необходимость обобщения класса матричных игр так, чтобы учитывались временные факторы. Игра вида (6) и представляет такое обобщение.

В данной статье исследуется вопрос о принципе оптимальности в игре $\Gamma(x^0, T)$: как себя должны вести игроки, чтобы получить как можно большие выигрыши?

Пусть игроками выбраны управления $\bar{u}_1(\cdot), \bar{u}_2(\cdot)$ и вычислена соответствующая им траектория $\bar{x}(\cdot)$ системы (1)-(2). Стратегии, соответствующие этим управлениям, имеют вид: $\varphi_1(\cdot) = \{(\bar{u}_1(t), i_t), t = 1, \dots, T\}$, $\varphi_2(\cdot) = \{(\bar{u}_2(t), j_t), t = 1, \dots, T\}$.

Введем следующие обозначения:

$$I = \{1, \dots, m\}, J = \{1, \dots, n\};$$

$$\hat{I} = \underbrace{I \times \dots \times I}_T, \hat{J} = \underbrace{J \times \dots \times J}_T.$$

Определение 2. Пару стратегий $(\bar{\varphi}_1(\cdot), \bar{\varphi}_2(\cdot)) \in \Phi_1 \times \Phi_2$ назовем седловой точкой игры вдоль траектории $\bar{x}(\cdot)$, если существуют такие последовательности $\{\hat{i}_1, \dots, \hat{i}_T\} \in \hat{I}, \{\hat{j}_1, \dots, \hat{j}_T\} \in \hat{J}$,

что для любых $\{i_1, \dots, i_T\} \in \hat{I}, \{j_1, \dots, j_T\} \in \hat{J}$ выполняются условия

$$a_{i_t, \hat{j}_t}^t(\bar{x}(t)) \leq a_{i_t, j_t}^t(\bar{x}(t)) \leq a_{\hat{i}_t, j_t}^t(\bar{x}(t)), \quad (7)$$

$$t = 1, \dots, T.$$

Из этого определения следует, что если вдоль траектории $x(\cdot) = \{x^0, x(1), \dots, x(T)\}$ в какой-то из моментов $t = 1, \dots, T$ неравенство (7) не выполняется, т. е. в статической матричной игре $h(x(t))$ нет седловой точки, то седловая точка вдоль траектории $x(\cdot)$ не существует.

Множество всех траекторий, вдоль которых существует седловая точка, обозначим символом $\bar{X}(x^0, T)$ ($\bar{X}(x^0, T) \subset X(x_0, T)$).

Для фиксированного t неравенство (7) определяет седловую точку (\hat{i}_t, \hat{j}_t) в статической матричной игре $h(\bar{x}(t))$. Таким образом, существование седловой точки вдоль траектории $\bar{x}(\cdot)$ предполагает существование седловых точек во всех матричных играх $h(\bar{x}(t)), t = 1, \dots, T$.

Из неравенства (7) получаем: для всех

$$\{i_1, \dots, i_T\} \in \hat{I}, \{j_1, \dots, j_T\} \in \hat{J}$$

$$\sum_{t=1}^T a_{i_t, \hat{j}_t}^t(\bar{x}(t)) \leq \sum_{t=1}^T a_{i_t, j_t}^t(\bar{x}(t)) \leq \sum_{t=1}^T a_{\hat{i}_t, j_t}^t(\bar{x}(t)).$$

Для $\bar{x}(\cdot) \in \bar{X}(x^0, T)$ число

$$v(x^0, \bar{\varphi}_1(\cdot), \bar{\varphi}_2(\cdot)) = \sum_{t=1}^T a_{\hat{i}_t, \hat{j}_t}^t(\bar{x}(t)) \quad (8)$$

назовем ценой игры вдоль траектории $\bar{x}(\cdot)$.

Предположим, что $\bar{X}(x^0, T) \neq \emptyset$. Каждой траектории $\bar{x}(\cdot) \in \bar{X}(x^0, T)$ соответствует своя седловая точка $(\bar{\varphi}_1(\cdot), \bar{\varphi}_2(\cdot))$. В отличие от статической игры вида $h(x(t))$, седловые точки, соответствующие разным траекториям из $\bar{X}(x^0, T)$, вообще говоря, не обладают свойствами взаимозаменяемости и эквивалентности. Действительно, пусть $\tilde{x}(\cdot), \hat{x}(\cdot) \in \bar{X}(x^0, T)$, а $(\tilde{\varphi}_1(\cdot), \tilde{\varphi}_2(\cdot)), (\hat{\varphi}_1(\cdot), \hat{\varphi}_2(\cdot))$ – соответствующие седловые точки. Нельзя утверждать, что пары $(\tilde{\varphi}_1(\cdot), \hat{\varphi}_2(\cdot)) \in (\hat{\varphi}_1(\cdot), \tilde{\varphi}_2(\cdot))$ образуют седловую точку (взаимозаменяемость), так как обязательно траектории $x'(\cdot) = x(x^0, \tilde{u}_1(\cdot), \hat{u}_2(\cdot))$ и $x''(\cdot) = x(x^0, \hat{u}_1(\cdot), \tilde{u}_2(\cdot))$ принадлежат множеству $\bar{X}(x^0, T)$ и нельзя утверждать, что

$$\sum_{t=1}^T a_{\tilde{i}_t, \hat{j}_t}^t(x'(t)) = \sum_{t=1}^T a_{\hat{i}_t, \tilde{j}_t}^t(x''(t))$$

(эквивалентность). По этой причине множество всех седловых точек, соответствующих траекториям из множества $\bar{X}(x^0, T)$, будем обозначать символом $\bar{\Phi}$ (а не $\bar{\Phi}_1 \times \bar{\Phi}_2$, т. к. не все пары из этого множества будут седловыми точками). Из всего сказан-

ного выше следует, что цену игры вдоль траектории можно представить как функцию

$$v(x^0, \cdot) : \bar{\Phi} \rightarrow R^1.$$

Введем в рассмотрение два числа:

$$\underline{u}(x^0) = \max_{\varphi_1(\cdot) \in \bar{\Phi}_1} \min_{\varphi_2(\cdot) \in \bar{\Phi}_2} u(x^0, \varphi_1(\cdot), \varphi_2(\cdot)) \quad (9)$$

- нижняя цена игры $\Gamma(x^0, T)$,

$$\bar{u}(x^0) = \min_{\varphi_2(\cdot) \in \bar{\Phi}_2} \max_{\varphi_1(\cdot) \in \bar{\Phi}_1} u(x^0, \varphi_1(\cdot), \varphi_2(\cdot)) \quad (10)$$

- верхняя цена игры $\Gamma(x^0, T)$ (здесь $\bar{\Phi}_1(\bar{\Phi}_2)$ - множество всех стратегий первого (второго) игрока, входящих в $\bar{\Phi}$).

В дальнейшем, для простоты, будем предполагать, что экстремумы в (9) и (10) существуют (в противном случае, вместо «седловой точки» следует говорить о « ε - седловой точке»).

Стратегии, на которых достигаются внешние экстремумы в (9) и (10), назовем максиминной и минимаксной стратегиями первого и второго игроков соответственно.

Можно показать, что в игре $\Gamma(x^0, T)$

$$\begin{aligned} \max_{\varphi_1(\cdot) \in \bar{\Phi}_1} \min_{\varphi_2(\cdot) \in \bar{\Phi}_2} v(x^0, \varphi_1(\cdot), \varphi_2(\cdot)) &\leq \\ \leq \min_{\varphi_2(\cdot) \in \bar{\Phi}_2} \max_{\varphi_1(\cdot) \in \bar{\Phi}_1} v(x^0, \varphi_1(\cdot), \varphi_2(\cdot)) &\quad (11) \end{aligned}$$

и в случае строгого неравенства в (11) максиминная и минимаксная пары стратегий не являются устойчивыми против индивидуальных отклонений игроков от нее. Напротив, равенство

$$\begin{aligned} \max_{\varphi_1(\cdot) \in \bar{\Phi}_1} \min_{\varphi_2(\cdot) \in \bar{\Phi}_2} v(x^0, \varphi_1(\cdot), \varphi_2(\cdot)) &= \\ = \min_{\varphi_2(\cdot) \in \bar{\Phi}_2} \max_{\varphi_1(\cdot) \in \bar{\Phi}_1} v(x^0, \varphi_1(\cdot), \varphi_2(\cdot)), &\quad (12) \end{aligned}$$

как будет показано ниже, порождает устойчивую пару стратегий.

Определение 3. Если выполнено равенство (12), то соответствующие ему максиминную и минимаксную стратегии назовем оптимальными стратегиями (будем обозначать их $\varphi_1^*(\cdot)$ и $\varphi_2^*(\cdot)$) первого и второго игроков, пару $(\varphi_1^*(\cdot), \varphi_2^*(\cdot))$ - седловой точкой игры $\Gamma(x^0, T)$, а число

$$v(x^0) = v(x^0, \varphi_1^*(\cdot), \varphi_2^*(\cdot)) = \underline{u}(x^0) = \bar{u}(x^0) \quad (13)$$

ценой игры $\Gamma(x^0, T)$.

Пусть $x^*(\cdot) = x(x^0, u_1^*(\cdot), u_2^*(\cdot))$ - траектория системы (1)-(2), соответствующая седловой точке $(\varphi_1^*(\cdot), \varphi_2^*(\cdot))$. Тогда цена (13) вычисляется как:

$$v(x^0) = \sum_{t=1}^T a_{i_t, j_t}^t(x^*(t)),$$

где (i_t, j_t) - седловая точка статической матричной игры $h(x^*(t))$, $t = 1, \dots, T$.

Теорема. Пара стратегий $(\varphi_1^*(\cdot), \varphi_2^*(\cdot))$ является седловой точкой игры $\Gamma(x^0, T)$ тогда и только тогда, когда для любых $\varphi_1(\cdot) \in \bar{\Phi}_1$, $\varphi_2(\cdot) \in \bar{\Phi}_2$ выполнены неравенства

$$\begin{aligned} v(x^0, \varphi_1(\cdot), \varphi_2^*(\cdot)) &\leq v(x^0, \varphi_1^*(\cdot), \\ \varphi_2^*(\cdot)) &\leq v(x^0, \varphi_1^*(\cdot), \varphi_2(\cdot)). \end{aligned} \quad (14)$$

Доказательство. Необходимость. Пусть $(\varphi_1^*(\cdot), \varphi_2^*(\cdot))$ - седловая точка игры $\Gamma(x^0, T)$. По определению 3,

$$\begin{aligned} v(x^0, \varphi_1^*(\cdot), \varphi_2^*(\cdot)) &= \\ = \max_{\varphi_1(\cdot) \in \bar{\Phi}_1} \min_{\varphi_2(\cdot) \in \bar{\Phi}_2} v(x^0, \varphi_1(\cdot), \varphi_2(\cdot)) &= \\ = \min_{\varphi_2(\cdot) \in \bar{\Phi}_2} \max_{\varphi_1(\cdot) \in \bar{\Phi}_1} v(x^0, \varphi_1(\cdot), \varphi_2(\cdot)) &\quad (15) \end{aligned}$$

и внешние экстремумы достигаются на стратегиях $\varphi_1^*(\cdot), \varphi_2^*(\cdot)$.

Пусть внутренний экстремум в левой части (15) достигается на стратегии $\varphi_1'(\cdot)$:

$$\begin{aligned} \max_{\varphi_1(\cdot) \in \bar{\Phi}_1} \min_{\varphi_2(\cdot) \in \bar{\Phi}_2} v(x^0, \varphi_1(\cdot), \varphi_2(\cdot)) &= \\ = \max_{\varphi_1(\cdot) \in \bar{\Phi}_1} v(x^0, \varphi_1(\cdot), \varphi_2'(\cdot)) &= v(x^0, \varphi_1'(\cdot), \varphi_2'(\cdot)). \end{aligned}$$

Из последнего равенства получаем:

$$v(x^0, \varphi_1(\cdot), \varphi_2'(\cdot)) \leq v(x^0, \varphi_1'(\cdot), \varphi_2'(\cdot)) \quad (16)$$

для всех $\varphi_1(\cdot) \in \bar{\Phi}_1$.

Пусть внутренний экстремум в правой части (15) достигается на стратегии $\varphi_1'(\cdot)$:

$$\begin{aligned} \min_{\varphi_2(\cdot) \in \bar{\Phi}_2} \max_{\varphi_1(\cdot) \in \bar{\Phi}_1} v(x^0, \varphi_1(\cdot), \varphi_2(\cdot)) &= \\ = \min_{\varphi_2(\cdot) \in \bar{\Phi}_2} v(x^0, \varphi_1'(\cdot), \varphi_2(\cdot)) &= v(x^0, \varphi_1'(\cdot), \varphi_2^*(\cdot)). \end{aligned}$$

Из последнего равенства получаем:

$$v(x^0, \varphi_1'(\cdot), \varphi_2(\cdot)) \geq v(x^0, \varphi_1'(\cdot), \varphi_2^*(\cdot)) \quad (17)$$

для всех $\varphi_2(\cdot) \in \bar{\Phi}_2$.

По условию (15):

$$v(x^0, \varphi_1^*(\cdot), \varphi_2'(\cdot)) = v(x^0, \varphi_1'(\cdot), \varphi_2^*(\cdot)). \quad (18)$$

Применяя (16) и (17), напишем:

$$\begin{aligned} v(x^0, \varphi_1(\cdot), \varphi_2'(\cdot)) &\leq v(x^0, \varphi_1^*(\cdot), \varphi_2'(\cdot)) = \\ = v(x^0, \varphi_1'(\cdot), \varphi_2^*(\cdot)) &\leq v(x^0, \varphi_1'(\cdot), \varphi_2(\cdot)) \end{aligned}$$

для всех

$$\varphi_1(\cdot) \in \bar{\Phi}_1, \varphi_2(\cdot) \in \bar{\Phi}_2. \text{ Отсюда (15), (18):}$$

$$\begin{aligned} v(x^0, \varphi_1(\cdot), \varphi_2^*(\cdot)) &\leq \\ \leq v(x^0, \varphi_1^*(\cdot), \varphi_2^*(\cdot)) &\leq v(x^0, \varphi_1^*(\cdot), \varphi_2(\cdot)) \end{aligned}$$

для всех $\varphi_1(\cdot) \in \bar{\Phi}_1, \varphi_2(\cdot) \in \bar{\Phi}_2$.

Достаточность. Пусть выполнены неравенства (14). Левое неравенство в (14) верно для всех $\varphi_1(\cdot) \in \bar{\Phi}_1$. Поэтому

$$\max_{\varphi_1(\cdot) \in \bar{\Phi}_1} u(x^0, \varphi_1(\cdot), \varphi_2^*(\cdot)) \leq v(x^0, \varphi_1^*(\cdot), \varphi_2^*(\cdot)). \quad (19)$$

Поскольку для всех $\phi_2(\cdot) \in \overline{\Phi}_2$

$$\begin{aligned} \min_{\phi_2(\cdot) \in \overline{\Phi}_2} \max_{\phi_1(\cdot) \in \overline{\Phi}_1} v(x^0, \phi_1(\cdot), \phi_2(\cdot)) &\leq \\ &\leq \max_{\phi_1(\cdot) \in \overline{\Phi}_1} v(x^0, \phi_1(\cdot), \phi_2^*(\cdot)), \end{aligned}$$

то, в частности,

$$\begin{aligned} \min_{\phi_2(\cdot) \in \overline{\Phi}_2} \max_{\phi_1(\cdot) \in \overline{\Phi}_1} v(x^0, \phi_1(\cdot), \phi_2(\cdot)) &\leq \\ &\leq \max_{\phi_1(\cdot) \in \overline{\Phi}_1} v(x^0, \phi_1(\cdot), \phi_2^*(\cdot)). \end{aligned}$$

Получили (19):

$$\begin{aligned} \min_{\phi_2(\cdot) \in \overline{\Phi}_2} \max_{\phi_1(\cdot) \in \overline{\Phi}_1} v(x^0, \phi_1(\cdot), \phi_2(\cdot)) &\leq \\ &\leq v(x^0, \phi_1^*(\cdot), \phi_2^*(\cdot)). \end{aligned} \quad (20)$$

Рассмотрим теперь правую часть (14) и, рассуждая аналогично, получаем:

$$\begin{aligned} v(x^0, \phi_1^*(\cdot), \phi_2^*(\cdot)) &\leq \\ &\leq \max_{\phi_1(\cdot) \in \overline{\Phi}_1} \min_{\phi_2(\cdot) \in \overline{\Phi}_2} v(x^0, \phi_1(\cdot), \phi_2(\cdot)). \end{aligned} \quad (21)$$

Сравнение (20) и (21) показывает, что

$$\begin{aligned} \min_{\phi_2(\cdot) \in \overline{\Phi}_2} \max_{\phi_1(\cdot) \in \overline{\Phi}_1} v(x^0, \phi_1(\cdot), \phi_2(\cdot)) &\leq \\ &\leq \max_{\phi_1(\cdot) \in \overline{\Phi}_1} \min_{\phi_2(\cdot) \in \overline{\Phi}_2} v(x^0, \phi_1(\cdot), \phi_2(\cdot)). \end{aligned}$$

Но всегда справедливо неравенство (11), так что в последнем соотношении имеет место строгое равенство, следовательно, $(\phi_1^*(\cdot), \phi_2^*(\cdot))$ – седловая точка игры $\Gamma(x^0, T)$. Теорема доказана.

Неравенство (14) наглядно показывает устойчивость пары стратегий $(\phi_1^*(\cdot), \phi_2^*(\cdot))$ против индивидуальных отклонений игроков: игрок, выбравший другую стратегию (при условии, что противник придерживается стратегии «со звездочкой»), наказывает разве что себя. Поскольку неравенство (14) более соответствует свойству седловой точки, чем определение 3, то его можно использовать в качестве

определения оптимальных стратегий игроков в игре $\Gamma(x^0, T)$.

Соотношения (13) и (14) представляют собой обобщение принципа минимакса, используемого в статических матричных играх в качестве правила выбора оптимальных стратегий.

Из теории матричных игр известно, что если в игре $h(x(t))$ нижняя цена не равна верхней цене, то седловая точка отсутствует. В таких случаях существование оптимальных стратегий достигается путем введения смешанных стратегий. Поэтому естественным является определение и изучение смешанного расширения игры $\Gamma(x^0, T)$. Ввиду ограниченности объема данной статьи, результаты исследования игры $\Gamma(x^0, T)$ в классе смешанных стратегий здесь не приводятся.

Литература

1. Нейман, Дж. Теория игр и экономическое поведение / Дж. Нейман, О. Моргенштерн – М.: Наука, 1970. – 707 с.
2. Оуэн, Г. Теория игр / Г. Оуэн. – М.: Мир, 1971. – 230 с.
3. Воробьев, Н. Н. Теория игр. Лекции для экономистов-кибернетиков / Н. Н. Воробьев. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1974. – 160 с.
4. Данилов, Н. Н. Теоретико-игровое моделирование конфликтных ситуаций / Н. Н. Данилов. – Томск: Изд-во Томск. ун-та, 2005. – 119 с.
5. Данилов, Н. Н. Основы математической теории оптимальных процессов / Н. Н. Данилов, В. В. Мешечкин. – Кемерово: Кузбассвузиздат, 2004. – 219 с.

Рецензент – В. Я. Карташов – д-р техн. наук, профессор, ГОУ ВПО «Кемеровский государственный университет».

УДК 519.63: 519.652

АНАЛИЗ ПОМЕХ ОТРАЖЕНИЯ В НЕОДНОРОДНЫХ МНОГОПРОВОДНЫХ ЛИНИЯХ ПЕРЕДАЧИ

С. Н. Трофимов

В настоящей работе рассматривается анализ помех отражения в неоднородных многопроводных линиях передачи во временной области. Анализ проводится с помощью TVD-схемы метода Годунова. Проведено сравнение результатов численного моделирования с результатами других авторов и экспериментом. Результаты численного моделирования представлены в виде графиков для напряжений в сигнальной и пассивной линиях.

The work considers analysis of reflection disturbance in nonuniform multiwire transmission lines in the time domain. The analysis is carried out using the TVD-scheme of the Godunov method. The results of numerical simulation are compared with other authors' results and the experiment. The results of numerical simulation are represented as diagrams for the signal and passive lines.

Ключевые слова: линия передачи, метод Годунова, TVD-схема.

Введение

Появление цифровых технологий стало причиной возобновления интереса к анализу линий пере-

дачи для проектирования современных электронных устройств. Из публикаций последних лет выделяется ряд исследований по разработке методов анализа

отклика и вычисления параметров линий передач самой различной сложности, проводимых группами исследователей под руководством M. S. Nakhla, A. R. Djordjevic, F.-Y. Chang, R. F. Harrington, T. K. Sarkar, K. Tripathi.

Основной тенденцией развития высокоскоростной радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) является повышение скорости обработки информации. С повышением быстродействия РЭА появляются новые проблемы, связанные с переходом в наносекундный диапазон работы устройств и обусловленные искажением сигналов в линиях передачи. Распространение сигнала вдоль многопроводных линий передач, когда полное сопротивление нагрузки не равно волновому сопротивлению линии передачи (несогласованные линии), играет значительную роль в современных технологиях обработки и передачи сигналов. Скоростные аналоговые и цифровые цепи любого уровня интеграции предлагают широкий выбор примеров простых и многопроводных, однородных и неоднородных линий передачи, присоединенных к устройствам с различными входными характеристиками. Понижение времени установления уровня амплитуды сигнала подчеркивает важность эффектов распространения и искажения сигналов вследствие воздействия паразитных эффектов. Поэтому важной задачей исследований является анализ временного отклика в несогласованных линиях передачи, искажение сигнала в которых может привести к некорректному поведению радиоэлектронного оборудования. Для анализа распространения сигнала в линиях передачи разработаны различные численные и аналитические методы, также широкое распространение получили средства визуального электродинамического и квазистатического моделирования. При этом для всех вариантов анализа исходным этапом является формулировка системы телеграфных уравнений, задание начальных и граничных условий, а также описание матриц параметров линий передачи.

В настоящей работе рассматриваются задачи расчета временного отклика в многопроводных линиях передачи. Предлагаемый алгоритм основан на методе Годунова, который широко используется для решения задач газовой динамики, теории мелкой воды и в других областях. Поскольку метод Годунова основывается на законах сохранения материи и энергии, этот подход является наиболее обоснованным с физической точки зрения.

1. Постановка задачи

Физическая постановка задачи

Наиболее общий подход при расчете временных характеристик любой электромагнитной системы основан на решении уравнений Максвелла во временной области, при этом можно учесть все эффекты геометрии системы и электрические свойства. Однако такой подход довольно сложен даже для простейших структур и очень трудноосуществим даже на высокопроизводительных ЭВМ. Поэтому обычно прибегают к определенным допущениям. Пусть выполняются следующие условия:

- многопроводная линия считается однородной по ее длине, а на концах она нагружена произвольными цепями. Если вдоль линии имеются неоднородности, то ее можно разбить на ряд однородных участков. Влияние неоднородностей учитывается через соответствующие эквивалентные цепи;

- геометрические размеры структуры в поперечном сечении малы по сравнению с длиной волны сигнала, проходящей по ней;

- длина линии намного превышает расстояние между ее проводниками.

С учетом этих допущений многопроводную линию передач можно описать системой дифференциальных уравнений в частных производных (обобщенные телеграфные уравнения), которые могут быть получены разными путями [1 – 3]:

- выводятся из уравнений Максвелла;

- записываются как следствие теоремы взаимности электротехнических цепей;

- получаются из законов Кирхгофа предельным переходом от уравнений цепи с сосредоточенными параметрами к уравнениям для структуры с распределенными параметрами.

Отметим, что особую проблему при анализе многопроводных линий передачи представляет учет нагружающей цепи. Если линия передачи не имеет потерь, и нагрузка линии представляет собой произвольную цепь, то решение может быть получено исключительно во временной области. С учетом этих допущений многопроводная линия передачи описывается системой дифференциальных уравнений в частных производных во временной области.

Математическая постановка задачи

Рассмотрим линию передачи, состоящую в общей сложности из $N+1$ проводников. Предположим, что N проводников являются сигнальными, а проводник с номером $N+1$ представляет собой земляной (опорный) проводник. Также предположим, что земля имеет нулевой потенциал и линия по длине однородна. Обозначим через $u_k(x, t)$ – напряжение между k -м сигнальным проводником и землей на расстоянии x от генераторного конца в момент времени t , через i – ток, протекающий по k -му проводнику на расстоянии x от генераторного конца в момент времени t . Пусть ось x направлена вдоль линии, причем точка $x=0$ соответствует положению генератора, а $x=l$ – положению нагрузки. Тогда, согласно теории цепей, напряжения и токи линии передачи при распространении ТЕМ-волн связаны телеграфными уравнениями [1]:

$$\begin{aligned} -\frac{\partial}{\partial x} U(x, t) &= R \cdot I(x, t) + L \cdot \frac{\partial}{\partial t} I(x, t), \\ -\frac{\partial}{\partial x} I(x, t) &= G \cdot U(x, t) + C \cdot \frac{\partial}{\partial t} U(x, t), \end{aligned} \quad (1)$$

где матрицы $N \times N$ погонных параметров: R – сопротивлений, L – индуктивностей, G – проводимостей и C – емкостей.

Решение телеграфных уравнений определяется как свойствами проводника, так и начальными и граничными условиями на его концах. Граничные условия для системы (1) имеют вид:

$$\begin{aligned} u(0, t) &= E_0(t) - R_g \cdot i(0, t), \\ u(l, t) &= E_l(t) + R_n \cdot i(l, t), \end{aligned} \quad (2)$$

где $E_0(t)$ и $E_l(t)$ – векторы напряжений холостого хода соответственно генераторной и нагружающей цепей, R_g – матрица сопротивлений генераторной цепи, R_n – матрица сопротивлений нагружающей цепи.

Полагаем, что в начальный момент ($t=0$) в линии отсутствуют напряжение и токи. Начальные условия в этом случае записываются в виде:

$$\begin{aligned} u(x, 0) &= 0, \quad x \in (0, l) \\ i(x, 0) &= 0, \quad x \in (0, l). \end{aligned} \quad (3)$$

Неоднородная линия передачи, у которой вдоль некоторой выбранной пространственной координаты x изменяются характерные размеры области поперечного (по отношению к оси Ox) сечения или (и) диэлектрическая и магнитная проницаемости среды, заполняющей линию, представляется каскадным соединением однородных линий передачи с различными, но постоянными в пределах каждого сегмента, волновыми сопротивлениями. В результате получают многосегментную линию передачи с собственными характеристиками каждого однородного сегмента.

2. Численный метод

Поскольку переходные процессы в проводных структурах описываются системой гиперболических уравнений, то для анализа временного отклика в несогласованной линии может быть использован метод Годунова. В основе метода лежит идея использования точных решений уравнений с кусочно-постоянными начальными данными для построения разностной схемы [4]. Для многопроводной линии без потерь ($R=0, G=0$) систему (1) можно записать в виде:

$$A \frac{\partial}{\partial t} U + B \frac{\partial}{\partial x} U = 0, \quad (4)$$

где A и B матрицы соответствующих коэффициентов при напряжениях и токах, U – вектор столбец напряжений и токов. Система (4) может быть переписана в виде:

$$\Lambda^T A \Lambda \frac{\partial}{\partial t} U + \Lambda^T B \Lambda \frac{\partial}{\partial x} U = 0,$$

где Λ^T – транспонированная матрица Λ [8]. Поскольку A и B симметрические матрицы, причем матрица A – положительно определенная, то систему (4) можно привести к каноническому виду с диагональной матрицей M :

$$\frac{\partial}{\partial t} V + M \frac{\partial}{\partial x} V = 0, \quad (5)$$

где вектор-функция $V = \Lambda^{-1}U$. Данная система распадается на m независимых уравнений для отдельных компонент $v^{(m)}$:

$$\frac{\partial v^{(m)}}{\partial t} + \mu_m \frac{\partial v^{(m)}}{\partial x} = 0.$$

Компоненты $v^{(m)}$ носят название римановых инвариантов и сохраняют постоянные значения вдоль характеристик $dx/dt = \mu_m$.

Схема, предложенная в работе [4], имеет первый порядок точности по времени и по пространству. Для повышения качества получаемых численных решений необходимо построить схему более высокого порядка точности. В данной работе строится TVD (Total Variation Diminution) – схема метода Годунова [5].

Значения функции $f(x)$ на гранях вычислительных ячеек определяются с помощью реконструкции по усредненным значениям в их центрах. Для этого задается процедура реконструкции:

$$f(x) = f_m + \alpha_m x, \quad x \in \left[-\frac{1}{2} \Delta x, \frac{1}{2} \Delta x \right].$$

Задачей наклонов α_m кусочно-линейного или кусочно-полиномиального распределения функции $f(x)$ внутри дискретной ячейки является ограничение роста осцилляций там, где это угрожает устойчивости схемы. TVD-схемы вместо условия сохранения монотонности уменьшают или сохраняют полную вариацию функции. Такое условие невозрастания вариации численного решения, или TVD-принцип, является более слабым, чем требование монотонности схемы.

Построение схемы высокого порядка точности осуществляется путем сочетания использования кусочно-линейной аппроксимации величин внутри ячеек с различными алгоритмами пересчета по времени. Используется двухшаговый пересчет – предиктор-корректор.

Предиктор: первый шаг. Предполагается, что внутри дискретных ячеек для всех значений сеточных функций заданы кусочно-линейные распределения вида:

$$\begin{aligned} v(t^k, x) &= v_j^k + \alpha_j^k (x - x_j), \\ x &\in \left[x_j - \frac{1}{2} \Delta x, x_j + \frac{1}{2} \Delta x \right], \end{aligned}$$

где x_j – пространственная координата центра ячейки с номером j , а α_j^k – вектор наклонов распределения функции V внутри ячейки.

Уравнение для учета изменения V по времени в центре ячейки имеет вид:

$$\frac{v_j^{k+1} - v_j^k}{\Delta t} + \frac{F(V_j^k + \frac{1}{2} \Delta x \cdot \alpha_j^k) - F(V_j^k - \frac{1}{2} \Delta x \cdot \alpha_j^k)}{\Delta x} = 0.$$

Предиктор: второй шаг. Значение функции v на промежуточном слое по времени $t + \frac{1}{2} \Delta t$ вычисляется по формуле:

$$v_j^{k+\frac{1}{2}} = \frac{1}{2}(v_j^{k+1} + v_j^k).$$

Корректор. На данном шаге применяется схема (3):

$$\frac{v_j^{k+1} - v_j^k}{\tau} + \mu \frac{V_{j+\frac{1}{2}} - V_{j-\frac{1}{2}}}{h} = 0,$$

где все значения $V_{j+\frac{1}{2}}$ определяются решением задачи Римана с кусочно-постоянными начальными данными:

$$\begin{cases} V_j^{k+\frac{1}{2}} + \frac{1}{2} \Delta x \alpha_j^k, & \text{при } \mu < 0, \\ V_{j+1}^{k+\frac{1}{2}} - \frac{1}{2} \Delta x \alpha_{j+1}^k, & \text{при } \mu > 0. \end{cases}$$

Существует несколько способов вычисления наклонов α_m в дискретной ячейке с номером m для сеточной функции V . Величины наклонов α_m модифицируются ограничителями ψ_m , которые являются некоторыми функциями, задающими и одновременно ограничивающими наклоны α_m на основе анализа значений u_m или конечных разностей $u_{m+1} - u_m$. В данной работе применяется ограничитель superbee [5].

3. Численные результаты

Пример 1. Рассмотрим неоднородную линию передачи (рис. 1а) из работы [6].

Дано: объект в виде неоднородной линии передачи (параметры линии представлены на рис. 1б). В линию подается импульс (рис. 2а).

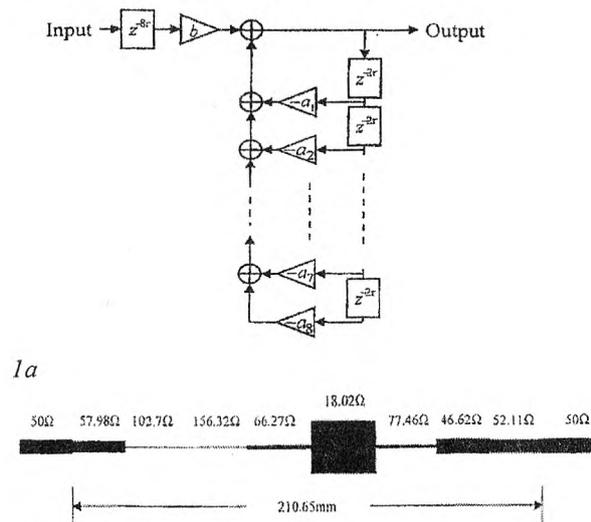


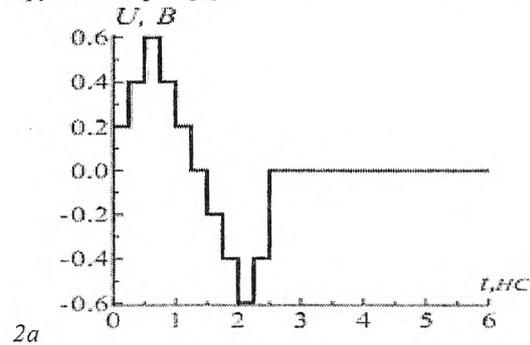
Рис. 1. а – AR-процессор; б – 8-ми секционная эквивалентная AR-процессору линия передачи

Требуется: найти значения напряжения в конце эквивалентной многосегментной структуры, получить форму сигнала на приемнике и сравнить полученные результаты с результатами из работы [6].

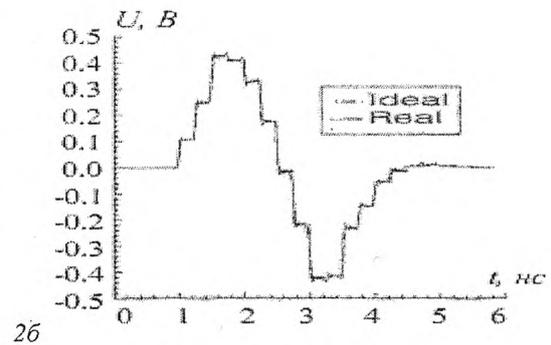
На рис. 2б представлена форма сигнала на приемнике 8-ми секционной эквивалентной AR-процессору линии передачи, полученная с помощью

измерений (Real) и численного моделирования (Ideal) [6].

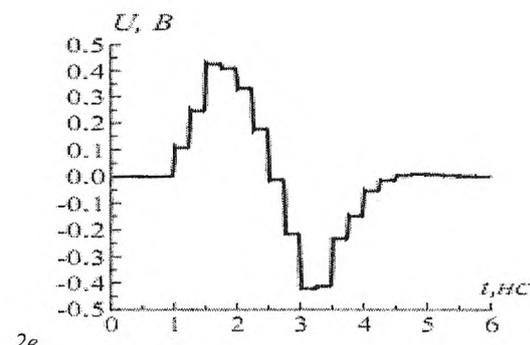
Во время прохождения сигнала по линии, при переходе из одной секции в другую, он претерпевает изменения из-за несогласованности секций между собой (различные волновые сопротивления). Форма сигнала на приемнике (рис. 2в), полученная в результате численного моделирования прохождения сигнала в 8-ми секционной линии передачи, практически неотличима от опубликованных результатов других авторов [6].



2а



2б



2в

Рис. 2. а – форма сигнала на входе эквивалентной AR-процессору линии передачи; б – значение напряжения на конце эквивалентной AR-процессору линии передачи [6]; в – результат, полученный автором статьи

Пример 2. Сравнение с экспериментальными данными.

Дано: объект в виде двух последовательно соединенных линий передачи (рис. 3) и экспериментальные данные, полученные в лаборатории с помощью программного обеспечения "ИмпульсМ" для векторного измерителя характеристик цепей P4-И-01 [11].



Рис. 3. Исследуемая структура из двух последовательно соединенных отрезков

Первый отрезок – кабель РК-50-2-21 длиной 22 м, второй – кабель RG-6U длиной 5 м. В линию подается тестовый сигнал "Видеоимпульс" (амплитуда – 1 В, длительность – 0.1 мкс) и "Хевисайда-функция" (амплитуда – 1 В) [7]. Линия разомкнута на конце (параметры линии представлены в таблице).

Требуется: провести сравнение с полученными экспериментальными данными и оценить погрешность моделирования.

Проведем сравнение с результатами экспериментальных измерений тестовых структур.

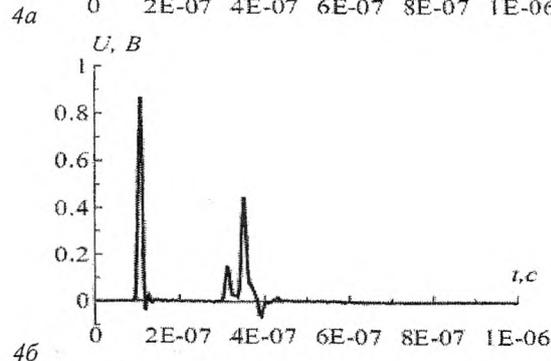
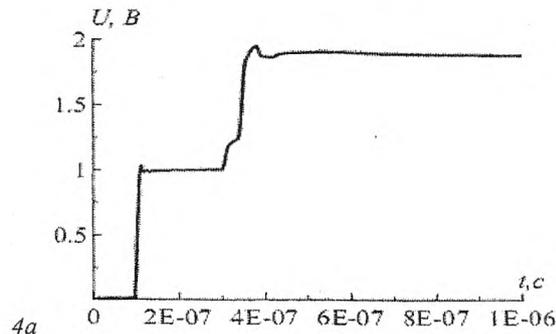


Рис. 4. Форма напряжения в начале линии (экспериментальные данные)

На рис. 4 представлены результаты экспериментальных измерений напряжения в начале исследуемой структуры: рис. 4а – на вход линии подается сигнал "Хевисайда-функция", рис. 4б – на вход линии подается сигнал "Видеоимпульс".

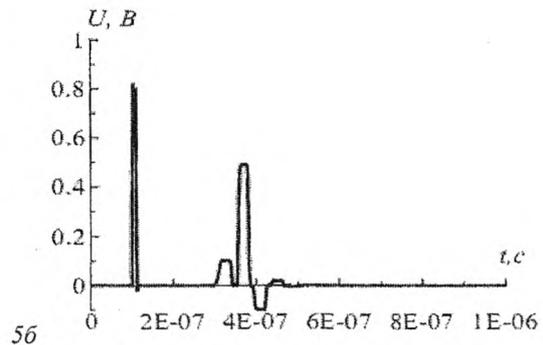
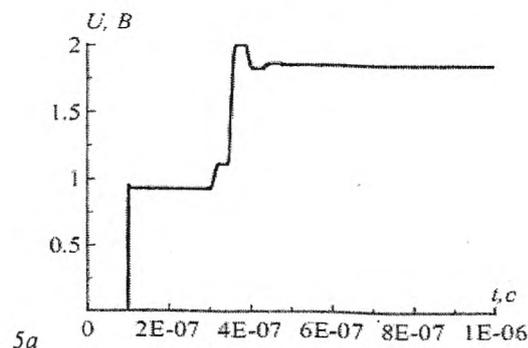


Рис. 5. Форма напряжения в начале линии (результат численного моделирования)

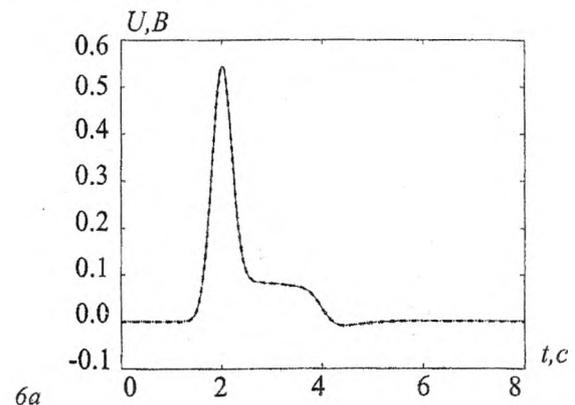
На рис. 5 представлена форма напряжения в начале линии при подаче в линию сигнала "Хевисайда-функция" (рис. 5а) и "Видеоимпульс" (рис. 5б). Из рисунков видны хорошие совпадения форм сигнала и пиковых значений напряжений. Имеется хорошее качественное совпадение с экспериментальными данными, а небольшие отличия вызваны тем, что характеристики кабеля имеют допустимые отклонения (ГОСТ 11326.35-79, волновое сопротивление $50 \pm 4 \text{ Ом}$). Погрешность моделирования относительно эксперимента находится в диапазоне 3% – 8%.

Пример 3. Экспоненциальная линия передачи

Дано: объект в виде неоднородной (экспоненциальной) линий передачи, описанной в работе [8]. Параметры линии: $l = 1 \text{ м}$, $L^0 = 1 \text{ Гн/м}$, $C^0 = 1 \text{ Ф/м}$. Индуктивность и емкость изменяются по следующему закону: $L(x) = L^0 e^{\sigma x}$, $C(x) = C^0 e^{-\sigma x}$, $\sigma = \ln 4$. В линию подается колоколообразный импульс:

$$e = \exp \left\{ -\frac{(t - T_s)^2}{2\Delta_s^2} \right\}, T_s = 2 \text{ с}, \Delta_s = 0.2.$$

Требуется: найти значения напряжения на выводах линии и сравнить полученные результаты с результатами из работы [8].



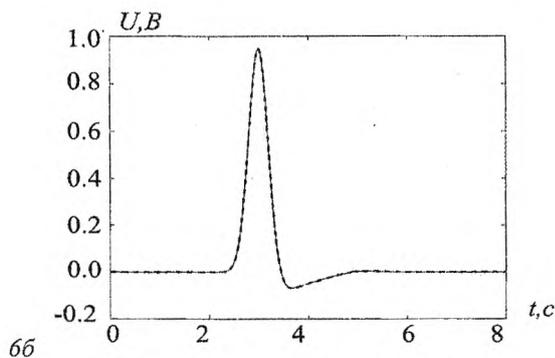


Рис. 6. Изменение напряжения в согласованной экспоненциальной линии

На рис. 6 приведена форма напряжения в начале (рис. 6а) и в конце экспоненциальной линии (рис. 6б) из работы [8].

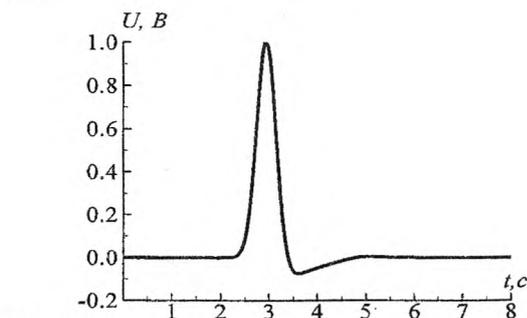
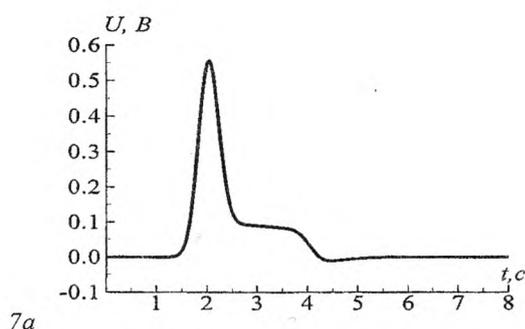


Рис. 7. Изменение напряжения в согласованной экспоненциальной линии

Несмотря на то, что линия передачи согласована и в источнике, и в нагрузке, в ней возникают отраженные волны на всей длине проводника вследствие ее неоднородности по поперечному сечению. Полученные результаты это подтверждают – формы напряжений в начале (рис. 7а) и в конце (рис. 7б) экспоненциальной линии.

Заключение

Разработан алгоритм для численного моделирования многопроводных линий передачи с нелинейными нагружающими элементами. Получены ре-

зультаты расчетов временного отклика на нескольких модельных задачах. Проведено сравнение с экспериментальными данными и опубликованными результатами других авторов. По итогам сравнительных экспериментов показано совпадение результатов численного моделирования с расчетами других авторов [6, 8] и экспериментальными данными. Погрешность моделирования относительно эксперимента находится в диапазоне 3 % – 8 %. К преимуществу представленного подхода можно отнести то, что возможно вычисление отклика и перекрестных помех в каждой узлеоконечной и соединительной цепи, а не только в конечных точках. На основании полученных результатов можно сделать вывод о работоспособности алгоритма и возможности его применения в задачах анализа помех отражения и перекрестных наводок в неоднородных многопроводных линиях передачи сигналов.

Литература

1. Смирнов, В. И. Курс высшей математики / В. И. Смирнов. – М.: Наука, 1974. – Т. 2. – 656 с.
2. Малютин, Н. Д. Многосвязные полосковые структуры и устройства на их основе / Н. Д. Малютин. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 1990. – 164 с.
3. Теоретические основы электротехники. В 3-х т.: учебник для вузов. Том 2. – 4-е изд. / К. С. Демирчян, Л. Р. Нейман, Н. В. Коровкин, В. Л. Чечурин. – СПб.: Питер, 2006. – 576 с.
4. Численное решение многомерных задач газовой динамики / под ред. С. К. Годунова. – М.: Наука, 1976. – 374 с.
5. Куликовский, А. Г. Математические вопросы численного решения гиперболических систем уравнений / А. Г. Куликовский, Н. В. Погорелов, А. Ю. Семенов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001. – 608 с.
6. Pan, T.-W. Modified Transmission and Reflection Coefficients of Nonuniform Transmission Lines and Their Applications / T.-W. Pan, C.-W. Hsue // IEEE Transactions on microwave theory and techniques. – 1998. – Vol. 46. – №. 12. – P. 2092 – 2097.
7. Лоцилов, А. Г. Цифровой измерительный комплекс для измерения частотных и импульсных характеристик четырехполосников / А. Г. Лоцилов, Э. В. Семенов, Н. Д. Малютин // Известия Томского политехнического университета. – 2006. – Т. 309. – №. 8. – С. 37 – 41.
8. Grivet-Talocia, S. Weak solution of the non-uniform multiconductor transmission lines / S. Grivet-Talocia, F. Canavero // Electromagnetic Compatibility. – 1998. – Vol. 2. – P. 964 – 968.

Научный руководитель-рецензент – К. Е. Афанасьев – д-р физ.-мат. наук, профессор, ГОУ ВПО «Кемеровский государственный университет».

УДК 519.86

**ВЫЧИСЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ТРАЕКТОРИИ В МОДЕЛИ УСТОЙЧИВОГО
РАЗВИТИЯ РЕГИОНА, ПОСТРОЕННОЙ В ФОРМЕ МОДИФИЦИРОВАННОЙ
ГЛОБАЛЬНОЙ МОДЕЛИ «МИР-3»**

Е. С. Чернова

Работа посвящена построению математической модели устойчивого развития региона на основе глобальной модели «Мир-3», формализации его основных факторов с учетом теоретических предпосылок. Доказывается необходимый и достаточный признак оптимальности для построенной модели, приводится метод вычисления оптимальных траекторий.

The work is devoted to the building of the mathematical model of sustainable development of region based on the global model "World 3" and to the formalization of its major factors taking into consideration the theoretical preconditions. Necessary and sufficient optimality condition for the built model is proved, method of calculation of optimal trajectories is given.

Ключевые слова: устойчивое развитие, принцип Максима Понтрягина, глобальная модель Медоуза «Мир-3».

В данной статье приводится краткое описание модели устойчивого развития региона, построенной на основе глобальной модели Медоуза «Мир-3» [1, 2], а также дается алгоритм вычисления оптимальной траектории полученной модели.

Построение модели устойчивого развития региона проводилось исходя из необходимой предпосылки стабильности экономики во времени. Кроме того, считалось, что найдено такое начальное состояние системы, из которого можно осуществить ее перевод на «рельсы» устойчивого развития.

Модифицированную модель «Мир-3» будем записывать в конечно-разностной форме. Пусть $[0, T]$ – рассматриваемый (планируемый) период времени. Шаг по времени Δt примем равным одному году.

Для дальнейшего построения и исследования модели введем следующие упрощающие предположения.

1) Годовой выпуск продукции $I(t)$ в год t , население во втором и четвертом диапазонах возрастов $P_2(t)$ и $P_4(t)$, а также величины $B_2(t) = c_1 B_L(t)$ предельной фертильности и $B_1(t)$ желаемой фертильности будем считать известными и определяемыми из статистических данных путем прогнозирования.

2) Величины W_A стоимости ввода в эксплуатацию 1 га земли, I_X доли сельскохозяйственных инвестиций, идущей на разработку новых площадей, M_Z скорости деградации плодородия почвы, T_W времени регенерации плодородия почвы, Z_{IA} скорости генерации загрязнения, $T_Z^0 = c_Z T_Z$ характерного времени абсорбции загрязнения, смертности D_{Li} , $i=1, \dots, 4$, ($D_{Li} \leq 4/15$) в различных диапазонах возрастов будем принимать постоянными. В исходной модели [1-2] все они представлялись табличными функциями (за исключением Z_{IA} , в аргумент которой входили табличные функции), значения которых были получены в результате обработки статистических данных по развитым странам и от-

ражали исторически сложившиеся, существующие на тот момент тенденции. В модели устойчивого развития неправомерно станет использование полученных для модели «Мир-3» зависимостей.

3) Будем считать, что скорость увеличения ранее возделанных земель, разрушенных почвенной эрозией, прямо пропорциональна количеству уже имеющихся таких земель с коэффициентом $\alpha = const$ ($\alpha \geq 0$), аналогично невозполнимые природные ресурсы убывают с постоянным темпом β ($0 \leq \beta \leq 1$), а темп урбанизации составляет γ .

4) Введем некоторый показатель здоровья населения σ , который будет прямо пропорционален уровню сервиса и обратно пропорционален уровню загрязнения, т. е. будет выражаться по формуле $\sigma = c \frac{x_2}{p x_6}$, где $\frac{x_2}{p}$ – уровень сервиса на душу населения, x_6 – уровень загрязнения.

При анализе проблематики устойчивого развития на гуманитарном уровне были выделены следующие основные требования к математической модели устойчивого развития [3]:

- 1) наличие социального, экономического, экологического секторов;
- 2) управляемость модели;
- 3) наличие векторного критерия качества.

В соответствии с этими требованиями будем преобразовывать глобальную модель «Мир-3». Наиболее простым и естественным механизмом управления развитием социально-экономической системы является распределение капиталовложений [3]. Поэтому в качестве управляющих воздействий будем брать доли инвестиций в различные отрасли, которые в модели Медоуза задавались либо в виде табличных функций (что заранее исключает возможность сознательного вмешательства человека в функционирование системы), либо не были учтены вообще. Это доли конечного продукта, распределяемые в промышленность, производство услуг, в производство пищи, на восстановление почвы, разрушенной эрозией, на восстановление невозобнов-

ляемых ресурсов, на ликвидацию загрязнений и на контроль за рождаемостью.

Что касается наличия трех подмоделей, то секторы капитала и сельского хозяйства модели «Мир-3» мы будем относить к экономической подмодели, невозобновляемых ресурсов и загрязнения – к экологической, а демографии – к социальной.

Обозначим через u_1 и u_2 доли инвестиций соответственно в промышленность и производство услуг. Тогда уравнения для индустриального и сервисного капиталов запишутся в виде:

$$x_1(t+1) = x_1(t) \left(1 - \frac{1}{T_I} \right) + I(t)u_1(t), \quad (1)$$

$$x_2(t+1) = x_2(t) \left(1 - \frac{1}{T_S} \right) + I(t)u_2(t), \quad (2)$$

где $I(t)$ – выпуск промышленной продукции в год t , T_I – заданное постоянное время износа основных фондов промышленных предприятий, T_S – аналогичное постоянное время износа фондов сервисных предприятий.

В секторе сельского хозяйства обозначим через u_3 долю инвестиций в производство пищи и введем дополнительное управление u_4 – долю инвестиций на восстановление почвы, разрушенной эрозией. Тогда уравнения для уменьшения запаса невозделанных, но пригодных к обработке земель, и для разрушенных почвенной эрозией площадей соответственно примут вид:

$$x_3(t+1) = x_3(t) - \frac{I(t)u_3(t)I_X}{W_A}, \quad (3)$$

$$x_4(t+1) = x_4(t)(1 + \alpha) - \frac{u_4(t)I(t)}{q_{\mathcal{D}}}, \quad (4)$$

где $q_{\mathcal{D}} = const$ – стоимость восстановления 1 га земли, I_X – доля от всех сельскохозяйственных инвестиций, идущая на разработку новых площадей, W_A – стоимость разработки 1 га земли.

В уравнениях для уровня невозобновляемых ресурсов и уровня загрязнений введем по одному дополнительному слагаемому, которые будут отвечать за восстановление ресурсов и ликвидацию загрязнений. Получим:

$$x_5(t+1) = x_5(t)(1 - \beta) + \frac{I(t)u_5(t)}{q_R}, \quad (5)$$

$$x_6(t+1) = x_6(t) \left(1 - \frac{1}{T_Z^0} \right) + Z_{IA} - \frac{I(t)u_6(t)}{q_Z}, \quad (6)$$

где u_5 – доля инвестиций на восстановление ресурсов, u_6 – доля инвестиций на борьбу с загрязнением, $q_R = const$ – стоимость восстановления единицы ресурса, $q_Z = const$ – стоимость очистки единицы загрязнения, Z_{IA} – скорость генерации загрязнения, T_Z^0 – характерное время абсорбции загрязнения.

И, наконец, в сектор демографии добавим одно управляющее воздействие u_7 , которое будет обозначать долю инвестиций на контроль за рождаемостью. Тогда уравнение для населения в первом диапазоне возрастов запишется в виде:

$$x_7(t+1) = x_7(t) \left(1 - D_{L1} - \frac{1}{15} \right) + \frac{p_2(t)}{2 \cdot 30} \left(B_2(t) + \frac{I(t)}{q_P} u_7(t) (B_1(t) - B_2(t)) \right), \quad (7)$$

где $q_P = const$ – максимальное количество средств, выделяемых на контроль за рождаемостью, D_{L1} – вероятность умереть индивидууму в первом диапазоне возрастов, множитель $\frac{I}{q_P} U_P \in [0, 1]$ заменит множитель эффективности контроля над рождаемостью модели «Мир-3».

Вспомогательные уравнения модели будут содержать соответственно уравнение для естественного плодородия земель, для урбанизированной части ранее возделанных земель, для приносящих урожай возделанных площадей земли, для доли населения в третьем диапазоне возрастов, а также уравнение для населения:

$$y(t+1) = y(t) \left(1 - \frac{1}{T_W} - M_Z \right) + \frac{c_Y}{T_W}, \quad (8)$$

$$a_U(t+1) = a_U(t)(1 - \gamma), \quad (9)$$

$$a(t+1) = a(t) - a_U(t) - x_3(t) - x_4(t), \quad (10)$$

$$p_3(t+1) = p_3(t) \left(1 - D_{L3} - \frac{1}{20} \right) + \frac{p_2(t)}{30}, \quad (11)$$

$$p(t) = x_7(t) + \sum_{i=2}^4 p_i(t), \quad (12)$$

где T_W – время регенерации плодородия почвы, M_Z – скорость деградации плодородия почвы, c_Y – плодородие целинной земли.

Рассмотрим ограничения модели. Очевидно выполнение условия: $\sum_{j=1}^7 u_j(t) + G_C \leq 1$. (13)

Доли инвестиций ограничим снизу некоторой величиной $\mu_j(t) > 0$, обозначающей минимально возможную долю конечного продукта, направляемую в определенный сектор в каждый момент времени t . Также следует добавить очевидные условия неотрицательности загрязнения, площади земель, потенциально пригодных для обработки, и неположительности производной от R (т. е. восстановление ресурсов не заходит столь далеко, что дает их больше, чем природа). Таким образом, в модели будут присутствовать следующие ограничения:

$$u_j(t) \geq \mu_j(t), \quad j = 1, \dots, 7, \quad (14)$$

$$x_3(t) \geq 0, \quad x_6(t) \geq 0, \quad x_5(t+1) - x_5(t) \leq 0, \quad (15)$$

$$t = 0, \dots, T-1.$$

Критериев качества в полученной задаче, на наш взгляд, должно быть, по крайней мере, три: в области экологии наиболее логичной является минимизация уровня загрязнений, в области экономики – минимизация затрат, а в области социологии в качестве функционала качества можно взять введенный показатель здоровья населения, который подлежит максимизации как совокупный показатель уровня сервиса и загрязнения. Таким образом, получаем три критерия:

$$\begin{cases} F_1 = \sum_{t=0}^{T-1} x_6(t) \rightarrow \min, \\ F_2 = \sum_{t=0}^{T-1} I(t) \left(1 - \sum_{j=1}^7 u_j(t) - G_C \right) \rightarrow \min, \\ F_3 = \sum_{t=0}^{T-1} c \frac{x_2(t)}{p(t)x_6(t)} \rightarrow \max. \end{cases} \quad (16)$$

Состояние системы в начальный момент времени задается соотношениями:

$$\begin{aligned} x_j(0) &= x_j^0, \quad j = 1, \dots, 7, \\ a_U(0) &= a_U^0, \quad a(0) = a^0, \quad y(0) = y^0, \\ p_i(0) &= p_i^0, \quad i = 2, 3, 4. \end{aligned} \quad (17)$$

Пусть конечные состояния в момент времени T также определены:

$$x_j(T) = x_j^T, \quad j = 1, \dots, 7. \quad (18)$$

Полученная модель (1) – (18) является задачей оптимального управления со многими критериями качества (см. [4]). Здесь $x = (x_1, \dots, x_7)$ – вектор фазового состояния, (1) – (7) – уравнения движения, (8) – (12) – вспомогательные уравнения, (13) – (15) – ограничения на переменные и управляющие параметры, (16) – функционалы, характеризующие качество достижения цели управления, (17) – состояние системы в начальный момент времени, (18) – планируемое конечное состояние системы.

Для того чтобы получить необходимый признак оптимальности траектории в задаче (1) – (18), воспользуемся принципом максимума Понтрягина.

Обозначим

$$\begin{aligned} f^0 &= \lambda_1 x_6(t) + \lambda_2 I(t) \left(1 - \sum_{j=1}^7 u_j(t) - G_C \right) - \\ &- \lambda_3 c \frac{x_2(t)}{p(t)x_6(t)}, \end{aligned} \quad (19)$$

$$\alpha = (\alpha_1, \dots, \alpha_7)^T, \quad \beta = (\beta_1, \dots, \beta_7)^T, \quad \gamma = (\gamma_1, \dots, \gamma_7)^T.$$

Построим множество $\varphi(U)$, являющиеся аналогом множества обобщенных скоростей (вектограммой) в задаче (1) – (18):

$$\varphi(U) = \{y : y = \beta u + \gamma, u \in U\}.$$

Поскольку множества $\varphi(U)$ выпуклы, функция $f^0(x, u)$ линейна по u , то оптимальное управление $u^*(\cdot)$ будет доставлять максимум функции Понтрягина:

$$H(x^*(t), \psi^*(t), u(t)) = -f^0(x^*(t), u(t)) + \langle \psi^*(t), \beta(t)u(t) + \gamma(t) \rangle \quad (20)$$

по $u(t) \in U(t)$ при $t = 0, \dots, T-1$, где

$\langle \psi^*(t), \beta(t)u(t) + \gamma(t) \rangle$ обозначено скалярное произведение векторов $\psi^*(t)$ и $\beta(t)u(t) + \gamma(t)$.

Подставляя конкретный вид функции f^0 из (19) в (20), получим:

$$\begin{aligned} H &= -\lambda_1 x_6^* - \lambda_2 I \left(1 - \sum_{j=1}^7 u_j - G_C \right) + \\ &+ \lambda_3 c \frac{x_2^*}{p^* x_6^*} + \sum_{j=1}^7 \psi_j^* (\beta_j u_j + \gamma_j), \end{aligned} \quad (21)$$

где значения $\psi^*(t)$ будут определяться из сопряженной системы:

$$\psi(t-1) = -\frac{\partial f^0(x(t), u^*(x(t), \psi(t)))}{\partial x(t-1)} +$$

$$+\alpha^T \psi(t),$$

$$t = T, T-1, \dots, 1, \quad \psi(T) = 0$$

по следующим формулам:

$$\psi^*_2(\tau) = -\lambda_3 c \sum_{t=\tau}^{T-1} \frac{\alpha_2^{t-\tau}}{p(t)x_6(t)},$$

$$\psi^*_6(\tau) = -\sum_{t=\tau}^{T-1} \alpha_6^{t-\tau} \left(\lambda_1 + \frac{\lambda_3 c}{p(t)x_6^2(t)} \right),$$

$$\psi^*_7(\tau) = -\lambda_3 c \sum_{t=\tau}^{T-1} \frac{\alpha_7^{t-\tau} x_2(t)}{p^2(t)x_6(t)},$$

а $\psi^*_j = 0$ при $j = 1, 3, 4, 5$.

Функция H будет линейна по

$u(t) = u(x(t), \psi(t))$, $t = 0, \dots, T-1$, поэтому максимума она будет достигать на границе множества $U(t)$.

Конкретные значения управлений $u_j^*(t)$ можно найти путем перебора вершин множества $U(t)$ при помощи симплекс-метода, причем введение в базис то или иной вершины на каждом шаге будет зависеть от значений величин $\lambda_2 I(t)$,

$$\lambda_2 I(t) + \psi_2(t)\beta_2(t), \quad \lambda_2 I(t) + \psi_6(t)\beta_6(t),$$

$$\lambda_2 I(t) + \psi_7(t)\beta_7(t).$$

Поскольку знаки величин $\psi_2\beta_2$ и $\psi_6\beta_6$ определены исходя из смысла задачи ($\psi_2\beta_2 \leq 0$, $\psi_6\beta_6 \geq 0$), а знак $\psi_7\beta_7$ будет зависеть от значений предельной и желаемой фертильности в каждый момент $t = 0, \dots, T-1$, оптимальные значения управляющих параметров будут выбираться в соответствии с одним из следующих случаев:

- 1) $\psi_7\beta_7 < \psi_2\beta_2 < \psi_6\beta_6$, $\lambda_2 I > -\psi_2\beta_2$;
- 2) $\psi_7\beta_7 < \psi_2\beta_2 < \psi_6\beta_6$, $\lambda_2 I < -\psi_2\beta_2$;
- 3) $\psi_2\beta_2 < \psi_6\beta_6 < \psi_7\beta_7$, $\lambda_2 I > -\psi_2\beta_2$;
- 4) $\psi_2\beta_2 < \psi_6\beta_6 < \psi_7\beta_7$, $\lambda_2 I < -\psi_2\beta_2$;

(22)

- 5) $\psi_2\beta_2 < \psi_7\beta_7 < \psi_6\beta_6$, $\lambda_2 I < -\psi_2\beta_2$, $\psi_7\beta_7 > 0$;
 6) $\psi_2\beta_2 < \psi_7\beta_7 < \psi_6\beta_6$, $\lambda_2 I < -\psi_2\beta_2$, $\psi_7\beta_7 < 0$;
 7) $\psi_2\beta_2 < \psi_7\beta_7 < \psi_6\beta_6$, $\lambda_2 I > -\psi_2\beta_2$, $\psi_7\beta_7 > 0$;
 8) $\psi_2\beta_2 < \psi_7\beta_7 < \psi_6\beta_6$, $\lambda_2 I > -\psi_2\beta_2$, $\psi_7\beta_7 < 0$.

Ввиду громоздкости выкладок при вычислении оптимального управления они в данной статье приводиться не будут. Проведя все итерации, найдем оптимальные значения управляющих параметров $u^*(t)$. В результате выполнения всех вычислений будет найдено оптимальное распределение капиталовложений в каждый сектор. Очевидно, это вектор $u^* = (u^*_1, \dots, u^*_7)$, являющийся вершиной многогранника допустимых решений.

Перепишем систему уравнений (1) – (7) в унифицированном виде:

$$x_j(t+1) = \alpha_j x_j(t) + \beta_j(t)u_j(t) + \gamma_j(t), \quad j = 1, \dots, 7. \quad (23)$$

Вектор x найдем из уравнения (23), подставляя полученные $u^*(t)$:

$$x_j(\tau) = (\alpha_j)^\tau x_j^0 + \sum_{t=0}^{\tau-1} [(\alpha_j)^{\tau-t-1} (\beta_j(t)u_j(t) + \gamma_j(t))] \quad (24)$$

Обозначив, $\alpha_8 = 1 - D_{L3} - \frac{1}{20}$, $\gamma_8 = \frac{1}{30}$, найдем выражение для p_3 :

$$p_3(\tau) = (\alpha_8)^\tau p_3^0 + \gamma_8 \sum_{t=0}^{\tau-1} (\alpha_8)^{\tau-t-1} p_2(t), \quad (25)$$

откуда сможем получить значение p по формуле (12).

Поскольку рассматриваемая система (1) – (7) является линейной (как по x , так и по u), для нее дискретный принцип максимума является не только необходимым, но и достаточным условием оптимальности [5]. Таким образом, мы доказали следующую теорему.

Теорема. Для того чтобы управление $u^*(t)$ было оптимальным в задаче (1) – (18), необходимо и достаточно, чтобы оно доставляло максимум функции Понтрягина (21):

$$\begin{aligned} & -\lambda_1 x^*_6(t) - \lambda_2 I(t) \left(1 - \sum_{j=1}^7 u^*_j(t) - G_C \right) + \\ & + \lambda_3 c \frac{x^*_2(t)}{p^*(t)x^*_6(t)} + \sum_{j=1}^7 \psi^*_j(t) (\beta_j(t)u^*_j(t) + \gamma_j(t)) = \\ & = \max_{u \in U(t)} \left(-\lambda_1 x^*_6(t) - \lambda_2 I(t) \left(1 - \sum_{j=1}^7 u_j(t) - G_C \right) + \right. \\ & \left. + \lambda_3 c \frac{x^*_2(t)}{p^*(t)x^*_6(t)} + \sum_{j=1}^7 \psi^*_j(t) (\beta_j(t)u_j(t) + \gamma_j(t)) \right) \end{aligned}$$

при $t = 0, \dots, T-1$, где $\psi^*_j(t)$ определяются по формулам:

$$\begin{aligned} \psi^*_2(\tau) &= -\lambda_3 c \sum_{t=\tau}^{T-1} \frac{\alpha_2^{t-\tau}}{p(t)x_6(t)}, \\ \psi^*_6(\tau) &= -\sum_{t=\tau}^{T-1} \alpha_6^{t-\tau} \left(\lambda_1 + \frac{\lambda_3 c}{p(t)x_6^2(t)} \right), \\ \psi^*_7(\tau) &= -\lambda_3 c \sum_{t=\tau}^{T-1} \frac{\alpha_7^{t-\tau} x_2(t)}{p^2(t)x_6(t)}, \\ \psi^*_j &\equiv 0, \quad j = 1, 3, 4, 5. \end{aligned}$$

Исследования подвержены грантам «РФФИ - Кузбасс» № 07-01-96022.

Литература

- Егоров, В. А. Математические модели глобального развития / В. А. Егоров, Ю. Н. Каллистов, В. Б. Митрофанов, А. А. Пионтковский – Л.: Гидрометеоздат, 1980. – 192 с.
- Медоуз, Д. Х. Пределы роста [пер. с англ.] / Донелла Х. Медоуз, Деннис Л. Медоуз, Йорген Рэндерс, Вильям Ш Беренс / предисл. Г. А. Ягодина. – М.: изд-во МГУ. – 1991. – 208 с.
- Данилов, Н. Н. Устойчивое развитие: методология математических исследований / Н. Н. Данилов // Вестник КемГУ «Математика». – Кемерово, 2000. – Вып. 4. – С. 5 – 15.
- Матросов, В. М. Моделирование и прогнозирование показателей социально-экономического развития области / В. М. Матросов, В. Б. Головченко, С. И. Носков. – Новосибирск: Наука, 1991. – 144 с.
- Громов, Ю. Ю. Системный анализ в информационных технологиях: учеб. пособие / Ю. Ю. Громов, Н. А. Земской, А. В. Лагутин, О. Г. Иванова, В. М. Тютюнник. – 2-е изд., стереотип. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2007. – 176 с.
- Болтянский, В. Г. Оптимальное управление дискретными системами / В. Г. Болтянский. – М.: Наука, 1973. – 448 с.

Рецензент – В. В. Мешечкин – доцент кафедры математической кибернетики КемГУ, ГОУ ВПО «Кемеровский государственный университет».

ПСИХОЛОГИЯ

УДК 159.955

ОБРАЗ СЕМЬИ В СТРУКТУРЕ СУБЪЕКТИВНОГО ОПЫТА ДОШКОЛЬНИКОВ

С. С. Смагина

Статья посвящена изучению субъективной семантики сознания дошкольников в сфере субъективной репрезентации семьи; проведено исследование структурно-содержательных особенностей тематических ассоциатов, личных конструктов в обозначенной сфере детского опыта, выделены семантические инварианты.

This article devoted by research children's idea about family. Children's associations and personal constructs (the basic meaning categories) are described in this part of experience.

Ключевые слова: психосемантика, субъективная семантика сознания, субъективная репрезентация, ассоциативный эксперимент, тест личных конструктов, ассоциативная структура, семантическая категория, вербальные описания, конструкты, ассоциаты, дошкольный возраст.

В настоящей статье представлено исследование, посвященное изучению субъективной семантики сознания детей среднего дошкольного возраста. Поставлена проблема изучения представлений ребенка о семье с позиции психологии субъективной семантики, использующей в качестве одной из основных - категорию субъективного опыта. Значим субъективный аспект присутствия образа семьи, ее членов в сознании ребенка дошкольного возраста.

По своей теоретической и практической значимости изучение детских смысловых структур на этапе их становления представляет собой явную остро актуальную психолого-педагогическую проблему, особенно на фоне многообразия в отечественной психологии теоретико-экспериментальных работ по описанию различных аспектов образа мира. Зарождаясь в системе реальных отношений ребенка с миром, уже на ранних этапах онтогенеза, личностный смысл одновременно входит в систему внутренних связей сознания, определяя отношение ребенка к миру, другим людям, самому себе. Каким образом, в какой форме и как это отражается в субъективной семантике сознания ребенка – этот вопрос остается открытым. «Проблема формирования смысловой сферы личности ребенка все еще принадлежит к кругу тех фундаментальных вопросов, которые являются наименее разработанными... психосемантические исследования личности ребенка в отечественной психологии крайне редки» [1997, с. 6].

Изучение субъективной репрезентации близкого значимого окружения в терминах детского понимания на ранних этапах его осознания позволяет ответить на вопрос, что есть для дошкольника на языке его обыденного сознания семья, какими он видит ее членов.

Психосемантический подход к изучению обыденного сознания и является тем продуктивным направлением в отечественной психологии, которое позволяет реконструировать категориальную структуру детского сознания в различных областях субъективного опыта, тем более что на сегодняшний

день в русле этого прогрессирующего направления разработан богатый арсенал методов, адекватный решению подобных научно-практических задач, накоплен разнообразный материал, относящийся к структурно-содержательным характеристикам смысловой организации сознания различных уровней отражения в работах В. Ф. Петренко, Е. Ю. Артемьевой, А. Г. Шмелева, Е. В. Улыбиной, Д. А. Леонтьева, В. П. Серкина, Е. В. Лисиной, О. В. Ефремовой и других исследователей.

Цель – исследование структурно-содержательных особенностей сознания дошкольников в области субъективной репрезентации семейного окружения.

В качестве основных методов исследования выступают тематический ассоциативный эксперимент, тест личных конструктов Дж. А. Келли. Испытуемые – 61 ребенок в возрасте 5 – 6 лет, дошкольники среднего возраста старших групп МОУ № 163 города Кемерово, из них 24 ребенка из неполных семей.

Исследование включало несколько этапов: на первоначальном этапе проводилась групповая игра, сходная по сценарию с ассоциативным экспериментом, затем следовал двухзамерный ассоциативный эксперимент; в промежутках между замерами была проведена тестовая процедура «решетки» без включения ролевого списка.

1 этап. Организация процедуры ассоциативного тематического эксперимента. Ребенку на слух предъявлялось слово-стимул с повтором через 10-15 секунд во избежание вторичных ассоциаций уже не на само слово-стимул, а на свой ассоциат. Эксперимент проводился индивидуально с каждым отдельно взятым ребенком. Запись реакции, временные интервалы между словом-стимулом и первичной реакцией, между смежными ассоциатами осуществлялась экспериментатором.

Проведению экспериментального исследования непосредственно предшествовала «групповая игра», сходная с экспериментальным сценарием, основными задачами которой являлось установление доверительных и эмоционально позитивных отношений с детьми и «включение» ребенка в ситуацию: экспе-

риментатор называл детям некое слово и просил их проговаривать слова, связанные с предъявляемым. Набор «доэкспериментальных» стимулов включал слова различных грамматических классов общепотребительной лексики, нейтрально и экспрессивно окрашенных: арбуз, дым, страх, чудо, прыгать, кричать, ехать, смешно, горячо, твердый, вкусный, голубой.

Эксперимент проводился в два тождественных замера, временной интервал которых составил 15-17 дней, в привычной для детей обстановке детского сада. Целесообразность проведения второго среза обусловлена необходимостью выявления факта устойчивости/динамичности (или вариативности) детских ассоциаций. Согласно инструкции, ребенка

просили в ответ на предъявляемое слово, давать собственные, пришедшие в голову, не ограничивая себя в количестве.

Список ассоциативных стимулов включает 13 слов из различных грамматических классов с преобладанием имен существительных («семья», «дом», «квартира», «мама», «папа», «любовь», «жить», «любить», «мы», «вместе», «родные», «сестра», «брат») и образует некоторую тематическую группу, обладающую общим элементом значения.

Обработка полученных данных позволила вычислить объем ассоциативного ряда и возможности его вариативности, специфику семантики, степень ее стабильности /динамичности.

Таблица 1

Показатели объема и вариативности ассоциативной динамики дошкольников

Слово стимул	Объем ряда 1 замер	Основные ассоциаты	Объем ряда 2 замер	Индекс повторяемости (R) (%)
мама	1-3 // 120	Папа – 59 Иные члены семьи – 38 Атрибуты – 23	1-3 // 128	93 85 24
папа	1-2 // 101	Мама – 54 Иные члены семьи – 35	1-2 // 105	97 64
семья	1-4 // 137	Мама – 61 Папа – 57 Иные члены семьи – 19	1-4 // 132	100 94 46
брат	1-2 // 93	Члены семьи – 52 Синтаксические ассоциаты – 12 Имена собственные – 29	1-2 // 100	74 15 20
сестра	1-2 // 98	Члены семьи – 43 Синтаксические – 11 Имена собственные – 13	1-2 // 92	57 19 24
дом	1-4 // 142	Синонимы, части дома – 118 Члены семьи – 7	1-4 // 138	91 11
квартира	1-3 // 110	Синонимы, части дома – 104 Члены семьи – 5	1-2 // 117	93 8
любовь	1-2 // 73	Отрицание – 47 Синонимы – 26	1-2 // 123	74 35
любить	1-2 // 88	Отрицание – 49 Синонимы – 35	1-2 // 93	74 29
жить	1-2 // 86	Отрицание – 43 Иные реакции – 43	1-2 // 82	62 42
родные	1-3 // 127	Члены семьи – 106 Одушевленно-неодушевленные объекты – 21	1-3 // 136	87 12
мы	1-3 // 137	Члены семьи – 84 Значимые другие – 32 Иные реакции – 21	1-3 // 144	75 24 15
вместе	1-2 // 78	Действия – 34 Антонимы – 38	1-2 // 82	56 61

1. Объем ассоциативного ряда отражает среднegrupповое количество ассоциативных реакций по каждому отдельно взятому стимулу в разные временные срезы. Как показывают данные таблицы, дети в среднем способны продуцировать лишь 1-3 ассоциативные реакции, в зависимости в том числе и от грамматического класса стимульного слова. Та-

ким образом, объем ассоциативного ряда сведен к минимуму.

Сопоставляя и анализируя полученные данные с результатами психолингвистических работ отечественных и зарубежных исследователей 60-70 годов (С. Эрвин, 1961; Д. Палермо, 1966; А. М. Шахнарович, 1984), вынуждены констатировать выраженные

расхождения: в частности, согласно данным А. М. Шахнарович, дети 5-6-летнего возраста продуцируют большее количество реакций, чем взрослые. Минимальный объем ассоциативного ряда в ситуации нашего исследования неправомерно объяснять неспособностью ребенка этого возраста к репрезентации ассоциатов именно по тематике «семья» (или неумением вербализовать или активировать), так как в предшествующей эксперименту «ассоциативной игре» на содержательно иные и разнообразные по тематике слова-стимулы эти же дети продуцировали не большее количество ассоциативных реакций. Опираясь на экспериментальные данные, полученные в работе А. И. Назарова, можно предположить, что именно это количество ассоциатов соответствует объему релевантного активного знания в данной области опыта у детей дошкольного возраста.

Показателем временной вариативности //динамичности ассоциативного ряда является сопоставление объема ассоциативных рядов в обоих замерах, которое может быть выражено в величине стандартного отклонения, не превышающей 6 % от среднего значения. Минимаксный диапазон межсеансной вариативности составил от 1,5 % до 6%, что свидетельствует о временной стабильности ассоциативного ряда. Тематические ассоциации в исследуемой сфере опыта на данном возрастном этапе характеризуются минимальной изменчивостью, а значит, независимы от конкретно-ситуативных факторов, что может быть обусловлено формирующимися уже с первых дней жизни культурно-нормативными рамками. Ребенок как бы изначально обучается «видению» и «описанию» мира семьи.

Минимальный объем ассоциативного ряда не позволяет выявить такие свойства ассоциаций, как гетерохронность (о которой уместно говорить только при объеме ассоциативного ряда менее 10 ассоциатов) и скорость ассоциативной динамики. Временные интервалы между предъявляемым стимулом и первичным ассоциатом в среднем составляет от 1,5 – 4,5 секунд; между смежными реакциями временной диапазон составляет от 1с – 10 секунд, что свидетельствует о временной стабильности ассоциативного ряда.

Безусловно, наибольшую сложность и интерес вызывает анализ семантики ассоциативного ряда. Тем более, что это не входит в традицию существующих лингвистических и психологических ассоциативных экспериментов. Содержательный анализ субъективной семантики тематических ассоциатов опирается на показатели повторяемости в различных временных срезах, последовательности в ряду и близости ассоциативной реакции к стимульному слову.

Высокочастотной, а в ряде случаев и единственной, реакцией на слово «мама» является «папа», более того, у 92 % детей слово «папа» является первичной реакцией, которая возникает после предъявления «мама». В детском сознании «мама» воспринимается в отношениях семантической общности со словом «папа» и наоборот. Следует подчеркнуть,

что из 61 ребенка, задействованных в эксперименте, 24 живут в неполных семьях, тем не менее в 87 % реакций от общей выборки на стимульное слово «мама» ребенок продуцирует в первую очередь реакцию «папа». Во внутреннем опыте ребенка «папа» и «мама» «фиксированно» связаны, что подтверждают данные второго замера. В сознании ребенка «мама» и «папа» выступают в едином нерасчлененном образе.

В 64 % случаев на слово «мама» ребенок продуцирует парадигматические реакции, принадлежащие к тому же семантическому полю «семья» и указывающие на какую-либо разновидность родственной связи типа «баба», «деда», «брат», «сестра». В 22 % случаев отражены элементы внешности, одежды, иную атрибутику стимульного образа типа «мама – сумка», «мама – работать», «мама – волосы, руки».

Группирование реакций на стимул «папа» сходны с вышеописанной на стимул «мама» - в 86,7 % случаев первичной реакцией на стимул «папа» ребенок продуцирует «мама»; 35 % приходится на парадигматические реакции, указывающие на родственников типа «баба», «деда».

Тематические ассоциации на стимульное слово «брат» и «сестра» содержательно менее однообразные, чем на «мама» и «папа», хотя количественно также составляют 1-2 реакции, систематизировать которые можно следующим образом: ассоциаты-антонимы типа «брат-сестра», «сестра-брат»; ассоциаты в виде имен собственных типа «сестра – Лиза», «брат – Андрей»; ассоциаты синтаксического типа «сестра – делает уроки», «брат – дружно играть»; ассоциаты, указывающие на иных членов семьи типа «брат – сестра», «сестра – мама, баба».

Анализируя ассоциативную структуру родового понятия «семья» затруднительно выделить оформленное групповое значение этого слова, оно варьируется в зависимости как от реального, так и субъективно воспринимаемого ребенком состава семьи, однако доминирующими компонентами значения у 98 % детей являются «мама» и «папа». Остальные ассоциаты по семантике могут быть нестрого классифицированы на парадигматические реакции того же семантического поля родственного типа «баба», «деда», «брат», «сестра», либо реакции-парадигматы, указывающие на живые/неживые объекты, косвенно связанные с образом жизни, бытом семьи, ребенка типа «игрушки», «гости», «уборка», «на дачу», «машина» и т. д. Синтагматические реакции на слово стимул «семья» очень эпизодичны и составляют 12,1 % от общей совокупности полученного детского ассоциативного материала и в большей степени обусловлены частными особенностями индивидуального опыта конкретного ребенка типа «разделенная», «целоваться», «дружная» и т. д.

Многозначное по своей семантике слово «дом» дошкольниками воспринимается преимущественно в значении «жилище», «здание», «квартира», «башня», «крыша» и т. д. – 92 % детей идентифицируют слово-стимул «дом» исключительно с помещением или его компонентами – «крыша», «умывальник»,

«труба», даже несмотря на общий лексический контекст, задаваемый экспериментатором.

Особое место среди тематических ассоциаций занимают реакции на слово-стимул «любовь» и «любить». Обращает на себя внимание максимальный временной интервал между предъявляемым стимулом и первым ассоциатом, нивелирование объема ассоциативного ряда до 1 реакции у большинства испытуемых (только у 18 % детей доходило до двух реакций), изменение характера содержания, что само по себе свидетельствует об испытываемых детьми затруднениях.

По своей семантике единичные реакции стали содержать активное отрицание качества, отраженное в значении слова-стимула (в 66,3 % случаев была парная ассоциация «любовь – нелюбовь»; в 47,9 % случаев «любить – не любить»); 32 % реакций на слово «любить» составляют также единичные парадигматические реакции, вероятно имеющие в детском сознании синонимичное значение типа «любить – жениться», «любить – целоваться», «любить – нежиться», «любить – не расходиться». 27,4 % ассоциативных реакций дошкольников связали «любовь» с «жених», «невеста», «сердечко», «целоваться» и др. Только в 9 % детских ассоциативных реакций связывают «любить» с «семья», «мама» (2 реакции из 104 соотнесли «любить» со словом «папа»).

На слово «жить» в 62,5 % случаев дети породили единственный ассоциат «не жить» – подобное отрицание, как и в вышеописанных случаях, можно расценить как примитивное замещение отсутствия удовлетворяющего ребенка ответа. Иные ассоциаты содержательно обобщить или классифицировать, с нашей точки зрения, невозможно: «жить – жила», «жить – люди», «жить – дружно», «жить – быть» и др. Как и в случае с «любовь» и «любить», количество ассоциативных реакций на стимул «жить», связанных с семьей, минимальны и составляют 7 % от общей совокупности.

На основании вышеизложенного можно с известной долей вероятности предположить, что в ассоциативной структуре еще не оформленного в сознании и абстрактного для дошкольников понятия «любовь» и «любить», полоролевой компонент значения, еще, казалось бы, не запечатленный в личном детском опыте, более выражен, нежели тот, который отражает привычный для ребенка аспект отношений в семье.

Индекс повторяемости (с опорой на работу А. И. Назарова и Соколова) оценивался как процентное соотношение числа повторяемых ассоциативных реакций в обоих замерах к их общему числу у всех испытуемых ($R = n : EK \cdot 100 \%$),

где n – количество повторяемых ассоциатов, EK – сумма всех ассоциатов испытуемых).

Соответственно, чем больше значение R , тем больше повторяемых ассоциатов и сходства между ассоциативными рядами разных сеансов. Наиболее высоким индексом повторяемости характеризуются категории «мама» (72 %) и «папа» (%), «семья» (%), «сестра» (%), в меньшей степени «любовь» (%) и

«любить» (%), «брат» (%), «жить» (%). Низкий показатель межсеансной вариативности характеризует слово «дом», «квартира».

Маленькое количество реакций опять-таки не позволяет выделить такие свойства ассоциативной динамики, как гетерохронность, скорость ассоциирования. В частности, гетерохронность как разновременность временных интервалов между смежными ассоциатами и показатель «включенности» слова в аффективный комплекс исчисляема при объеме ассоциативного ряда не менее 10 ассоциатов; скорость ассоциативной динамики, выступающая в качестве критерия взаимодействия активного и пассивного знания также зависит от объема ассоциативного ряда.

В работах А. И. Назарова и Р. В. Соколова (в альтернативу неизменной психосемантической традиции применения многомерного анализа данных) предложено построение категориальной структуры тематических ассоциаций на основе коллективного тезауруса ассоциатов, названных всеми участниками исследуемой выборки (Назаров, Соколов, с. 135). Вероятно, это наиболее явный и доступный путь психологического анализа содержания ассоциатов, избегаемый большинством психологов и психолингвистов разных времен.

Опираясь на логику классификации семантических категорий А. И. Назарова, Р. В. Соколова, А. Шахнарович – расстояния логической удаленности ассоциата от самого существенного признака темы – попытаемся систематизировать совокупность полученных детских реакций по семантическим инвариантным категориям с целью последующего проведения содержательного анализа детских ассоциатов на каждое отдельно взятое стимульное слово.

Полученный нами экспериментальный материал позволяет, независимо от содержания стимульного слова, выделить следующие основные группы ассоциативных реакций по тематике «семья» у дошкольников:

1. Парадигматические ассоциаты, принадлежащие к тому же семантическому полю, что и слово-стимул, которые отражают наименование типа родственной связи или синонимичные отношения «мама-папа», «папа – баба», «семья – мама», «дом – квартира», «вместе – рядом», «любовь – радость», «любить – жениться».

2. Парадигматические ассоциаты, не принадлежащие к семантическому полю, которые отражают свойства, признаки, атрибуты Образа, порождаемого стимульным словом типа «мама – платье», «папа – работа», «дом – труба».

3. Парадигматические реакции-антонимы, которые содержат активное примитивное отрицание качества, отраженного в значении слова-стимула. В подавляющем большинстве случаев (86 % от всей совокупности реакций подобного плана) – это единичная реакция на стимульные слова с затянувшейся паузой, временной интервал которой составляет от 4,5 до 12 секунд, например: «любить – не любить», «любовь – нелюбовь».

4. Синтагматические ассоциативные реакции, которые с лингвистической точки зрения отражают синтаксические отношения между словами типа «мама – готовит», «папа – ушел на работу», «любовь – жених с невестой», «тепло – в бассейне купаться», «вместе – жить», «семья – дружная».

5. Нерелевантные ассоциаты (термин предложен А. И. Назаровым и Р. В. Соколовым) – количественно небольшая группа парадигматических и синтагматических реакций, которые по внешним признакам мало связаны с темой, но, вероятно, отражают специфику индивидуального детского опыта типа «папа – кот», «дом – украшения», «семья – игрушки» и др.

Предлагаемая систематизация экспериментально полученных детских ассоциатов, опираясь на опыт имеющихся классификаций, произвольна, собственно как и вышеупомянутые (Дж. Миллер, А. И. Назаров и Р. В. Соколов, А. И. Шахнарович).

Обобщая вышесказанное, можно заключить:

1. Объем ассоциативных реакций дошкольников по тематике «Семья» минимален и стабильно устойчив во времени – в сознании ребенка стимульное слово способно активировать максимум 2-3 ассоциативных реакции.

2. Преобладают однопорядково однообразные реакции, характеризующиеся минимальной вариативностью и стереотипностью семантики, стабильностью во времени.

3. У большинства слов-стимулов экспонируемой тематической группы (семья, мама, папа, сестра, любовь любить) есть фиксированная доминирующая универсальная реакция, в ряде случаев единичная.

2 этап

Применение ТЛК для исследования детской картины мира представляет особый интерес и по сравнению с иными психосемантическими методами исследования ряд преимуществ: метод позволяет реконструировать видение мира «глазами и языком» самого ребенка, причем изучаемая область детского опыта конструируется не мозаично, а целостно и системно.

Игровой диалогичный характер тестовой процедуры неявно позволяет выявлять субъективные характеристики «значимых других» – членов семьи, лежащие в основе собственных оценок и отношений, которые только зарождаются, оформляются вербально на данном этапе развития.

Использование классического варианта метода (без включения ролевого списка) оправдано соображениями экономичности и упрощения громоздкости тестовой процедуры.

Процедура проведения включала 4 этапа:

1. Формирование списка «значимых других». Ребенок отвечал на следующие вопросы экспериментатора: «Есть ли у тебя семья?» «Кто в нее входит?» Члены семьи строго регистрировались экспериментатором в матрицу «решетки» в той последовательности, в какой их перечислял ребенок.

2. Триадичная комплектация элементов (с целью последующего выявления конструктов). Детям,

умеющим читать, экспериментатор предлагал ограниченный набор карточек с наименованиями уже обозначенных на предшествующем этапе членов семьи типа «мама», «папа», «баба», «брат», «кот», «Я» и т. д. с последующим выбором и объединением любых 3 человек. Экспериментатор самостоятельно комплектовал «персонажей» и предлагал готовую триаду детям, затруднявшимся прочесть или не способным сделать этого по тем или иным причинам.

3. Выявление конструктов. Экспериментатор предлагал ребенку назвать ТО, чем любые 2 из трех отобранных ребенком персонажей отличаются от третьего, например: «Что у мамы с папой общего, а ты этим от них отличаешься?» или «Что у тебя с папой общего, а мама этим на вас не похожа?», или «Что у брата и мамы сходного, а ты этим от них отличаешься» и т. д. После того, как ребенок называл эту «общность» экспериментатор просил испытуемого назвать противоположность сказанному.

4. Шкалирование персонажей согласно bipolarным полюсам конструктов. Экспериментатор последовательно называет незадействованных в комплектации триад персонажей и спрашивает о наличии первично выявленного ребенком качества. Согласно келлианской идее дихотомичности мышления, предполагается, что если испытуемый (в нашем случае ребенок) не относит персонажа к выявленному полюсу, значит он потенциально характеризуется противоположным полюсом конструкта.

Специфика используемого метода предполагает регистрацию данных наблюдения за поведением детей в процессе диалога.

Как показали данные наблюдения, строгой порядковой последовательности в перечислении ребенком членов семьи как «значимых других» не было. Единственной относительно повторяющейся закономерностью на данном этапе исследования являлось обозначение в качестве первого члена семьи домашнего животного в 67 % случаев теми детьми-испытуемыми, в чьих семьях они были. То есть сначала ребенок, например, называл кота или собаку и только после этого перечислял родных – маму, папу, сестру, бабушку и др.

Процедура формирования триад как некая предпосылка для последующего «выявления и формулирования» конструкта представляла некоторые сложности лишь при комплектации первой тройки персонажей, в дальнейшем дошкольники с относительной легкостью комбинировали эти триады на карточках. Третий этап – выявление самих оценочных категорий – ожидаемо оказался наиболее трудоемким и сложным как в отношении понимания ребенком того, что от него требуется, так и в плане формулирования и озвучивания того, что он хочет сказать. Даже безобидные корректировки инструкции типа «Чем мама и папа похожи» и т. д. – недопустимы, так как провоцируют ребенка на легкие и хорошие знакомые ответы, связанные (в этой формулировке вопроса) с внешностью, и аналогичные однотипные реакции при комплектации последующих триад. Многократно повторяя одну и ту же инструк-

цию, речевое поведение экспериментатора было однообразным. 9 детей не преодолели 3 этапа.

Обработка результатов исследования осуществлялась в 2 направлениях:

1. Выделялись конструктивные инварианты, затем осуществлялась сортировка разномодальных конструктов сообразно этим семантическим категориям (посредством процедуры контент-анализа).

2. Устанавливалась размерность конструктивной системы на уровне каждой отдельно взятой детской «решетки» для определения уровня когнитивной сложности. Уровень когнитивной сложности выявлялся посредством вычисления матрицы корреляции методом Пирсона.

Результаты исследования

В результате обработки полученных данных на материале конструктов дошкольников, относящихся к области ментального конструирования семейного окружения, нами выделено 6 семантических классов:

- конструкты-действия;
- конструкты-умения;
- конструкты-внешности;
- конструкты, обозначающие факт обладания чем-либо;
- социально-ролевые конструкты;
- психологические конструкты, указывающие на какие-либо личностные качества, свойства, черты.

1. Конструкты-действия – отражают спектр образов разнообразных поведенческих реакций ребенка, преимущественно совместных с родителями действий и поступков типа «рисовали мелками / не рисовали мелками», «мучаем кота – не мучаем кота», «ходят на работу / не ходят на работу», «играют в солдаты на диске / не играют в солдаты на диске», «наказывают / не наказывают» и т. д. – то есть, по сути, это констатация ребенком некоего конкретного события или факта, повседневного привычного, случайного, приятного, неприятного, в котором ребенок принимал непосредственное участие или наблюдал, что находится в зоне актуальной памяти и легко воспроизводится.

2. Конструкты-умения – к этой категории относятся конструкты, сходные по семантике с вышеописанным семантическим классом, – конструктами-действия, однако содержащие дополнительный элемент оценочности, субъективное ощущение «достигнутости» ребенком какого-либо уровня успешности в значимой для него деятельности типа «умеют делать украшения – не умеют», «могут хорошо играть в футбол», «умеют включать компьютерные игры – не умеют», «умеют готовить ужин – не умеют». Это многочисленная группа оценочных измерений легко вычлняется по наличию «умею» («еще умею», «уже умею», реже «могу») в продуцируемых ребенком словосочетаниях.

3. Конструкты-внешности – любые дихотомические измерения, указывающие на конкретные характеристики, так или иначе связанные с внешним об-

ликом человека, преимущественно частями лица – особенности волос, глаз, носа, ушей, реже конституциональные особенности, еще реже – специфику одежды типа «короткие волосы / длинные волосы», «голубые глаза / не голубые глаза», «похожий нос / другой нос», «есть очки / нет очков», «морщинистая кожа / не морщинистая кожа».

4. Конструкты, указывающие на факт наличия или обладания чего-либо ценного, субъективно значимого для ребенка типа «есть кролик / нет кроликов», «есть длинное платье / нет длинного платья», «есть одинаковые ручки», «есть машина Джип / нет Джипа, есть другая машина».

5. Социально-ролевые конструкты – отражают первичные представления ребенка о возможном спектре конвенциальных ролей (родственных, гендерных, профессиональных), представляют собой целостные образы-типажи, например: «родные сестры / двоюродные», «мужчина / женщина», «охранник / не охранник», «взрослые / дети».

6. Психологические конструкты – редкочастотная группа оценок, которая обозначает личностные качества, черты характера, те индивидуально-психологические свойства, которые характеризуют человека как личность. По форме выражения представляют собой биполярные прилагательные типа «веселые / спокойные», «дружные / не дружные», «балованные / не балованные, послушные» и т. д.

Минимаксный диапазон количества конструктов, продуцируемых детьми, составляет от 2 – до 12, в среднем 5 – 6 конструктов. Среднегрупповой уровень когнитивной сложности в данной области опыта составил 565.

Результаты распределения среднегрупповых величин конструктов по семантическим классам демонстрируют: преобладание конструктов-действий и умений, что свидетельствует об особой значимости различного рода действий, актов совместной деятельности со взрослыми при восприятии ребенком членов семьи. Осознание себя, мамы, папы и др. осуществляется посредством видения «Я» в конкретных, бытовых, содержащихся в актуальной памяти ребенка, в собственных поступках, ситуациях, повседневных делах и сложившихся форм поведения родителей как по отношению к ребенку, так и вне этих отношений. Дошкольник отражает себя, близких и родных ему людей, в том числе и животных, живущих в семье, как тех, кто «ходит или не ходит на работу», «помогает детали искать от «Лего» или не помогает», «хочет спать или не хочет», «рыбачит или не рыбачит», «поженились или не поженились», «играет в солдаты на диске или не играет».

Формируя конструкты действия на всей выборке обозначенных персонажей, в «решетке» ребенка смешанно представлены и частотно обладают равной силой выраженности (весом) собственные поступки, действия животных, поведение родителей. Например, результаты факторизации конструктивной матрицы Матвея Р. (5 лет, 5 месяцев) показали следующие нагрузки по шкалам в структуре первого фактора: «ходят на работу» (.79), умеет рисовать

витражными красками (.81), «заловил голубей» (.77). Таким образом, безусловно осознавая в 5 – 6 летнем возрасте различие между ребенком, взрослым и жи-

вотным, степень значимости этих трех событий-действий в детском опыте равноценна.

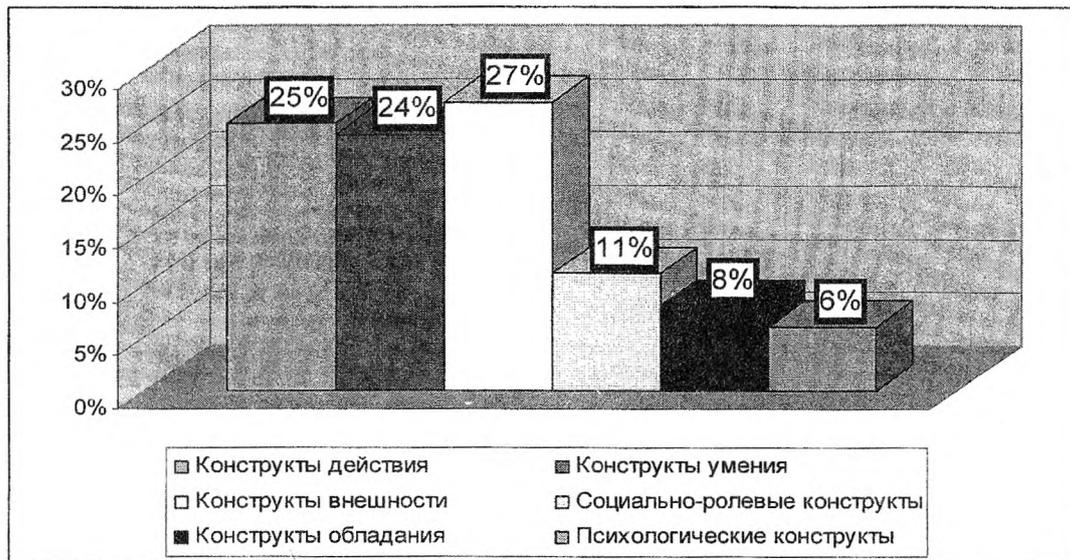


Диаграмма 1. Результаты распределения среднегруппового количества конструктов по семантическим классам

Большое количество конструктов-умений (почти половина всех детских дихотомий, указывающих на действие) позволяет говорить о способности и стремлении ребенка этого этапа развития к оцениванию как собственных действий, так и поступков взрослых, но не выходя за пределы собственной системы координат. Прибавление глагола «умею» в конструкцию словосочетания (или «еще умею», «уже умею») является неким осознанием личного вклада, усилия ребенка, направленного на достижение или совершенствование каких-либо форм деятельности (игровых, бытовых, интеллектуальных, спортивных и т. д.), например: «умеют играть в шахматы / не умеют играть в шахматы», «умеют читать/не умеют», «еще умеют плавать / не умеют», «умею ходить один в магазин / не умею» и др.

Конструкты внешности также играют существенную роль в актах восприятия, составляя 27 % от общей совокупности конструктивных измерений детей. Интересно, что большинство этих конструктов сосредоточено на различных участках головы: «одинаковые глаза / не одинаковые», «щеки мягкие / щеки не мягкие», «волосы рыжие / волосы темные», «похожие брови / не похожие».

Некоторая часть описательных характеристик заимствована детьми от родителей, что подтверждали реплики и развернутые ответы самих детей еще в процессе тестовой процедуры (тема «похожести» ребенка, поиск общих черт развиваема родителями с рождения, является привычной и обсуждаемой в любой семье). Какие-то конструкты являются безусловным достижением детского опыта – улавливать и в дальнейшем опираться на какие-либо аспекты внешнего облика, которые способствуют познанию и самопознанию, установлению контактов и отношений с окружающими.

Социально-ролевые и психологические конструкты редкочастотно порождаемы детьми, составляют 11 % и 6 % от общей совокупности детских дихотомических измерений. Дебют абстрактных категорий, конструктов более высокого уровня обобщенности является показателем когнитивной сложности сознания в данной области опыта, указывает на способность ребенка среднего дошкольного возраста к утонченному, более дифференцированному восприятию себя и своего семейного окружения.

Обобщая результаты экспериментальных данных, можно прийти к следующим выводам. Представления дошкольника о семье на вербальном уровне ограничены пониманием ее «горизонтальной» структуры. Композиционно это избирательно объединяемая на субъективных основаниях общность значимых других, равноправными членами которой являются эмоционально привлекательные для ребенка персонажи: в том числе животные, не проживающие совместно с ребенком родственники и не родственники вообще. Таким образом, формальная структура семьи не всегда может соответствовать субъективно воспринимаемому ребенком ее составу.

Устойчивыми компонентами ассоциативной структуры значения слова «семья» являются «мама» и «папа» (опять-таки независимо от реального состава семьи). «Мама» и «папа» в детском сознании фиксированно и стабильно связаны и выступают в едином нерасчлененном образе.

Ребенок-дошкольник не способен семантически связывать значение слова «семья» с высокоабстрактным «любовь» и многозначным «дом». Субъективная семантика индивидуального сознания дошкольников в области субъективной репрезентации семейного окружения характеризуется преимущест-

венным преобладанием конструктов-действий, которые отражают разнообразный спектр как индивидуальных, так и выполняемых совместно с родителями действий, поступков, поведенческих реакций, различных форм деятельности.

Наибольшую степень выраженности среди всего разнообразия конструктов-действий занимают конструкты-умения, которые указывают на осознаваемые ребенком усилия, вклад в достижение или совершенствование различных действий и форм деятельности и последующую положительную оценку.

Существенную роль в процессе восприятия членов семьи также играют чувственно данные внешние признаки, форма выражения которых свидетельствует в большей степени о заимствовании ребенком от родителей конструктов внешности как описательных характеристик черт лица, особенностей телосложения, роста, манеры одеваться.

В заключение следует отметить, что, несмотря на доминирующее положение в структуре естественных вербальных описаний ребенка-дошкольника конкретных чувственно данных, явных поведенческих конструктов, начинают оформляться и более сложные вне чувственных семантических категорий – психологические оценки и обобщения.

УДК 17.021.2+17.024.1+177.1

ВЛИЯНИЕ СОЦИАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ НА РАЗВИТИЕ ОТВЕТСТВЕННОСТИ ЛИЧНОСТИ СТУДЕНТОВ УНИВЕРСИТЕТА

А. В. Сухих

В статье приведены результаты краткого теоретического анализа ответственности личности. Рассмотрены результаты эксперимента по определению уровня ответственности и связи его с социальными условиями проживания студентов университета.

In article results of studying of responsibility of person of students are stated. Results of the short theoretical analysis of responsibility of the person are adduced. Results of experiment by definition of a level of responsibility and its connection with social conditions of residing of students of university are considered.

Ключевые слова: ответственность личная, ответственность социальная, социальные условия, студенты университета.

Ответственность как понятие относится к моральному сознанию личности. Она отражает степень участия человека, его активность, творческую энергию, усилия в деятельности (в частности учебной и общественной среди студентов) по исполнению нравственного долга. Это достаточно сложное по содержанию понятие в психологии, социальной психологии и этике. Наряду с этим трудности встречаются и при определении уровня ответственности личности.

Обратимся к толкованию слов «ответственность», «ответственный» в словаре русского языка.

«*Ответственность*» – необходимость, обязанность отдавать кому-нибудь отчет в своих поступках (чувство ответственности; нести ответственность за что-нибудь; привлечь к ответственности; заставить отвечать за плохой ход дела, за поступки); возложить ответственность на кого-нибудь; под Вашу ответственность (отвечать будете Вы).

«*Ответственный*» – несущий ответственность (человек ответственный за порядок); имеющий высоко развитое чувство долга; ревниво относящийся

- Литература**
1. Артемьева, Е. Ю. Основы психологии субъективной семантики [Текст] / Е. Ю. Артемьева. – М.: Смысл, 1999. – 350 с.
 2. Лисина, Е. В. Субъективная семантика интрацепции в старшем дошкольном возрасте [Текст] / Е. В. Лисина: автореф. дис. ... канд. психол. наук. – 1997. – 197 с.
 3. Назаров, А. И. Ассоциация и ассоциативный эксперимент: разные судьбы [Текст] / А. И. Назаров, Р. В. Соколов // Вопросы психологии. – 2007. – № 4. – С. 125 – 138.
 4. Назаров, А. И. Вариативность серийных ассоциаций [Текст] / А. И. Назаров, Р. В. Соколов // Вопросы психологии. – 2008. – № 5. – С. 151 – 160.
 5. Петренко, В. Ф. Основы психосемантики [Текст] / В. Ф. Петренко. – Смоленск: Изд-во СГУ, 1997. – 400 с.

Рецензент – Н. И. Корытченкова – канд. психол. наук, доцент, ГОУ ВПО «Кемеровский государственный университет».

к своим обязанностям (ответственно относиться к делу). Ответственный – это человек, облеченный правами и обязанностями в осуществлении какой-нибудь деятельности, в руководстве делами [7, с. 459].

С философско-социологической позиции ответственность трактуется как понятие, отражающее взаимоотношений между личностью, коллективом, обществом с точки зрения сознательного осуществления предъявляемых к ним взаимных требований. Различают ответственность юридическую, моральную и т. п. В зависимости от субъекта ответственных действий, выделяется индивидуальная и групповая (коллективная) ответственность. У индивида ответственность формируется как результат тех внешних требований, которые к нему предъявляет общество, социум, данный коллектив. Воспринятые индивидом, они становятся внутренней основой мотивации его ответственного поведения, регулятором которого служит совесть. Формирование личности

предполагает воспитания у нее чувства ответственности, которое становится ее свойством. Следует ответственность неразрывно связывать с дисциплиной и организованностью личности [10, с. 453].

Обратимся к краткому теоретическому анализу ответственности как объекта исследования в рамках морального сознания.

В своей монографии К. Муздыбаев проводит анализ содержания понятия «ответственность», обобщает результаты экспериментальных исследований ответственности в разнообразных жизненных ситуациях. Автором выделены несколько векторов развития ответственности:

- от коллективной к индивидуальной (вектор индивидуализации по Ж. Пиаже), то есть за поступок (как осознанное действие) отвечает он сам, субъект действий;

- от внешней к внутренней, осознанной личностной ответственности (вектор спиритуализации ответственности по Ж. Пиаже), переход от внешнего к внутреннему контролю поведения, (заметим, что вновь проводится параллель понятия «ответственность» с понятием «совесть») (прим. автора);

- от ретроспективного плана к перспективному – ответственность не только за прошлое (уже сделанное), но и за будущее;

- «ответственность» и «срок давности» – возможность влияния прежних отношений между людьми на их настоящие взаимоотношения, когда они уже изменились [6, с. 96].

Если Ж. Пиаже пришел к проблеме ответственности через изучение генезиса нравственных суждений детей, то Ф. Хайдер выводил разные уровни атрибуции ответственности из причинно-следственной интерпретации человеком своего и чужого поведения в межличностных отношениях. Для Пиаже важным является вскрытие закономерностей перехода в суждении детей от объективной к субъективной ответственности. Поэтому у него главенствует анализ осознания человеком социального значения событий, сознательности, намеренности поступка.

Ф. Хайдер выделяет пять уровней атрибуции ответственности по отношению к себе и к окружающим людям (атрибуция – приписывание человеком причин и мотивов поведения, личностных качеств и характеристик другим людям на основе обыденного анализа их действий и поступков; атрибуцию можно рассматривать как приписывание человеку или группе характеристик не представленных в поле восприятия).

Как отмечает К. Муздыбаев в монографии уровни, предложенные Хайдером, прогрессируют от недифференцированного когнитивного функционирования индивида до утонченной, высоко дифференцированной его атрибуции. Приписываемая субъекту ответственность растет от первого до четвертого уровня и на пятом снова снижается [6., с. 96]. Вот эти пять уровней по Ф. Хайдеру в типологии, основанной на концепции атрибуции ответственности за действия:

1) **ассоциация** – человек отвечает за каждый результат, связанный с ним;

2) **причинность** – человек ответственен даже тогда, когда не мог предвидеть результат(ы);

3) **предвидимость** – ответственность за любое предвидимое последствие действий;

4) **намеренность** – ответственность только за то, что человек намеревался сделать;

5) **оправдываемость** – ответственность за действия человека разделяется с окружающими.

Зарубежные психологи Уильямс и Харкинз в результате экспериментальных исследований выяснили, что «социальная леность» и безответственность (снижение уровня ответственности за действия) могут возникнуть из-за того, что люди в группе не так ясно ощущают связь между своими усилиями и результатом, как это происходит, если они работают одни. В результате ответственности за конечный результат ложится на всех членов групп, тогда как работающий один несет личную ответственность за итог работы. Как отмечает в своей работе Пиаус Скотт «...разделение ответственности может иметь сильнейшее влияние на оценку и принятие решений» [8., с. 240].

По определению Ш. Н. Шварца личная ответственность связана с ее проявлением в поведении и рассматривается, как «чувство определенной возможности контролировать совершение действий и их исход» /Шварц, Ш. Н, 1973/. Но и свобода определяется, как способность личности контролировать и оценивать свое поведение, связанное с исполнением долга. В. А. Филипова рассматривает совесть как «императивно-контрольный механизм поведения, внутреннюю способность личности к ответственности перед собой («сам себя сужу, несмотря на то, что другие, может быть, и не судят»)» [9].

Ю. Д. Красовский указывает на то, что «чувствование величины ответственности за последствия принимаемых решений является признаком творческих возможностей личности [2, с. 132]». П. Чисхольм в своем труде, анализируя уверенность в себе и определяя путь к деловому успеху личности, выделяет, наряду с ответственностью перед другими и за других людей, еще и ответственность перед самим собой и за самого себя. Он также тесно связывал деловой успех с ответственностью личности [11, с. 47]. Такую же параллель проводит И. В. Андреева: «Ответственность тесно связана с оценкой и принятием качественных решений и эффективностью в управлении, а управлять – это значит предвидеть, организовывать, распоряжаться, координировать и контролировать» [12, с. 358].

К. Хелкман предлагает три вида ответственности:

1) автономная субъективная ответственность. Она формируется в самом начале развития и определяет два других вида;

2) ответственность как социальная обязанность;

3) ответственность, основанная на принципах морали. Мы считаем, что это самый высший уровень (фаза) развития ответственности.

Р. Л. Кричевский, исследуя черты личности менеджера, отмечал, что «существуют довольно родственные личностные характеристики – ответственность и надежность в выполнении задания» [3, с. 33].

Обратимся еще раз к совокупности векторов развития ответственности определенных К. Музды-

баевым. К этой совокупности Е. Д. Дорофеев добавляет пятый вектор – «ответственности за всех». Это означает «нести ответственность каждым членом группы за ее деятельность и конечный итог групповой работы». Такая ответственность подразделена на три вида:

- 1) ответственность за групповые нормы (как результат прошлых взаимодействий);
- 2) ответственность за стремление к изменению норм, традиций, отношений (будущее);
- 3) ответственность за реальное состояние группы (настоящее).

В своей работе Е. Д. Дорофеев предлагает трехмерную модель «коллективной ответственности»:

- время, Т (прошлое, настоящее, будущее);
- характеристики (качества, показатели), К (деятельностные и отношенческие);
- субъект, S (за себя, за отдельных членов группы, за всю группу в целом) [1].

В результате проведенного теоретического анализа объекта исследования ответственности личности нами определена цель и сформулирована рабочая гипотеза научного исследования.

Цель научного исследования – выявление влияния места и условий проживания обучающихся в университете на формирование уровня ответственности личности студента.

Объект исследования: ответственность личности.

Предмет исследования: сравнительный анализ уровней ответственности студентов, обучающихся в университете и проживающих в различных условиях.

Для достижения цели исследования нами была сформулирована гипотеза как предположение о том, что становление у студентов, проживающих в условиях общежития, личностной и групповой (коллективной) ответственности происходит в более короткое время и более высокого уровня по отношению к обучающимся в университете и проживающим в семье совместно с их родителями.

Для верификации основной гипотезы были решены следующие задачи:

- 1) провести краткий теоретико-методологический анализ научной психологической литературы для изучения объекта исследования;
- 2) провести констатирующий и формирующий эксперименты;
- 3) выполнить сравнительный анализ данных экспериментов и сформулировать выводы исследования.

Нами был использован тест автора Ю. Д. Мишиной для определения уровня ответственности. Опросник включает в себя 25 утверждений с двумя или тремя ответами, один из которых следует выбрать участнику эксперимента. Например, «ответственность» для меня:

- а) выполнение своего долга перед другими;
- б) контроль за своим самостановлением;
- в) тяжелое бремя необходимости.

Данная методика позволяет определить уровень общей ответственности (очень высокий, высокий, средний, низкий, очень низкий) [5].

Сравнительный анализ показателей констатирующего и формирующего эксперимента был про-

веден с использованием математико-статистического метода Стьюдента. На первом этапе после проведения констатирующего эксперимента была проведена работа по формированию 2-х групп с условием равного средневзвешенного уровня ответственности членов этих групп (студентов 1 курса).

В первую группу (31 человек) вошли студенты, проживающие вместе с родителями в той же семье, где они воспитывались, обучаясь в средней школе. Вторая группа (35 человек) была составлена из студентов университета, проживающих в студенческих общежитиях (не с родителями).

На втором этапе исследования проведено обследование всех студентов 2-го курса (через один год). В исследовании принимали участие те же студенты, что и год назад. Но объективные обстоятельства (отчисление части студентов после 1-го курса) вызвали определенную коррекцию по численному составу двух групп. В результате этого было принято окончательное решение для проведения сравнительного анализа - составить группы равного количества в составе 29 студентов, обучающихся в Кемеровском государственном университете.

Для проведения сравнительного анализа показателей констатирующего был использован математико-статистический метод Стьюдента.

В исследовании проведено сравнение выборочных средних. Сравнивая средние значения x_1 и x_2 , корреляционно не связанных друг с другом (независимых) выборок, взятых из нормально распределенных совокупностей, исходя из предположений, что разница между ними d – возникла случайно. В качестве критерия для проверки этой гипотезы служит переменная величина, следующая t – распределению Стьюдента с числом степеней свободы $k = 2n - 2$ [4, с. 98 – 99].

По данным опроса студентов через год после первого тестирования, были определены средние значения уровней ответственности (для первой группы x_1); определена сумма квадратов отклонений в 1-й и 2-й группах, она была равна 1056,58.

При этом ошибка разности между выборочными средними S_d – при равновеликих группах равняется 1,14. Тогда критерий достоверности различий, наблюдаемых между выборочными средними, определенный по методике (формуле) Стьюдента, принимает значение $t_f = 2,02$.

В первом случае – в семье с родителями – дети обучались в средней школе и в настоящее время – в университете; во втором случае студенты, переехав в другой город (сменив место проживания), проживают в настоящее время в общежитии университета.

Нулевая гипотеза – отвергается если $t_f \geq t_{st}$ для принятого уровня значимости (в нашем случае $p \leq (=) 0,05$ и числа степеней свободы $k = 2n - n = 2 * 29 - 2 = 56$. По таблице V [4, с. 270 – 271] t_{st} – критерий Стьюдента для этих значений равен 2,00. Сравнивая критическое значение и фактический коэффициент Стьюдента, можно сделать вывод о том, что сформулированная основная гипотеза верифицирована (подтверждена). И действительно, на достаточном высоком статистически достоверном уровне доказано, что ответственность формируется в условиях проживания студентов.

Литература

1. Дорофеев, Е. Д. Внутригрупповая ответственность при разных формах ответственности / Е. Д. Дорофеев // Психология личности и группы в изменяющемся обществе. – М., 1994. – 340 с.
2. Красовский, Ю. Д. Если я руководитель / Ю. Д. Красовский. – М., 1983. – 191 с.
3. Кричевский, Р. Л. / Р. Л. Кричевский // Если вы руководитель. – М., 1996. – 384 с.
4. Лакин, Г. Ф. Биометрия / Г. Ф. Лакин. – М., 1990. – 351 с.
5. Мишина, Ю. Д. Педагогическая психология: учебное пособие [текст] // Ю. Д. Мишина. – Новосибирск.: Изд-во НовГУ, 2004. – 119 с.
6. Муздыбаев, К. Психология ответственности / К. Муздыбаев. – Л.: Наука, 1983. – 240 с.
7. Ожегов, С. Н. Толковый словарь русского языка / С. Н. Ожегов, Н. Ю. Шведова. – М.: АЗЪ, 1995. – 928 с.
8. Плаус, Скотт. Психология оценки и принятия решений / Скотт Плаус. – М.: Филинь, 1998. – 368 с.
9. Филиппова, В. А. Этика: учебное пособие / В. А. Филиппова. – Петрозаводск, 2003. – 234 с.
10. Философский энциклопедический словарь / под. ред. С. С. Аверцева, Э. А. Араб-Оглы, Л. Ф. Ильичева и др. – М., 1989. – 815 с.
11. Чисхольм, П. Уверенность в себе: путь к деловому успеху / П. Чисхольм / под. ред. Л. А. Княжинской. – М.: ЮНИТИ, 1994. – 288 с.
12. Экономическая психология / под. ред. И. В. Андреевой. – СПб.: Питер, 2000. – 512 с.

Рецензенты: Л. М. Туева – канд. пед. наук, доцент кафедры технологии документальных коммуникаций, ГОУ ВПО «Кемеровский государственный университет культуры и искусств»;

Е. В. Мартынова – канд. пед. наук, доцент кафедры технологии документальных коммуникаций, ГОУ ВПО «Кемеровский государственный университет культуры и искусств»;

Д. Ф. Ахмерова – декан социально-психологического факультета Анжеро-Судженского филиала КемГУ

ФИЗКУЛЬТУРА И СПОРТ

УДК 613.7

ВОПРОСЫ ЗДОРОВЬЯ ЧЕЛОВЕКА И ЕГО СВЯЗЬ С ДВИГАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТЬЮ

В. М. Калинин

В представленной работе анализируется здоровье человека и его связь с уровнем двигательной активности. Подчеркивается, что лишь рациональная двигательная активность носит оздоровительный и тренировочный эффекты, то есть когда физическая нагрузка физиологически обоснована, соответствует функциональным возможностям индивида. В то время как гипокинезия, снижая общий энергетический потенциал организма человека, уменьшает его жизнестойкость.

In the presented work health of the person and its communication with a level of impellent activity is analyzed. It is shown, that only optimum impellent activity gives improving effect. This effect is reached, when physical activity is physiologically proved and corresponds to physiological opportunities of the individual. Hypocinesia reduces the general energy potential of an organism and its stability to factors of an environment.

Ключевые слова: здоровье человека, двигательная активность, резистентность организма, адаптация

Здоровье – величайшая человеческая ценность, поскольку именно хорошее здоровье обуславливает выполнение человеком его биологических и социальных функций и является фундаментом самореализации личности. С другой стороны, нездоровье и болезнь – это снижение потенциальных возможностей человека или ограничение в своей свободе жизни.

Как известно, согласно определению Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), здоровье – это состояние полного физического, душевного (психического) и социального благополучия, а не только отсутствие болезни. Бесспорно, это определение скорее подходит к идеальному здоровью, которое практически не встречается, поэтому следует говорить об относительности указанного понятия. За

прошедшие годы понятие «здоровье» неоднократно дополнялось и уточнялось, вместе с тем, по мнению ряда авторов, несмотря на существование более 300 различных вариантов, с методологической точки зрения приведенное выше определение о трехмерной модели здоровья считается приемлемым на сегодняшний день (13).

Действительно, следует признать, что наука о здоровье и путях его достижения остается на обочине цивилизации и в наступившем XXI веке, характеризующимся отсутствием даже единого общепринятого представления о здоровье человека и его комплексных критериев. Между тем здоровье – это норма жизнедеятельности организма, состояние безотказного и надежного функционирования всех физиологических систем и органов, обеспечиваемые

генотипом и формирующимся фенотипом человека (19).

Идея здоровья за последние годы приобрела особую актуальность, поскольку все очевиднее просматривается тревожная тенденция физической и духовной деградации населения России, связанная прежде всего со значительными нервно-эмоциональными нагрузками (возросшим темпом жизни и нервными стрессами) на фоне низкой двигательной активности (гипокинезии) современного человека. При этом распространенность гипокинезии среди как взрослых, так и детей в нашей стране достигает 80 % (20), а обеспеченность населения физической культурой и спортом составляет всего на 30 – 40 % от физиологически обоснованного объема двигательной активности, необходимого для нормального развития организма, поддержания здоровья, высокой производительности труда, общей и спортивной работоспособности и жизнедеятельности (12).

Как замечают некоторые авторы (6), говоря об ухудшающейся тенденции качества здоровья, не следует идти «от обратного», то есть от болезни к обеспечению здоровья, как это практикуется в нашей стране. Такая «болезнецентрическая» устремленность медицины, проявляющаяся в стремлении обеспечить здоровье человеку на путях не укрепления здоровья, а борьбы с болезнетворными факторами, способствовала признанию самоподавляющего значения этих факторов. Иными словами, возникла современная нозологическая медицина, в которой состояние неблагополучия организма в решающей мере связано с воздействием внешних факторов, а задачи диагностики, игнорируя оценки защитных сил самого организма, нацелены на эти неблагоприятные факторы (3).

С другой стороны, до настоящего времени нет и четких границ между понятиями «здоровье» и «болезнь», зачастую невозможно провести четкую границу между здоровьем и болезнью, учитывая то, что организм может находиться в одном из нескольких состояний: здоровье, донозологическое состояние, преморбидное состояние, болезнь. Существует мнение (21) о необходимости рассматривать здоровье и болезнь не как застывшие и строго противоположные состояния, а как два взаимосвязанных процесса или как две стороны единого процесса индивидуального развития. Более того, как подчеркивает Г. Л. Апанасенко (1), здоровье нужно рассматривать как более широкую социально-медицинскую категорию, а предболезнь и болезнь – частный случай здоровья, когда уровень его снижается или имеются дефекты.

Считается, что даже самый больной человек обладает определенным уровнем здоровья, заключающийся в его способности жить и сохранять известный диапазон жизнедеятельности на фоне множественных и разнообразных патоморфологических изменений в органах и тканях. Более того, в этом плане безынтересны суждения Э. Г. Булич и И. В. Муравова (3), согласно которым болезнь

не только не исключает здоровья, а в определенном смысле «сосуществует» с ним и, кроме того, отсутствие заболевания не всегда указывает на наличие здоровья: нередко, особенно в старческом возрасте, у человека отсутствует заболевание только лишь потому, что у него нет достаточных защитных сил.

Здоровье и болезнь могут рассматриваться и с позиций процесса приспособления, когда в первом случае адаптация осуществляется в рамках нормы реакции, во втором случае – при суженной норме реакции. Следовательно, речь идет в данном случае не о полярности, а о количественных критериях, о норме реакции (25).

Вместе с тем анализ литературы убедительно показывает, что наибольшее значение для здоровья человека имеет образ жизни, где основным элементом является физическая культура. Именно здоровый образ жизни, в основе которого лежит прежде всего достаточная двигательная активность, считается одним из мощных немедикаментозных факторов оздоровления населения, позволяющим в полной мере развернуться адаптивным процессам и увеличить его жизнестойкость (11). Совершенно не случайно, еще на рубеже первого и второго тысячелетий, великий врач, поэт и мыслитель Абу-Али ибн Сина (Авиценна) писал в своей книге «Канон врачебной науки»: «Самое главное в режиме сохранения здоровья есть занятия физическими упражнениями, а затем уже режим пищи и режим сна».

Известно, что при систематическом воздействии физических нагрузок повышается устойчивость и пластичность регуляторных механизмов, клеточных структур, изменении физико-химических свойств клеток, расширение функционального резерва и адаптационных возможностей организма, причем, чем выше функциональный резерв, тем ниже «цена» адаптации. Это явление экономизации физиологических функций в процессе биологической адаптации позволяет сохранять постоянство внутренней среды организма (гомеостаз) при действии все более сильных раздражителей, отвечать на раздражители без патологических реакций, постоянно расширяя функциональные резервы организма (5).

В этой связи многие современные исследователи склонны считать, что методология диагностики здоровья человека должна быть основана прежде всего на определении его энергетического потенциала, в частности, с аэробными возможностями человека. Именно высокий уровень энергетического обеспечения обеспечивает высокую устойчивость его организма к широкому спектру негативных воздействий, начиная от гипоксии и кровопотери и кончая нарушениями во внутренней среде организма. Причем при этом отмечены и более высокие коронарный, респираторный, эндокринный и другие резервы (22).

С другой стороны, установлено, что люди с низким уровнем развития аэробной системы чаще болеют ожирением, атеросклерозом, диабетом (7, 23). К этому можно добавить, что длительная гипокинезия человека сопровождается заметным угнетением

бактерицидных свойств кожи, снижением активности лизоцима, уменьшением функциональной активности лейкоцитов. Следствием развивающихся в условиях гипокинезии изменений являются снижение резистентности организма, возрастание заболеваемости бактериальной и вирусной этиологии, развитие аллергических реакций на различные вещества (26).

Насколько это актуально, говорят данные литературы (2, 16). С середины XIX столетия до наших дней доля мышечной деятельности в энергобалансе человечества, то есть во всех потоках используемой нами и на производстве, и в быту энергии, сократилось более чем в 180 раз (!). Примечательно, что объем мышечных усилий наших предков был достаточно большим, при этом за сутки энерготраты составляли примерно 5000 ккал, тогда как в настоящее время на мышечную работу человек физической труды затрачивает 1200-2000 ккал, а люди умственного труда и того меньше.

Не случайно, на II Международной научной конференции, проходившей в Польше (2003 г.), особое место заняли проблемы двигательной активности в укреплении здоровья человека, где приводились многочисленные факты, указывающие, с одной стороны, на большие потенциальные возможности организма самого человека, мощные защитно-приспособительные механизмы, которыми он располагает, а с другой стороны, – на высокую эффективность занятий физическими упражнениями в стимуляции этих механизмов. При этом говорилось, что сегодня свидетельства эффективности занятий физическими упражнениями уже недостаточно, важно обеспечить не только высокую результативность таких занятий, но и сделать их наиболее привлекательными для людей разного возраста с учетом их индивидуальных особенностей (4).

Особенное значение двигательная активность приобретает для человека с отклонениями здоровья, учитывая тесную связь между физической подготовленностью и общим состоянием здоровья.

Согласно современным представлениям (3), защитное влияние занятий физическими упражнениями следует рассматривать как проявление важного оздоровительного «эффекта восполнения» дефицита жизненно важных воздействий двигательной активности. При этом следует иметь в виду, что недостаток последней приводит не только к ослаблению и атрофии мышц, которые лишаются свойственной им роли генераторов энергии. Главное значение происходящих при этом изменений состоит в достаточно резком ослаблении положительного воздействия мышечной деятельности на функции центрального нервной системы и внутренних органов. По мере тренировок возрастают функциональные резервы аэробной и (в меньшей степени) анаэробной производительности, в первую очередь, резервы лимитирующих факторов, которые определяются мощностью работы и направленностью тренировочного процесса. В конечном плане организм переходит на новый, стабильный и энергетически более эконо-

мичный уровень регулирования и жизнеобеспечения; при этом физическая нагрузка утрачивает признаки стрессности, становится «привычной», адекватной возросшим возможностям организма спортсмена; возникает состояние тренированности (15).

В то же время физическая пассивность или бездеятельность лежит в основе большинства хронических заболеваний, поскольку геном человека эволюционно запрограммирован на физическую активность и мало изменился за последние X тыс. лет, а многие метаболические черты современного человека можно рассматривать как адаптацию к активному образу жизни (17).

Однако, когда речь идет о влиянии спорта на здоровье занимающихся, мнения исследователей не всегда однозначны, поскольку предельные, максимальные физические нагрузки (гиперкинезия) при определенных условиях могут оказаться небезразличными для здоровья спортсменов, которые могут способствовать развитию перенапряжения, переходных и предпатологических состояний. Высокие по объему и интенсивности тренировочные нагрузки в современном спорте часто являются причиной истощения адаптационного потенциала организма и развития состояния дисадаптации перетренированности, а это существенно может сказаться не только на работоспособности организма, но и на его сопротивляемости (14, 24).

Именно предельные и запредельные физические нагрузки сопровождаются выраженными метаболическими сдвигами и угнетением Т-системы иммунитета, что проявляется в снижении содержания Т-лимфоцитов и угнетении их функциональной активности (18). Комплекс же стрессовых реакций, превышающих адаптационные возможности организма, приводит к развитию клеточно-опосредованных реакций и снижению резистентности организма (10). Аналогичные ситуации могут создавать предпосылки для нарушения механизмов резистентности и снижения устойчивости к заболеваниям (8).

Выявленные же заболевания у тренированных спортсменов в большинстве случаев хотя и характеризуются стертым, субклиническим течением, нередко при сохранении высокой работоспособности, что позволяет рассматривать их как пограничные, донозологические состояния, однако они особенно опасны в условиях чрезмерного напряжения физиологических функций и резких сдвигов гомеостаза при физических нагрузках. Как подчеркивают Н. Д. Граевская и Т. И. Долматова (9), лишь при правильной тренировке и здоровом образе жизни спортсмены могут длительно сохранять высокий уровень здоровья и высокие функциональные возможности, поскольку при воздействии любого раздражителя (в том числе и больших физических усилий) на организм зависит не столько от силы раздражителя (объема и интенсивности нагрузки), сколько прежде всего от его соответствия функциональным возможностям и готовности тренированного организма.

В заключение скажем, что вопросы приобщения населения к регулярным занятиям физическими упражнениями с оздоровительной целью рассматривались многими авторами, однако результаты таких исследований свидетельствуют о том, что физическая культура и спорт, как регулярная, активная составляющая жизнедеятельности, все еще не заняла должного места в образе жизни человека, несмотря на их высокую биологическую и социальную значимость.

Литература

1. Апанасенко, Г. Л. Валеология: первые итоги и ближайшие перспективы [Текст] / Г. Л. Апанасенко // Теория и практика физической культуры. – 2001. – № 6. – С. 2 – 8.
2. Берг, А. И. Кибернетика – наука об оптимальном управлении [Текст] / А. И. Берг. – М.; Л.: Энергия, 1964.
3. Булич, Э. Г. Здоровье человека: биологическая основа жизнедеятельности и двигательная активность в ее стимуляции [Текст] / Э. Г. Булич, И. В. Муравов. – Киев: Олимпийская литература, 2003. – 424 с.
4. Булич, Э. Г. Современные достижения науки о здоровье [Текст] / Э. Г. Булич // Теория и практика физической культуры. – 2004. – № 1. – С. 62 – 63.
5. Вайнбаум, Я. С. Гигиена физического воспитания и спорта: учебное пособие [Текст] / Я. С. Вайнбаум, В. И. Коваль, Т. А. Родионова. – М.: Академия, 2005. – 240 с.
6. Вайнер, Э. Н. Валеология [Текст]: учебный практикум / Э. Н. Вайнер, Г. В. Волынская. – М.: Флинта: Наука, 2002. – 312 с.
7. Виру, А. А. Аэробные упражнения [Текст] / А. А. Виру, Т. А. Юримяз, Т. А. Смирнова. – М.: Физическая культура и спорт, 1988. – 142 с.
8. Волков, Н. И. Особенности грануломонопоза при физических нагрузках у спортсменов [Текст] / Н. И. Волков, С. Ф. Енохин, Л. В. Филев, С. К. Сарсания // Физиология человека. – 1987. – Т. 13. – № 3. – С. 450 – 455.
9. Граевская, Н. Д. Спортивная медицина: курс лекций и практические занятия [Текст]: учебное пособие / Н. Д. Граевская, Т. И. Долматова. – М.: Советский спорт, 2004. – 304 с.
10. Горизонтов, П. Д. Стресс: система крови в механизме гомеостаза [Текст] / Горизонтов // Гомеостаз. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Медицина, 1981. – С. 536 – 573.
11. Калинин, В. М. Здоровье населения и окружающая среда обитания [Текст] / В. М. Калинин // Проблемы обеспечения экологической безопасности в Кузбасском регионе: в 4 кн.; кн. IV; Кемер. регион, отд. Рос. эколог. акад.: КузГТУ. – Кемерово, 2008. – С. 161 – 164.
12. Колесов, А. И. Формирование физического (соматического) здоровья и здорового образа жизни населения как национальная идея России [Текст] / А. И. Колесов, Е. А. Разумовский, Н. А. Ленц // Матер. IV съезда специалистов лечебной физкультуры и спортивной медицины. – Ростов-на-Дону, 2002. – С. 8 – 10.
13. Кулик, В. П. Трехмерная модель здоровья. Сантивность и пантивность [Текст] / В. П. Кулик // Валеология. – 2000. – № 1. – С. 15 – 21.
14. Левандо, В. А. Проблема стресса, иммунитета и остро возникающей патологии у спортсменов [Текст] / В. А. Левандо, Р. С. Суздальский, Т. И. Кассиль // Вестник АМН СССР. – 1988.
15. Лемус, В. Б. Стресс и иммунитет спортсмена: лекция [Текст] / В. Б. Лемус. – Л.: ГДОИФК им. П. Ф. Лесгафта. – 38 с.
16. Муравов, И. В. Оздоровительные эффекты физической культуры и спорта [Текст] / И. В. Муравов. – Киев: Здоровья, 1989. – 272 с.
17. Рогозкин, В. А. Европейский колледж спортивных наук развивает активность (заметки с 8-го Научного конгресса) [Текст] / В. А. Рогозкин // Теория и практика физической культуры. – 2003. – № 12. – С. 57 – 59.
18. Суркина, И. Д. Стресс и иммунитет у спортсменов [Текст] / И. Д. Суркина // Теория и практика физической культуры. – 1981. – № 3. – С. 18 – 20.
19. Сыч, В. Ф. Биология человека – фундамент здоровьесберегающего воспитания школьников [Текст] / В. Ф. Сыч // Новые медицинские технологии в охране здоровья здоровых, в диагностике, лечении и реабилитации больных: сб. мат. XI Междунар. науч.-практ. конф. – Пенза, 2004. – С. 56 – 58.
20. Трещева, О. Л. Формирование культуры здоровья личности в общеобразовательной системе физического воспитания [Текст]: автореф. дис. ... д-ра пед. наук. – Омск, 2003. – 51 с.
21. Тристан, В. Т. Практикум по физиологии спорта [Текст]: учеб. пособие / А. Г. Тристан. – Омск: СибГАФК, 1997. – 108 с.
22. Физическая культура и здоровье: учебник / под ред. В. В. Пономаревой. – М.: ГОУ ВУНЦ, 2001. – 352 с.
23. Хардман, А. Физическая активность и здоровье [Текст] / А. Хардман // Физическая культура, спорт и здоровье нации: мат. Междунар. конгр. – СПб., 1996. – С. 135 – 136.
24. Хмелева, С. Н. Адаптация к физическим нагрузкам и ее медико-биологическая характеристика у спортсменов в циклических видах спорта [Текст] / С. Н. Хмелева, А. А. Буреева, Н. Д. Васильев // Теория и практика физической культуры. – 1997. – № 4. – С. 22 – 24.
25. Щедрина, А. Г. Понятие индивидуального здоровья – центральная проблема валеологии: лекция [Текст] / А. Г. Щедрина. – Новосибирск, 1966. – 50 с.
26. Яковлев, Г. М. Резистентность, стресс, регуляция [Текст] / Г. М. Яковлев, В. С. Новиков, В. Х. Хавинсон. – Л.: Наука, 1990. – 138 с.

Рецензент – А. И. Шульгин – канд. пед. наук, профессор, Российский государственный торгово-экономический университет.

ФИЛОЛОГИЯ

УДК 811. 161. 1'27 (1-87)

ПАНОРАМА КУЛЬТУРНОЙ ЖИЗНИ РУССКИХ ЭМИГРАНТОВ

(актуализация исторического опыта)

Е. В. Евнок

В статье освещается панорама культурной (в широком контексте - язык, литература, образование) жизни русской «белой» эмиграции.

This article presents a panorama of cultural life, literature and language of russian «white» emigres in a wide context.

Ключевые слова: эмигрантология, культура, социолингвистика, русский язык зарубежья.

Для нас становится всё более актуальным обращение к культурному наследию русского зарубежья начала прошлого века. Актуальным в контексте проблематики, связанной с возвращением культурных отечественных ценностей прошлого, в целях духовно-нравственного воспитания детей и молодёжи, всего общества.

Академик Д. С. Лихачёв говорил: «Культуре, нравственности, воспитанию надо отводить в наших планах первое место. Все планы налаживания нашей жизни начинать с вопросов культуры, воспитания, образования. Дух предшествует материи во всех отношениях» [Цит. по: Коваленко, Фролова, 2001, с. 44 – 45]. Эти высказывания подводят к выводу: чтобы человечество могло сохранить себя как вид, необходимо воспитывать и обучать человека не только для обеспечения материального существования, но и прежде всего воспитывать духовно. Последняя задача намного сложнее первой. Образование человека представляет собой сложный процесс. С одной стороны, – обучение профессии: необходимо вложить в голову обучаемого некую сумму знаний, информации, развить интеллектуальные способности, обеспечивающие вмещение, обработку, хранение и использование полученных знаний. С другой стороны, – духовно-нравственное воспитание, ибо самый чудовищный результат образования – это хороший специалист, не отягощённый совестью. Ничего нет опаснее образованного, но безнравственного человека, будь то юрист, политик или врач. Обучение в новой парадигме образования выдвигает на передний план задачу формирования человека с хорошей профессиональной подготовкой, высокой культурой и нравственными принципами. В процессе обучения в школе, в университете духовные ценности напрямую передать очень сложно, их надо пережить, прочувствовать, увидеть, чтобы они стали органичной составляющей души человека. Вместе с тем существуют конкретные примеры воспитания души. Для этого обратимся к историческому опыту – культурной (в широком аспекте) жизни наших соотечественников – «белых» эмигрантов и их потомков. «Революция 1917 года и последующая за ними Гражданская война вызвали новый всплеск эмиграции из России, как правило, эту

эмиграцию называют «первой» или «Белой», хотя правильнее было бы её называть «первой послереволюционной волной эмиграции». Эта эмиграция состояла в основном из наиболее культурных слоёв дореволюционного российского общества [Попов, 1998, с. 54].

Историю культуры русской эмиграции можно рассматривать с самых разных точек зрения: культурно-просветительская работа, педагогическая деятельность, пропаганда духовных ценностей, отношение эмигрантов к родному языку, литературе, искусству и т. д.

«Русская интеллигенция, волею судьбы оказавшаяся на чужбине, придавала огромное значение культурно-просветительной работе среди эмигрантов. Надеясь на скорое возвращение, изгнанники боялись утратить духовную связь с Россией и прилагали максимум усилий для сохранения культурных традиций» [Волошина, 2001, с. 168]. Актуальными в эмиграции становились вопросы культурно-воспитательной и патриотической работы, в особенности среди молодёжи, воспитание у неё чувства патриотизма и национальной гордости. Этому были посвящены два совещания педагогов, проведённые по инициативе Земгора. На них был обсуждён и одобрен длинный список разнообразных форм работы, предусматривавший организацию дополнительных курсов по национальным предметам, образование детских домов, клубов, библиотек, издание детского журнала, проведение чтений по русской истории с использованием волшебного фонаря (диапроектора) и даже кинематографа; проведение детских праздников, устройство лагерей, создание всевозможных организаций самих учащихся и т. п. Воспитательной работой среди эмигрантской молодёжи занимался юношеский отдел русского студенческого христианского движения, возникший в 1927 – 1928 гг. Его руководителями были Н. Ф. Фёдоров, С. С. Шидловская, А. Ф. Шумкина. Важную роль в работе отдела сыграл известный артист императорских театров России А. Д. Александрович, создатель «Молодой оперы». На организованных им спектаклях, где показывали фрагменты опер «Жизнь царя», «Демон», «Русалка», пел хор в 30 – 40 человек, а предварительно готовились костюмы и декорации.

Отдел вёл культурно-просветительскую и религиозную работу. Ежегодно устраивались летние и зимние лагеря. В них всегда была церковная палатка, и детей привлекали к ведению церковных служб. Лагеря организовывались по определённой тематике: жизнь и мировоззрение выдающихся деятелей русской культуры (А. В. Суворов, А. П. Чехов), Россия в XIX в., географические районы России. В начале 1930-х гг. в Париже традиционными стали «Дни для юношества и детей», превращавшиеся в праздники русской истории и культуры. Молодёжная организация русских разведчиков под руководством полковника П. Н. Богдановича поставила «Потешные Петра Великого». Оркестр под управлением Л. А. Чернецкого исполнил «Преображенский марш» и «Марсельезу». Хор пропел «Как ныне собирается Вещий Олег». Кадеты прочитали пять сонетов, написанных по этому случаю. Национальная организация Витязей поставила «живую картину» «Витязи славной России». Выступили также хор и оркестр Витязей под управлением А. А. Скрябина, были представлены, совместно с разведчиками, несколько сцен на тему «Меч на страже русской культуры», Скауты разыграли сцены из жизни Александра Невского. Юные спортсмены, члены сокольского общества, представили разнообразные гимнастическую и артистическую программы, их хор исполнил несколько песен, а совместно с балетной студией И. Л. Вырубовой они поставили картину из первого акта «Евгения Онегина» [Волошина, 2001, с. 168-170].

Большое внимание уделялось также психологической реабилитации детей эмигрантов. По словам М. Раева: «Первой ставала задача восстановить нормальное физическое и психологическое состояние детей-беженцев. Многие из них потеряли родителей и семьи, за годы гражданской войны и бегства за границу успели забыть о том, что такое нормальная жизнь. Даже тем, кому повезло, кто остался с кем-то из родных, пришлось пережить немало потрясений. Было разработано несколько проектов, которые должны были помочь детям выразить свои мысли и чувства, – анкетирование, опросы, пребывание в детских общинах. В этой связи следует отметить, что эмигранты, специалисты в области образования, осуществляли свои работы и эксперименты на основе новейших психологических теорий и методик, разработанных накануне мировой войны и революции. Русская педагогика достигла больших успехов в разработке индивидуального подхода к поддержанию психологического здоровья ребёнка. Этот накопленный опыт, а также имевшаяся литература стали в эмиграции важным подспорьем при создании учебных заведений» [Раев, 1994, с. 65 – 66].

Эмигранты стремились всячески поддержать и развивать сферу образования. С самого момента своего возникновения русская диаспора организовала трёхуровневую систему образования: начальные школы, частные пансионы, подобные дореволюционным кадетским корпусам для юношей или институтам благородных девиц, университеты, научные

сообщества, курсы грамотности, занятия по иностранным языкам. Главными такими образовательными центрами явились Париж, Берлин, Прага, Белград, София, Кошице, Ужгород, Моравские Тржебове, Харбин и др. В силу сложившихся обстоятельств, основное внимание в эмигрантских учебных заведениях было сосредоточено на гуманитарных дисциплинах – языке, литературе, истории, географии. Основная цель системы образования в эмиграции состояла в сохранении русского самосознания, поэтому естественные науки и математика, интернациональные по содержанию, преподавались в соответствии с учебными программами, принятыми в стране проживания. За образец для школ, основанных диаспорой, за исключением начальных классов, была принята старая русская гимназия с её акцентом на гуманитарные науки (древние языки, русская литература и история). Начальная школа в эмиграции давала азы грамотности и религии на русском языке, далее, как и в старой России, обучение продолжалось в гимназии или же в реальном училище, где обучалось значительное число эмигрантов. Эмигрантами была создана сеть высших учебных заведений. Известным «русским Оксфордом» – академическим, университетским центром эмиграции была Прага. [Savický, 1999, s. 185]. В 1920-е гг. в Праге возникли: Русский юридический факультет, Русский (Народный) университет, Педагогический институт им. Я. А. Коменского, Институт сельскохозяйственной кооперации, Высшее училище техников путей сообщения, Русский институт коммерческих знаний, Русская автомобильно-тракторная школа, Русская торговая академия [Savický, 1999, s. 199]. Особое место среди эмигрантских учебных заведений Праги занимал Русский народный университет. Основанный в 1925 г. на общественных началах, он преследовал цели просвещения и популяризации научных знаний. Народный университет имел пять отделений: общественных наук; историко-филологическое, естественных и прикладных наук. Ежегодно на каждом из отделений прочитывалось около 50 лекций, кроме того, проводились семинарские и кружковые занятия. Для местного населения устраивались лекции об истории и культуре России на чешском языке [Кишкин, 1996, с. 7]. Здесь читали лекции, занимались научными исследованиями в лабораториях, вели большую просветительскую работу видные русские учёные самых разных специальностей: литератор, лектор славянского семинара Карлова университета, доцент А. Л. Бем, архитектор В. А. Брандт, агроном, профессор В. Е. Брунст, профессор В. А. Коссинский, философ, профессор Н. О. Лосский, доцент, юрист Г. Н. Михайловский и др. Огромную ценность имели, и до сих пор имеют, созданные тогда русскими учёными труды. В качестве примера назовём «Логика», «Материя и жизнь», «Обоснование интуитивизма» Н. О. Лосского; «Славянская филология в России за годы войны и революции» Р. О. Якобсона и П. Г. Богатырёва и др.

Высшие учебные заведения русского зарубежья занимались, во-первых, собственно обучением –

обеспечением профессиональной подготовки соотечественников, во-вторых, стремились помочь учёным, деятелям искусства и мыслителям, оказавшимся в эмиграции, продолжить их творческую работу на благо русской культуры и познакомить местное общество с вкладом России в различные области науки и культуры. Надо отметить, что профессиональная деятельность многих русских эмигрантов сыграла большую роль в культурном, экономическом, политическом развитии Европы в целом, а также её отдельных государств. В этом контексте интересна судьба семьи Гариных-Михайловских. Так, эмигрантская деятельность Г. Н. Гарина-Михайловского (он же сын известного публициста, писателя, инженера железнодорожного транспорта, основателя г. Новосибирска Н. Г. Гарина-Михайловского) была связана с преподаванием международного права и дипломатической деятельностью в Париже, Праге, Братиславе. В Братиславе он работал в высших кругах МИД Словакии. Его сын, Н. Г. Михайловский-младший, благодаря своей профессиональной деятельности, также внёс существенный вклад в экспериментальную науку Чехословакии, работая в научно-исследовательском институте пищевой промышленности, а до увольнения на пенсию – в институте экспериментальной эндокринологии Словацкой академии наук [Turá, 2006, s. 134]. Некоторые наши соотечественники стали почётными гражданами городов, стран, являвшихся их второй Родиной. Так, В. И. Немирович-Данченко принимал активное участие в местной русской и чешской культурной и литературной жизни (как ранее Достоевский и Тургенев, он был избран почётным членом чешского культурного общества «Умелца беседа», а также являлся почётным гражданином Праги [Кишкин, 1998, с. 45]. Говоря о культурной, духовной миссии русского зарубежья в Европе, США, Китае, достаточно назвать имена И. Бунина, Н. Бердяева, С. Булгакова, Б. Вышеславцева, А. Исаченко, Н. Андрусова, Н. Лосского, В. Лосского, Б. Лосского, епископа Иона (Покровского), игумена Серафима и др.

Как было отмечено выше, русская культура для русского зарубежья была не мыслима без сохранения родного языка и литературно-издательской деятельности. «Язык был тем базовым элементом, который не просто воплощал в себе традиции современной русской культуры, отражая её в литературе, но также представлял собой существенный элемент самосознания общества в изгнании [Раев, 1994, с. 140]. Несмотря на сознательную консервацию русского языка, обусловленную политическими причинами, эмигранты искренне пытались сохранить его чистоту и богатство. Любые инновации, так или иначе затрагивающие язык, мгновенно становились насущной темой в эмигрантской печати. Кроме всего прочего, судьба русского языка была темой для личных переживаний, размышлений самых разных слоёв русской диаспоры. Об этом красноречиво свидетельствует эпистолярное наследие эмигрантов. В нашем распоряжении имеются ксерокопии писем – переписки семьи Гариных-Михайловских, Глебо-

вой-Михайловской со своими родственниками-эмигрантами, друзьями, любезно предоставленные мне инж. Н. Г. Михайловским, а также переписка семьи Андрусовых, потомков известного русского геолога, стратиграфа. Приведём выдержки из некоторых писем в авторской редакции: «Надо также привыкнуть к новому правописанию. Я ничего не имею против, но переучивать себя мне трудно...Назад, конечно, возвращаться нет возможности. Жаль мне только ЯТЬ...» (Бонди, 18-3-1972 г. (из письма Володи Ладыжинского к А. Н. Глебовой-Михайловской), а также: «Часто осматриваю Берестовые Новгородские грамоты, которые мне прислала Татьяна Михайловна и каждый раз ей благодарен за присылку этой книги. Читать их ведь подряд нельзя: они требуют большого разбора и запоминаются не так просто. Но многое в них интересно, в частности, возникновение новых слов и пропайса прежних. Обращает на себя внимание и то, что нет вопросительных форм. Очевидно, повелительное наклонение тогда имело значение просьбы. И это сохранялось долго. Я видел описание свадьбы Михаила Федоровича. В нём, когда пришло время ехать венчаться, пришли и сказали, все-таки, царю: «А Патриарх приказал тебе идти в собор». Большую привычку надо выработать, чтобы и читать эти грамоты – написаны они без разделения слов. Между прочим, меня всегда удивляло почему Кирилл и Мефодий, которые составили славянскую грамоту, когда они переводили Евангелие с греческого, не взяли просто греческих букв...Считается, впрочем, что Кирилловица даёт очень правильное фонетическое правописание. Но, ведь, и греческий язык был сильно фонетический, однако букв в нём для фонетики хватало. Был такой случай: когда св. Стефан приводил к православию зырян Пермского края, он им создал грамоту, так как зыряне грамоты не знали. Буквы он им составил из черточек, которые напоминала риски, зарубки, которые зыряне наносили на разные предметы для обозначения своих владений или обозначения родов, нечто вроде фамилий, комбинируя по разному черточки. Будто бы это облегчило зырянам выучить грамотность. Возможно и славянская вязь тоже напоминала какие-то тогдашние болгарские орнаменты. Как-то никто никогда не интересовался почему были взяты такие, и довольно сложные, начертания букв. Пора кончать. Что-то начинаю много ошибаться печатая» (Париж, 21 / X/ 1972. Из письма Володи Ладыжинского к А. Н.). «Жена моего сына Бориса преподаёт в этом году русский язык в средней школе. Она довольна тем, что дети успешно усваивают русский язык и любят эти занятия...» (из письма Н. О. Лосского к А. М. Глебовой-Михайловской). [Евпак, 2008, с. 202 – 203].

Эпистолярное наследие русских эмигрантов свидетельствует об их безграничной любви к русской культуре вообще, к искусству, литературе, музыке, театру, кино. Важное место они отводят вопросам духовно-нравственного воспитания детей – почитанию и заботе о старших, этике общения (в устной и письменной форме) и т. д. «Дорогая Анна

Николаевна, семья наша и я очень благодарим Вас за Ваше участие в нашем горе и за Ваши заботы о могиле Людмилы Владимировны... Я живу теперь у Бориса... Каждый год Борис вводит новые усовершенствования в Музее. У него и вкус, и большое понимание произведений искусства не только картин, но и художественной мебели и т. п. Андрей занят собиранием материалов о Людовике XIV. Внучка моя Мария пишет интересную диссертацию «*Душа Петербурга в русской литературе... Душевно преданный Вам Н. Лосский*». 19. III. 58 (Из письма Н. О. Лосского к А. Н. Глебовой-Михайловской). «В нашей газете читал, что в Москве предпринято издание «Истории русского искусства». В редакционном комитете находится Игорь Грабарь. Наверное, это будет очень ценный труд. Я вспоминаю, как великолепна была «История русского искусства», 22 выпуска которой вышли под редакцию Грабаря перед первую мировую войною... Теперь печатается Большая Советская Энциклопедия. Вышло уже 22 тома. В ней очень хороши воспроизведения картин великих художников, русских и иностранных. Душевно преданный Вам Н. Лосский. (Там же).

Издательская и литературная деятельность русских эмигрантов была весьма насыщенной и разнообразной. Так, в Берлине выходило несколько русских газет, причём, наряду с эмигрантскими (ежедневные «*Руль*», «*Голос России*», «*Дни*», еженедельное «*Время*», монархическая «*Грядущая Россия*»), выходил и откровенно советский «*Новый мир*», а позднее сменовеховское «*Накануне*». Особенностью жизни русского литературного Берлина в первые годы «лихолетия» было не повторявшееся уже после общение между писателями эмигрантскими и советскими, своего рода осмос между эмигрантской и советской литературой. В Берлине был создан, по образцу петроградского, свой Дом Искусств, собрания которого происходили в одном из больших берлинских кафе. Здесь встречались свободно эмигрантские и советские писатели. Читали свои произведения Ремизов, Ходасевич, Виктор Шкловский, Маяковский [Струве, 1984, с. 25 – 26]. В Праге был организован целый ряд издательств. К наиболее ранним из них относится издательство «*Наша речь*», основанное в 1919 г. Оно издавало буквари, русских классиков (Пушкин, Гоголь, Достоевский, Салтыков-Щедрин, Толстой), сказки, книги о русских художниках, учебники [Кишкин, 1996, с. 3].

Мы попытались в общих чертах осветить культурную жизнь соотечественников. Говоря о панораме культурной жизни русского зарубежья, надо отметить, что все выделенные нами аспекты в рамках статьи в полной мере свидетельствуют о богатом духовно-нравственном, творческом, профессиональном потенциале русского зарубежья. Они раскрывают феноменологию быта и бытия наших

соотечественников во всех своих ипостасях – картинах мира: культурной, философской, духовно-нравственной, языковой. Это лишь некоторые штрихи к общей панораме всего русского зарубежья. Важно то, что «возвращение» духовных ценностей, созданных русскими эмигрантами продолжается. Они, как нам кажется, востребованы в самых разных аспектах; культурная деятельность русских эмигрантов является примером духовности для подрастающего поколения – учащейся молодёжи.

Литература

1. Волошина, В. Ю. Историк и общество: культурно-просветительская деятельность учёных-историков в среде русской эмиграции 1920 – 1930-х годов [Текст] / В. Ю. Волошина // Культура исторической памяти: материалы научной конференции. – Петрозаводск, 2002. – С. 168 – 175.
2. Евпак, Е. В. Языковое и метаязыковое в письмах русских эмигрантов-интеллектуалов [Текст] / Е. В. Евпак // Обыденное метаязыковое сознание и наивная лингвистика: межвузовский сб. ст. – Кемерово-Барнаул, 2008. – С. 197 – 205.
3. Попов, А. В. Русское зарубежье и архивы [Текст] / А. В. Попов. – М.: РГГУ, 1998.
4. Раев, М. Россия за рубежом. История культуры русской эмиграции 1919-1939 [Текст] / М. Раев. – М.: Прогресс-Академия, 1994.
5. Кишкин, Л. С. Русская эмиграция в Праге: печать, образование, гуманитарные науки, 1920 – 1930-е годы [Текст] / Л. С. Кишкин // Славяноведение. – 1996. – № 4. – С. 43 – 52.
6. Кишкин, Л. С. Русская эмиграция в Праге: поэты, прозаики, мемуаристы (1920 – 1930-е годы) [Текст] / Л. С. Кишкин // Славяноведение. – 1998. – № 4. – С. 43 – 52.
7. Коваленко, Б. П. Курс «Духовные основы жизни»: разработка образовательной технологии [Текст] / Б. П. Коваленко, Н. А. Фролова // Синтез в образовании: развитие, воспитание, обучение. – СПб., 2001. – С. 44 – 49.
8. Струве, Г. Русская литература в изгнании [Текст] / Г. Струве. – Paris.: YMCA-PRESS, 1984.
9. Savický, I.: Osudová setkání. Češi v Rusku a Rusové v Čechách 1914-1938 [Text] / I. Savický. – Praha: Akademia, 1999.
10. Tupá, L. Russische Literatur und Geisteswissenschaft in Bratislava (1920-1939) [Text] / L. Tupá / Diplomarbeit zur Erlangung des Magistergrades der Philosophie aus der Studienrichtung Russisch eingereicht an der Universität Wien. – Wien, 2006. – 153 s.

Рецензент – Т. Г. Рабенко – доцент кафедры общего языкознания и славянских языков, ГОУ ВПО «Кемеровский государственный университет».

УДК 811.161

ЧАСТНАЯ ЗАПИСКА В ШКОЛЬНОМ ДИСКУРСЕ

Е. Г. Зырянова

Рассматриваются особенности функционирования частной записки в школьном дискурсе. В статье предложен анализ собранного материала в зависимости от статусно-ролевых характеристик коммуникантов, типа отношений, выявляются наиболее распространенные стратегии и тактики адресанта.

The author suggests her analysis of collected material with the aim of discovering compositional models in school written note dependent on status and role characteristics of communicants. The structure of communicative situation in school is also considered.

Ключевые слова: естественная письменная русская речь, жанры речи, школьный дискурс, частная записка.

Объектом нашего исследования является частная записка как жанр естественной письменной русской речи (ЕПРР).

Под частной запиской понимается письменный текст небольшого объема, предназначенный для коммуникативного решения ситуативно обусловленных задач.

Выделенный жанр относится к естественной письменной русской речи и находится в ядерной зоне её жанрового пространства. Под естественной письменной речью понимается речевая деятельность, обладающая следующими признаками: письменный способ воплощения, спонтанность, непрофессиональность исполнения, неофициальность сферы бытования, отсутствие промежуточных инстанций (корректоров, редакторов и пр.) между отправителем и реципиентом [3]. Перечисленные признаки в жанре записки проявляются в большей степени. Впервые это явление в качестве нового объекта русистики выделено Н. Б. Лебедевой (ею же предложен термин «естественная письменная русская речь» в 1999 – 2000 гг. в рамках работы Лаборатории письменной речи Алтайской государственной педагогической академии (в данный момент такая же Лаборатория существует в Кемеровском государственном университете).

Естественная письменная русская речь пронизывает все наше повседневное бытие, но ее не всегда замечают, ценят, считают нужным изучать. Выделение этого объекта в русистике, по существу, только начинается. Хотя ее отдельные разновидности (письма, открытки, альбомы, народные мемуары, объявления, записки, граффити и пр.) подвергаются изучению, но под другими, в первую очередь, лингвистическими точками зрения – фольклористической, литературоведческой, культурологической, социолингвистической.

В статье жанр записки рассматривается в школьном дискурсе. Поскольку дискурс – это «общепринятый тип речевого поведения субъекта в какой-либо сфере человеческой деятельности, детерминированный социально-историческими условиями, а также утвердившимися стереотипами организации и интерпретации текстов как компонентов, составляющих и отображающих его специфику» [4, с. 10 – 11], жанр нужно изучать в определенном дискурсе [Карасик, Седов 2004 и др.].

В нашем понимании школьный дискурс – это существующая система ценностно-смысловой коммуникации субъектов образовательного процесса, функционирующая в пространстве школы, включающая участников дискурса, цели, ценности и содержательную составляющую, в соответствии с нормами культуросообразной деятельности.

Условия общения характеризуются в первую очередь тем, что это общение происходит в рамках школы. Условия коммуникации для жанра школьной записки можно обозначить как «неофициальное общение в официальных обстоятельствах» [5, с. 181], когда возможности непосредственного устного общения ограничены как субъективными (психологическими), так и объективными факторами (отсутствие партнера коммуникации, его удаленность и т. д.).

Преобладающим мотивом для создания записки среди школьников является фатический, при этом создается потребность не столько в коммуникативном контакте и решении практических задач (9,3 % собранного материала), сколько в заполнении «пауз» – 90,7 % (скучно, неинтересно на уроке, нечем заняться).

Записка, написанная во время урока учеником, становится, с одной стороны, актом нарушения социальных предписаний, неподчинения установленным правилам. С другой – фактом солидаризации партнеров по коммуникации и их посредников в осуществлении противоправного действия. Нарушение запретов создает особую интригу, порождает ситуацию коммуникативной игры. В результате импульсом к написанию записки становится не только потребность в коммуникативном контакте или в решении некомуникативной (практической или интеллектуальной) задачи, но и установка на игровое времяпрепровождение, на заполнение лично не актуальных пауз. В жанре школьной записки нарушается пропорциональность между характером помета и мотивом коммуникации: здесь преобладает фатическая мотивация, направленная на транслирование межличностных отношений.

По параметру «нарушение запрета на коммуникацию» жанр школьной записки сопрягается с граффити, однако мотивация граффити лежит в области спонтанного проявления нерациональной сферы человеческой психики, диалогичность граффити ориентирована на виртуального адресата.

Школьная записка является результатом побуждения к реальной коммуникации с реальным адресатом и осмысленным замыслом.

Среди остальных коммуникантов преобладает нефатический мотив, который вызван преимущественно потребностью в решении практических задач, связанных с процессом обучения.

В результате исследования мы выделяем следующих участников школьного дискурса как четыре основных источника текстов частных записок: администрация, учителя, учащиеся, родители учеников.

Взаимодействие между обозначенными уровнями коллектива имеет типичный институциональный порядок – общение в рамках статусно-ролевых отношений, представленных в базовых парах: администратор – учитель, учитель – родитель, учитель – ученик. Внутри уровня (ученик-ученик, учитель-учитель) взаимодействие строится на основе лично-относительно-ориентированных установок, так как коммуниканты занимают одинаковый статус, хорошо знают друг друга.

Среди отличительных признаков записки, в том числе и школьной, можно назвать направленность на адресата. Автор записки, в зависимости от социальных параметров адресата, определяет структуру, стилистическое воплощение, субстрат.

В ходе исследования выделили четыре группы участников общения, где соотношение между автором и адресатом строится следующим образом:

Завуч – учитель – неравный социальный статус:

И.Г. подойдите по поводу излож. Л. И.

Учитель – учитель – одинаковый статус:

Е.Г.!

Не ходят на англ. яз. (вообще):

1. Жарков.

2. Соколов

3. Чеченова будет неаттест. К.34

Л. Ем.

Надо сдать 50 руб. на день учителя (на «стол»)

Ступаренко С. В.

Родитель – учитель – неравный статус:

Светлана Анатольевна. Романцов Слава сегодня не может прийти в школу, т. к. заболел. Если ему будет хуже. То завтра вызовем врача. С уважением, мама Славы (ростпись);

Ученик – ученик – одинаковый статус:

Алёна Напиши мне ЗАПИСКУ;

Ты на меня из чего обиделась?

Чтобы определить каноны функционирования записки в каждой группе, проанализируем собранный материал по следующим параметрам:

- 1) цель,
- 2) содержание,
- 3) субстрат,
- 4) графико-пространственный параметр знака,
- 5) ход коммуникации.

Завуч – учитель

Коммуникативная цель: императивная.

Содержание: просьба зайти в свободное от уроков время, заполнить журнал, информация о детях (классному руководителю), просьбы, приказы, распоряжения по школе.

Субстрат: ровно отрезанные листочки бумаги в форме закладок, листочки для записей.

Графико-пространственный параметр знака: использование сокращений, цифр, знаков, подчеркивание.

Ход коммуникации: через учеников, вложено в журнал, оставляется в учительской на столе или вывешивается на доске объявлений.

Учитель – учитель

Коммуникативная цель: информационная, конативная.

Содержание: информация об учениках, производственно-деловые вопросы, просьбы.

Субстрат: целый тетрадный лист, листок для записей, не встречается случайных листков.

Графико-пространственный параметр знака: аккуратный почерк, использование сокращений (ф.и.о., фамилии детей, название предметов).

Родитель – учитель

Коммуникативная цель: информативная, конативная.

Содержание: информация о детях: причины отсутствия в школе, просьбы отпустить с уроков.

Субстрат: целая страница тетрадного листа, половинка тетрадного листа, как исключение из правил, обрывок тетрадного листа, использованный на одной стороне лист (расчеты, платежная ведомость, расчетный листок).

Графико-пространственный параметр знака: четкий почерк, не используются сокращения, преобладают некие шаблоны в виде обращений типа «уважаемая», «здравствуйте», «доброе утро», используются цифры для обозначения числа написания, обязательна подпись.

Ход коммуникации: только передача через детей до или после обозначенного в записке события.

Ученик – ученик

Коммуникативная: цель информационная, фатическая, императивная.

Содержание: вопросы, просьбы, ответы на задания, связаны с взаимоотношениями.

Субстрат: тетрадный лист или его обрывок, чаще скомканный или свернутый в несколько раз, листок из записной книжки.

Графико-пространственный параметр знака: заполнение пространства листа разное (текст находится в центре, смещен в сторону), заняты обе стороны листа, различный почерк и размеры букв.

Ход коммуникации: передача через одноклассников, из рук в руки соседу по парте или бросание. Обобщим данные в таблице 1.

Таблица 1

		<i>Завуч – учитель</i>	<i>Родитель – учитель</i>	<i>Учитель – учитель</i>	<i>Ученик – ученик</i>
Субстрат	Целый лист		37,8 %	28,5 %	36,7 %
	Лист для записей	10,5 %	1,8 %	21,4 %	10,2 %
	Лист - закладка	88,5 %			
	Обрывок листа				48,9 %
	Использованный ранее листок		2,7 %		4,08 %
	Половинка листа		54,9 %	50 %	
Объем	1-3 слова	35,8 %			6,1 %
	1-2 страницы	0,8 %		50 %	63,2 %
	Предлож., фраза	59,6 %	100 %	50 %	30,6 %
Тема	Информация об ученике	1,7 %	90 %	50 %	
	Производств. дела	4,3 %		50 %	
	Просьба	0,8 %	10 %		12,2 %
	Вопрос-ответ				34,69 %
	Замечания о заполнении журнала	92,1 %			
	О личном				53,06 %
Ход коммуни- кации	Личная передача			14,2 %	50 %
	Через учеников	3,5 %	100 %	14,2 %	50 %
	Через учителей				
	На столе			28,5 %	
	В журнале	96,5 %		42,8 %	
Цель	Информативная		67 %	100 %	7 %
	Фатическая				90 %
	Императивная	100 %	33 %		3 %

Как уже отмечалось, адресант записки определяет форму, субстрат и содержание в зависимости от социальных параметров адресата. Неравный статус предполагает строить письменную коммуникацию по сложившимся образцам, одинаковый статус характеризуется большей свободой в коммуникативном поведении (может не соблюдаться композиционная структура, используются сокращения, ненормативная лексика и т. п.). Также записки отличаются используемым субстратом. При неравном статусе автор использует целый лист, пол-листа или лист, предназначенный для записей. При равном статусе допускается случайный субстрат (что подвернется под руку в данный момент): уже использованные листы, газеты, обрывки бумаги, поля тетрадей и т. д.

Статусно-ролевые факторы играют также решающую роль при выборе композиционного строения записки.

В результате анализа выявлены наиболее повторяющиеся структуры записки. Канонической формой записки является трехчленная организация:

- 1) обращение (к кому),
- 2) изложение информации,
- 3) подпись.

Данное строение имеют записки при неравном, реже, при равном статусе коммуникантов (родители→учитель, завуч→учитель учитель→учитель). При одинаковом статусе структура записки имеет следующие варианты: двухчленная форма – потеря одного из трех компонентов композиции (первого или третьего, с обязательным вторым компонентом) и одночленная – наличие только информации. Данная структура имеет место повторяться при неравном статусе. Представим данные в таблице 2.

Таблица 2

	<i>3-х частная форма</i>	<i>Обращение, информа- ция (двухчастная)</i>	<i>Информация, подпись (двухчастная)</i>	<i>Информация (одночастная)</i>
родитель→учитель	93,8 %	2,6 %	3,5 %	
учитель→учитель	42,8 %	35,7 %	7,1 %	14,2 %
завуч→учитель	11,6 %	17,8 %	0,89 %	69,64 %
ученик→ученик	3,2 %	30,95 %	2,38 %	63,47 %

Данные таблицы объясняются следующим. Общение между учениками происходит во время урока. Адресат находится в поле зрения автора, их связывают дружеские отношения, поэтому подпись и обращение не нужны, чаще такие записки имеют место только в определенной ситуации и не сохраняются после написания. Общение между родителями и учителями, учителями и учителями строится по каноническим законам.

Записка в данном случае приобретает роль документа, она сохраняется, пишется по определенному правилу, отношения между общающимися приобретают деловой или нейтральный характер, поэтому сохраняется трехчленная композиция (среди записок родителей преобладает следующая схема:

- 1) Уважаемая И.О. преподавателя,
- 2) причина отсутствия ребенка, просьба,
- 3) число и подпись.

Потеря первого и третьего компонентов связана с речевой ситуацией, когда автор лично отдает адресату записку (взаимоотношения между общающимися не играют роли в данный момент). Высокий процент одночленной организации записок в соотношении завуч → учитель объясняется следующим:

- 1) почерк администрации известен всем (подпись необязательна),
- 2) статус и социальная роль выше учителя,
- 3) большой объем работы (контроль и передача информации для выполнения всем членам коллектива),
- 4) записка вкладывается в журнал на страницу, где написаны инициалы учителя,
- 5) намеренное общение на расстоянии из-за несложившихся отношений.

Сделаем *вывод*. Структура жанра зависит от исторически сложившихся образцов, которые автор выбирает в соответствии с ожиданием адресата. Выбор композиционных приемов напрямую зависит от социальных параметров Адресанта и Адресата. В типически повторяющихся ситуациях и в официальной обстановке превалирует определенная клишированность построения записки (трехчленная). Несмотря на индивидуальные особенности и разнообразие форм записки, все же эти явления носят стандартный характер, что позволяет говорить об определенной структуре жанра частной записки, функционирующей в школе. Таким образом, можно сказать, что особенности школьной записки определяются в большей степени социальным контекстом.

На уровне личностно-ориентированных взаимоотношений важными характеристиками взаимодействия являются типы отношений.

В школьном дискурсе автора и адресата могут связывать разные типы отношений: назовем их условно «дружеские», «деловые», «нейтральные».

Тип «дружеских» отношений реализуется в коммуникативном акте между учениками. В данном случае образ коммуникантов характеризуется однотипностью их возрастного, социального, культурно-

речевого статуса, равноправностью коммуникативных ролей, поэтому автор относительно свободен в своем речевом поведении, которое проявляется в несоблюдении речевых, стилистических, грамматических, композиционных и т. д. норм. Данный тип может быть представлен в текстах типа:

*Через сколько минут звонок с урока;
А чё так рано. не отпускают чтоли;
Алёнка чо пойдём с тобой по делам?;
Яна не забыла что надо ити в школу в 4 часа;
Б...! Ну ты дурак. Ты чё не можешь понять! Я не могу приказать себе, тебя не любить. Сам иди в ...! Я тебя люблю! И мне по физику чё ты думаешь.*

«Деловые» отношения связывают коммуникантов, имеющих разный возрастной, социальный, культурно-речевой статус, выполняющих разные социальные роли: ученик → учитель, учитель → учитель, учитель → ученик, учитель → завуч, завуч → учитель.

В данном случае общение основано на ожиданиях того, что автор будет соблюдать речевые нормы, свойственные его положению.

Светлана Григорьевна! Завтра Вы вместе с Любановской И.Е. везете детей в цирк. Сбор у школы в 11 час. (цирк для сопровождающих бесплатный) подпись.

Ксения. Комиссия в спортивном зале, подожди Е.Г.

Е.Г! Поставьте оценки 22.12. 14.01. 18.01. 25.01. Р. А.

Уважаемая Елена Геннадьевна! Разрешите рассказать Вам стих на консультации по русскому языку (25. 05. 07 г.), к 10-00 я подойти не смогу. Кожевникова Евгения.

«Нейтральные» отношения предполагают общение с хорошо известными людьми, но не связанными близкими или производственными отношениями родитель ↔ учитель. Взаимодействие происходит по правилам, сформированным в русской культуре, записка соотносится с кратким письмом.

Уважаемая Ирина Борисовна! 23, 24 и 25 мая Маша болела. У нее 2 дня держалась температура 37,4-37,7. 26.05.05 (подпись).

Здравствуйте. Елена Геннадьевна! Миша пропустил 4 дня на прошлой неделе, т.к. действительно болел (реакция на прививку от гриппа). С уважением (подпись).

В ходе исследования установили: «дружеские» отношения предполагают, что автор относительно свободен в своем речевом поведении, которое проявляется на композиционном, лексическом, стилистическом, грамматическом и т.д. уровне. «Деловые» и «нейтральные» отношения заставляют строить автора текст по правилам и нормам письменной коммуникации, сформированным в русской культуре.

Жанр записки в школьном дискурсе реализует личностные характеристики участников взаимодействия. Разные типы участников дискурса выбирают неодинаковые речевые стратегии и тактики. Отме-

тим, что основной целью жанра частной записки является устранение проблемной ситуации, для которой необходимо побудить человека к некоторым действиям. Пути достижения этой цели различны.

По типу выбранной стратегии нами были выделены следующие типы (наиболее распространенные):

- 1) «проситель» – субъект ставит себя в зависимое от партнера положение;
- 2) «диктатор» – ставит себя выше адресата, добивается подчинения;
- 3) «обращающийся» – ведет разговор «на равных», не требуя выполнения желаемого.

«Проситель» характеризуется следующей выработанной стратегией: высказывание строится в рамках кооперативного общения, при этом автор пытается воздействовать на чувства и эмоциональный мир адресата, чтобы добиться выполнения своей просьбы. При формировании высказывания используются следующие приемы: обращение к адресату по имени и отчеству, возможны добавления «уважаемая, глубокоуважаемая, с уважением» (этим подчеркивается значимость адресата и зависимость от него автора):

Уважаемая Ирина Борисовна Прошу Вас освободить моего сына от занятий.

Употребление этикетных слов типа «пожалуйста» Ирина Валерьевна! Пожалуйста, отпустите Петю после 5 урока..;

Наталья Юрьевна! Отпустите, пожалуйста Настю Гребенцеву с 4-го урока.

Автор не вправе требовать выполнения действий, поэтому употребляются перформативные глаголы типа «прошу».

Речевая деятельность «диктатора» представлена в текстах типа: *Е.Г! Где диктанты? тесты?*

Автор, оказывая давления на адресата, пытается добиться полного подчинения. Для этого используется «командный тон», который выражается через употребление глаголов в повелительном наклонении (*Е.В! Добавьте оценки*); подчеркиванием слов, постановкой вопросительных и восклицательных знаков, использованием разноцветных ручек, фломастеров. Перечисленные признаки заменяют на письме повышенный голос, выражение эмоций, а также указание на важность информации, немедленное выполнение распоряжений.

Е.Г? ???; О. А. «2» -за прогулы!!!!

«Обращающийся». Высказывания этого автора содержат просьбу или желание, выполнение которого зависит от воли адресата:

Займи мелочь.

Автор не использует в тексте определенных маркеров, указывающих на отношение к адресату, нельзя сказать, автор ставит себя выше или ниже адресата, коммуникация осуществляется «на рав-

ных», использование выделяющих знаков носит второстепенный характер.

Подведем итог. Школа – социальный институт, устанавливающий определенную иерархию членов дискурса.

Школьное взаимодействие понимается как процесс совместной деятельности участников образовательного процесса, на которое влияют как внешние, так и внутренние факторы. К внешним факторам относятся образовательная и социальная среда, к внутренним – личностные качества пишущих.

Характеристика участников школьного дискурса включает анализ их статусно-ролевых признаков, мотивов, ценностей, профессионально значимых личностных качеств, индивидуальной интерпретации. Статусно-ролевые факторы играют важную роль при выборе субстрата, композиционного строения, стилистического воплощения, выбора коммуникативных стратегий. Одинаковый статус дает относительную свободу в выборе средств коммуникации. Неравный статус предполагает строить письменную коммуникацию по сложившимся образцам.

Литература

1. Гольдин, В. Е. Жанровая организация речи в аспекте социальных взаимодействий / В. Е. Гольдин, О. Н. Дубровская // Жанры речи-3. – Саратов: Колледж, 2002. – С. 6.
2. Долинин, К. А. Речевые жанры как средства организации социального взаимодействия / К. А. Долинин // Жанры речи-2: сб. научных статей. – Саратов: Колледж, 1999. – С. 9.
3. Лебедева, Н. Б. Естественная письменная русская речь как объект лингвистического учения / Н. Б. Лебедева // Вестник БГПУ. Гуманитарные науки. – Барнаул, 2001. – № 1. – С. 7 – 9.
4. Манаенко, Г. Н. Текст, речевая деятельность, дискурс / Г. Н. Манаенко // Языковая система – текст – дискурс: категории и аспекты исследования. – Самара, 2003. – С. 6 – 14.
5. Ростова, А. Н. Записка школьная / А. Н. Ростова // Антология речевых жанров: повседневная коммуникация. – М.: Лабиринт, 2007. – С. 181 – 186.
6. Седов, К. Ф. Становление структуры письменного дискурса в онтогенезе: прагмалингвистический аспект / К. Ф. Седов // Человек пишущий и читающий: проблемы и наблюдения: материалы Международной конференции. 14-16 марта 2002 г. – СПб., 2004. – С. 204 – 213.

Научный руководитель-рецензент – Н. Б. Лебедева – д-р филол. наук, профессор, ГОУ ВПО «Кемровский государственный университет».

УДК 811.161

МАРГИНАЛЬНЫЕ СТРАНИЦЫ ТЕТРАДЕЙ В ЖАНРОВЕДЧЕСКОМ АСПЕКТЕ

Н. Ю. Плаксина

В статье рассматривается особый жанр естественной письменной речи – маргинальные страницы тетрадей, определяется их жанровый статус, выделяются различные аспекты изучения.

The article deals with the problems related to natural written speech. The paper is an attempt to reveal integral and differential characteristics which enable to consider marginal pages of copybooks as a specific genre of natural written speech. The paper defines the genre status of marginal pages of copybooks and separates various aspects of their investigation.

Ключевые слова: жанры речи, естественная письменная речь.

Естественная письменная русская речь – особый лингвистический объект, основными характеристиками которого являются письменная форма, спонтанность и непрофессиональность исполнения. Осмыслить естественную письменную речь как специфическую форму коммуникации позволяет изучение её в жанроведческом аспекте.

В системе жанров естественной письменной речи выделяется группа жанровых форм, которые могут быть названы маргинальными записями. Под этим термином мы понимаем записи, выполненные на полях и маргинальных страницах (последних страницах, обложке, форзацах) книг и тетрадей, имеющие популярный характер по отношению к базовому тексту. Под тетрадью нами понимаются сшитые листы писчей бумаги в обложке (это не только собственно тетради, но и дневники, записные книжки, блокноты, ежедневники, еженедельники, разного рода альбомы и пр.).

Внутри маргинальных записей выделяются такие разновидности, как записи на полях книг и тетрадей, записи на маргинальных страницах книг и тетрадей, записи на промокашках и пр. Объектом нашего исследования являются записи на маргинальных страницах тетрадей, которые будем условно называть маргинальными страницами тетрадей (МСТ).

Маргинальные страницы тетрадей – особый жанр естественной письменной русской речи, который характеризуется комплексом определенных установившихся признаков:

а) базовая фатическая функция, реализуемая в ряде частных функций – автокоммуникативная, релаксирующая, функция «своего отдельного бытия», что детерминирует ослабленную адресованность этого жанра;

б) спонтанность создания записей, которая обуславливает структурно-тематическое своеобразие, проявляющееся в семиотической, функциональной, тематической и структурно-лингвистической эклектичности маргинальных страниц тетрадей, а также в слабой структурированности отдельных записей;

в) стилеобразующей характеристикой жанра «маргинальные страницы тетрадей» являются повышенная экспрессивность, карнавализация речевого поведения, небрежность исполнения, высокая степень произвольности, которая обусловлена популярным характером возникновения, необязательностью для данной ситуации, т. е. тем, что эти записи

осуществляются без какого-либо регулирующего воздействия извне.

Одним из ключевых вопросов изучения жанра является разработка методики жанрового определения, т. е. критериев, позволяющих назвать конкретное речевое произведение тем или иным жанром. Следует отметить, что выработка таких критериев во многом зависит от лингвистической позиции исследователя, а именно – от концепции жанра. В основу нашего исследования положена концепция речевого жанра М. М. Бахтина и его последователей. По М. М. Бахтину [1], речевой жанр представляет собой тематическое, композиционное и стиливое единство. Современные жанроведы добавляют ещё один параметр, конституирующий жанр – функционально-целевой. Таким образом, в работе под речевым жанром понимается типовая модель, представляющая собой единство темы, композиции, языкового воплощения, а также единство в функциональном плане.

В качестве глубинного жанрообразующего фактора, наряду с триединством композиционного построения, тематического содержания и стиля, М. М. Бахтин рассматривает общественную психологию и идеологические системы. Важный критерий, которым определяется отнесенность конкретной речевой деятельности к тому или иному жанру – возможность его идентификации носителями языка, поскольку речевой жанр – это устойчивая, стереотипная модель в сознании носителей языка, типовая структура, выработанная соответствующей культурой; это ментальные «заготовки» для конкретной текстовой деятельности.

Анализ разных видов тетрадей (ежедневников, записных книжек, личных дневников, альбомов, учебных тетрадей и др.) показал, что заполнение маргинальных страниц тетрадей обладает признаками закономерности и частотности. Однако частотности ещё недостаточно для того, чтобы квалифицировать ту или иную разновидность текста как жанр.

Один из способов определить жанровый статус МСТ – выявление возможности метажанровой рефлексии относительно данной разновидности естественной письменной русской речи. Подтверждением выделенности такого явления, как МСТ, в сознании носителей языка служат следующие случаи метажанровой рефлексии.

Во-первых, в изданиях самого разного типа: в словарях, справочниках, кулинарных книгах, науч-

ных работах и пр. – принято оставлять чистыми последние страницы (часто с указанием: «Для заметок»), что представляет собой случай своеобразной метажанровой рефлексии: так полиграфическая промышленность откликается на существующую, по мнению издателей, необходимость делать записи на последних страницах.

Во-вторых, случаи метажанровой рефлексии обнаруживаем, обратившись к бытовой философии языка. В нашем случае обращение к повседневной философии языка помогает решить вопрос о жанровом статусе МСТ, а именно: насколько в сознании рядовых носителей языка укоренено представление об МСТ как об устойчивой модели, стереотипной схеме.

С целью исследования метажанровой рефлексии мы обратились к такому Интернет-ресурсу, как Лайфджурнал (Живой Журнал), который представляет собой множество личных онлайн-дневников. Нами было обнаружено два форума, предметом обсуждения которых стали последние страницы тетрадей. Форумы организуются следующим образом: автор онлайн-дневника сканирует последние страницы своих тетрадей и, сопроводив комментариями, демонстрирует их на сайте. На эту инициативу откликаются другие авторы, сканируя последние страницы своих тетрадей или просто комментируя происходящее.

Объектом метаязыковой рефлексии в приведённых случаях являются следующие характеристики жанра МСТ.

1. Жанровое содержание: *«заветные вензели», «большая прописная буква Д», «логотипы групп», «эмблема Скорпиов и цветочки», «цифры от 40 до 1», «записи типа: Ой артур меня не любит», «Ярикк, ярик ярик», «тексты, не имеющие отношения к уроку».*

2. Композиционные особенности (фрагментарность и ослабленная структурированность текстов): *«странные тексты из кусочков фраз».*

3. Социальная оценка жанра (констатация ценности случайно сохранившихся записей): *«обалденная вещь! :) Небольшая личная машина времени», «долго, с улыбкой на лице, рассматривал фотки и всяческие записи на последних страницах тетрадей», «потрясающие вещи».* МСТ выделяется авторами в качестве ценного объекта, составляющего часть личного мира человека. Такое отношение к данному объекту мотивировано не рациональной, а эмоциональной его оценкой: МСТ обладают ценностью в глазах авторов, прежде всего, как духовная сущность – средоточие эмоционального опыта, с которым связана внутренняя жизнь и переживания автора. С этим соотносится и представление об интимности, закрытости, недоступности записей для других: *«никому их не показывали», «украдкой накарябанное», при внешнем иронично-пренебрежительном отношении: «бред», «мания», «мальчики оказывается такие же идиоты, как и девочки», «накарябанное», «черкалось».*

4. Вписанность в ситуацию, или «ситуативная интервенция» (И. Н. Борисова), которая обусловли-

вает невозможность сохранности, недолговечность МСТ.

Приведённые случаи метажанровой рефлексии позволяют говорить о способности носителей языка распознавать и идентифицировать рассматриваемую разновидность естественной письменной русской речи, что даёт основания ставить вопрос о жанровом статусе этого явления.

Таким образом, выделение МСТ в качестве объекта жанроведческого исследования обусловлено наличием устойчивых представлений об этом явлении в языковом сознании социума.

Поскольку речевой жанр существует только в дискурсивном пространстве и претерпевает в рамках того или иного дискурса определенную трансформацию, нами не ставится задача описания всех возможных речевых реализаций жанра МСТ: этот ряд принципиально открыт. Мы рассмотрим особенности МСТ на примере одной из реализаций жанра – маргинальные страницы тетрадей школьников и студентов. Данный выбор обусловлен тем, что для школьников и студентов письменная деятельность является регулярной.

Жанр МСТ, как и большинство спонтанных речевых жанров, характеризуется большой обусловленностью непосредственным контекстом, поэтому рассмотрим особенности такого контекста.

В коммуникативном пространстве учебного занятия параллельно дидактическому – жёстко регламентированному взаимодействию, существует иной тип общения – личностно-ориентированный. Дидактическое взаимодействие (статусно-ориентированное, связанное с ролевыми характеристиками «преподаватель» – «ученик») представлено устными жанрами – «лекция», «эвристическая беседа», «слово учителя», и письменными жанрами «конспект», «упражнение». Личностно-ориентированное общение (на уровне «ученик» – «ученик») представлено главным образом письменными жанрами (в силу невозможности устной коммуникации): «граффити», «записка», «маргинальные страницы тетрадей» и др. Данные жанры функционально объединяет желание адресанта выключиться из учебного процесса. Это принципиально иной – «свободный», нерегламентированный - вид речевой деятельности.

МСТ являются сопутствующими, маргинальными по отношению к магистральным жанрам в официальной ситуации учебного занятия, они противопоставлены «серьезной» учебной деятельности; возникновение их основано на стремлении отдохнуть, получить психологическую разрядку, этот отдых предполагает снятие некоторых ограничений в поведении, возможность выплеснуть накопившееся напряжение, эмоции. В содержательном плане МСТ обладают признаками личной коммуникации, здесь актуализируются интимные стороны жизни учащегося (любовные переживания, собственный статус), сфера интересов (музыкальные и прочие предпочтения).

То, что для номинации этой разновидности естественной письменной русской речи выбран субстрат («маргинальные страницы тетрадей»), отража-

ет важнейшую методологическую установку: в жанрах естественной письменной речи релевантные жанровые признаки детерминированы субстратом – носителем знака. Недоступность последней страницы тетради, своеобразная «закрытость», обусловила, в частности, такие релевантные жанровые признаки МСТ, как интимность тематики, небрежность записей («как хочу, так и пишу»).

Рассмотрим характеристики, релевантные для жанра МСТ, опираясь на коммуникативно-семиотическую модель описания жанров естественной письменной русской речи, разработанную Н. Б. Лебедевой [3].

Образ автора МСТ. Анализируя определённый речевой жанр, целесообразно говорить не об авторе того или иного высказывания, а об образе, который создает говорящий (пишущий), точнее, с которым он осознанно или неосознанно себя идентифицирует, во-первых, самим фактом выбора жанра, во-вторых, содержанием и оформлением записи. Создаётся некий «образ автора жанра», под который «подгоняются» черты адресанта.

В работе предлагается типология авторов МСТ на основании выявленной в тексте преобладающей эмоционально-смысловой доминанты (понятие «эмоционально-смысловая доминанта» предложено В. П. Беляниным [2] в рамках психолингвистического анализа художественных текстов; принцип данной типологии применительно к жанровому автору разработан Н. И. Тюкаевой [4]). Введём следующие условные обозначения для наиболее распространенных образов автора по указанному параметру.

Образ автора «Влюблённый» реализуется в текстах, содержание которых сводится к выражению чувства влюблённости. Это, как правило, фраза «Я тебя люблю», прописанная особым шрифтом, обведённая рамками или многократно повторённая, или под.: «Я ему сегодня позволю и скажу что соскучилась. Он скажет что тоже полюбому». Такие авторы прописывают имена возлюбленных с использованием шрифтовых, цветовых и других способов выделения: *Денис, Костяшка, Лёлик, Тёмыч*. Прописывание имени может занимать до двух страниц. Этот образ автора близок образу автора жанра «личный дневник» и жанра «граффити», однако функционально эти записи не тождественны.

Образ автора «Страдающий» воплощается в текстах, эмоционально-содержательной доминантой которых является выражение неудовлетворённости ситуацией и ощущения безнадежности, тоски: «тягло!»; «курить НЕТУ» и под. Фиксация своего состояния на бумажном носителе позволяет продуценту таких текстов отчасти высвободить негативную энергию.

Образ автора «Шутник» проявляется в высказываниях, которые содержат шутки, розыгрыши, «стишки» и проч. Главная установка этих авторов – противопоставить официальной учебной ситуации смеховой мир, что является одним из способов разрядки, сброса накопившегося напряжения: «Туру-ту-ту-ту»; «Катюшка подушка»; «Не плюй в колодец: вылетит – не поймает!»; «пьянварь, фиг-

варь, кошмарт, сопрель, сымай, теплюнь, свистябрь, дубабрь»; смешные рожицы с подписями, карикатуры и проч.

Образ автора «Фанат». Авторы таких текстов выражают приверженность определённому движению: обозначая свое кредо в сфере музыки, спорта, кино, в данный момент они эксплицируют часть своих переживаний: «*Пашенька Ландерс 9.12.2004 – 40 лет Папе! Paul Солнышко*»; «*ЦСКА Москва*».

Образ автора «Озлобленный» выявляется из текстов типа «*Оксана дура*»; «*Щука – козёл*»; «*КР лох*» и под. Он зачастую использует обценную лексику, стремясь придать фразе более агрессивное звучание.

Образ автора «Самовлюблённый». Множественные вариации на тему собственного имени: от ласкательных форм до полного имени («по паспорту») сопровождаются его разнообразными украшениями; частотны так называемые «самопоглаживания»: «*Витя хороший мальчик*» (о себе); «*Ириночка золотце*» и пр.

Образ автора «Скучающий бездельник» репрезентирован текстами, в которых всё внимание сосредоточено на формальной стороне, а содержание стремится к нулю: «*Я пишу вот этим вот самым почерком, этим вот прикольным, классным и здоровым*».

А ещё лучше этот почерк, клёвый тоже.

Ну а этот ваще!

Этот почерк самый прикольный.

А этот ещё лучше!

А этим я подписываю бумаги и т. д. (варьируется наклон букв, размер и пр.). Или: «*Витя думает, что Леха думает, что Витя думает, что он ничего не думает*». Это могут быть анаграммы – прописывание фразы в «зеркальном» отражении; тщательное выведение особым шрифтом какого-либо слова. Запомним, что это распространённый способ релаксации и сброса напряжения.

Рассматривая образ адресата МСТ, мы говорим не об адресате как таковом, а о представлении автора об адресате, которое выявляется из текста. Адресат, как и автор, вступает в коммуникацию не как личность, а в некотором аспекте, амплуа, соответствующем аспекту автора.

Поскольку среди прочих функций МСТ коммуникативная функция не является доминирующей, подавляющее большинство высказываний на МСТ (88 % исследуемого материала) – это автоадресатные тексты либо тесты с нулевой адресованностью, 12 % – альтерадресатные.

Мы разграничиваем следующие типы автоадресата:

а) «я» в будущем (мнемонические записи), когда предполагается наличие временной дистанции: «*До 6.06. здать всё!!*»; «*19. вторник 18.30*»; «*Стрел, Козер., Рак, Дев., Вес. ненавид. Водолея, конфл. Тельца*»; «*д/з пересказ стр. 19*»; рецепт приготовления кваса и под.;

б) адресат – «альтер эго», когда не предполагается временной дистанции. Данный тип адресата на МСТ может иметь различные воплощения. Это мо-

жет быть разговор с самим собой или как бы с самим собой: «Химия – надежда есть»; «Зачем? Зачем? Зачем? Учить всякую хрень!!!!...» и под. Говоря как бы с самим собой, адресант может обращаться к косвенному адресату: «Костенька кысочка мой»; «Я тебя люблю» и под. В этом случае мы говорим о виртуальном адресате. Виртуальный адресат – воображаемое лицо, которому якобы обращено высказывание, это своеобразная имитация адресата, некая модель, ментальный конструкт, лицо, не имеющее физического воплощения: «Я хочу к тебе! Слышишь? Где ты? Вернись, милый, прости меня... Я знаю, что виновата, что поступила неправильно. Это моя ошибка»; «Денис Я тебя люблю» и под.

Автоадресованность, как ядерный признак МСТ, определяет своеобразие содержательных, структурных, композиционных, стилистических характеристик жанра.

Рассмотрим особенности стиля МСТ.

Тексты МСТ организуются по принципу беспорядочных ассоциаций, ситуативно вспыхивающих в сознании автора. Например: имена рок-исполнителей, обведённые в рамки-сердца, название рок-группы; обыгрывание графического облика слов «чьяжя жыжжа шышка»; шуточная надпись «тревожное японское ржание» (ср. «тревожное конское ржание»); росписи; несколько рефлекторных рисунков и пр. Таким образом, тексты МСТ конструируются из внезапных одномоментных реплик и отличаются дискретностью построения.

Существование одновременно с официальным событием и нарушение общепринятых норм позволяет трактовать МСТ как своего рода акт карнавального антиповедения. В результате такого поведения вырабатывается и, в частности, речевой стиль.

Важная характеристика МСТ – игровое начало.

Нами были выявлены следующие случаи языковой игры на МСТ.

1. Обыгрывание прецедентных текстов: «Слово – Аргентум, молчание – Аурум»; «Волков бояться – волкофобией страдать»; «Любишь кататься – иди и катайся»; где соединение фрагментов прецедентных текстов создает новый контекст, благодаря чему возникает комический эффект.

2. Соединение разных семиотических кодов: а) обыгрывание написаний латиницей: «Haa-haa!!!»; б) игровое использование значков компьютерной графики – «смайликов» и пр.

3. Использование так называемого «падонкафского» языка, который, функционируя за пределами компьютерной коммуникации, в данном случае берет на себя дополнительную функцию – функцию релаксации: «розкожный»; «вчира выучила».

4. Словотворчество: «фигарс никток жоржик багуси курукс нефари сакуму киксан минему дудина пупику».

Языковая игра демонстрирует переход от несвободы к свободе, избавление от условностей; её основное назначение – создание психологического комфорта, релаксация.

Параметр «Знак» – диктумно-модусное содержание маргинальных страниц тетрадей, имеет две

стороны: содержательную (что?) и формальную (как?).

Подход, предполагающий характеристику МСТ исходя из тематики как таковой (т. е. из некой совокупности возможных тем), представляется непродуктивным, поскольку большая часть МСТ не имеют собственно темы (в узком смысле слова). Во многих записях на МСТ за темой можно увидеть «сверхтему» (по М. М. Бахтину), которая и является существенной в жанровом аспекте. Поэтому целесообразно разграничить собственно темы высказываний, или предмет речи, и тему жанра как некую «сверхтему», как принцип описания предмета речи, угол зрения, под которым подаётся предмет речи.

В результате проведённого анкетирования были получены следующие ответы на вопрос о том, что обычно пишется на последних страницах тетрадей (приводим наиболее типичные): «обычно всякая чушь: игры крестики – нолики, вислицца», «различные глупости, анекдоты, имена любимых людей, нелюбимых людей, в т. ч. учителей», «всякая ерунда (рисунки, записи не относящиеся к урокам, может кто-то стихи)», «всякую фигню. Матерные стишки, некоторые телефоны», «заметки. Прочая ерунда, когда скучно на уроке» и под. Таким образом, было выявлено, что испытуемые воспринимают последние страницы тетради как предназначенные для посторонних записей, не имеющих отношения к базовому содержанию тетради. Типовая тема может быть выражена следующей формулой: речь обо мне и личных переживаниях – в противовес официальному дискурсу.

Модусное содержание знака МСТ – это экспрессивное содержание, которое является облигаторным признаком жанра МСТ. Фактором экспрессии выступает само выполнение посторонних записей в пространстве учебной тетради. Способы исполнения текстов на МСТ также имеют экспрессивную направленность.

Описание особенностей структурирования МСТ позволило выявить такие закономерности развёртывания текста, как особый характер когезии (связности); отсутствие продолжения как линейного процесса. Соотношение составляющих частей данных текстов не регламентировано; каждое текущее приращение происходит на фоне уже имеющегося комплекса и инкорпорируется в этот комплекс, вступая в крайне неопределённые связи с его частями и образуя произведение с особым типом речевой организации. Каждый вновь поступающий элемент такого текста графически обособляется: это может быть развёртывание под определённым углом, обведение рамкой и другие способы визуально отделить, отграничить его от других элементов текста. Причём соположение частей такого высказывания может максимально варьироваться.

Важнейшей особенностью текстов на МСТ является то, что у этих текстов нет продолжения как линейного процесса. Записи создаются со значительной хронологической дистанцией: например, имя нового преподавателя записано на первом уроке, остальные записи делаются спорадически в течение учебного

года. Количество и характер связей между отдельными частями подобных текстов не лимитированы и принципиально не могут быть исчислены.

В отличие от традиционного подхода к тексту как последовательности вербальных (словесных) знаков, коммуникативно-прагматический подход приводит к расширенному толкованию данного понятия: текст трактуется как коммуникативная единица, совмещающая вербальные и невербальные средства. Слово и изображение в письменной коммуникации при таком подходе не противопоставляются, а рассматриваются в их взаимосвязи. Перечислим основные паралингвистические средства, которые определяют графическую организацию текстов на МСТ:

1) расположение на странице (в отличие от базовых записей в тетради, компоненты текстов на МСТ располагаются свободно: они могут создавать как горизонтальный ряд, так и вертикальный, могут располагаться по диагонали, поперёк страницы или «вверх ногами», могут помещаться в углу, сбоку, на середине страницы, причём плотность расположения элементов таких текстов может быть разной);

2) шрифт, подчёркивания и обведения;

3) сочетание различных кодов письменной речи (кириллицы и латиницы), использование элементов компьютерной графики;

4) иконические средства (спонтанно-рефлекторные рисунки, изображения с подписью, рисунки).

Таким образом, формальная сторона знака МСТ характеризуется синкретизмом двух кодов – вербального и невербального.

МСТ представляет собой симбиоз текстов, объединённых субстратом – маргинальные страницы тетрадей.

Согласно результатам проведённого эксперимента (опроса), последняя страница учебной тетради характеризуется испытуемыми как подходящее место для того, чтобы отвлечься, выйти из учебной ситуации, сбросить накопившееся напряжение, как зона неприкосновенности, интимности, как территория свободы, как пространство, где проявляется личностное начало: «на последнюю страницу учителя не заглядывают»; «так надёжнее, учитель не увидит», «их мало кто увидит», «думают, что никто не заметит» и т.п. Таким образом, под одной обложкой оказываются как бы две тетради – учебная и неофициальная.

Функциональные характеристики субстрата МСТ позволяют выявить следующие особенности текстов МСТ, дифференцируемые спецификой субстрата: 1) закрытость субстрата обуславливает интимный характер коммуникации; 2) запрет делать посторонние записи в учебной тетради формирует негативную социальную оценку изучаемого жанра; 3) расположенность на последней странице – как бы «оборотной стороне» учебной тетради – обуславливает и форму, и содержание высказывания, иначе говоря – на другом субстрате те же предметы речи были бы описаны иначе.

Функционально-целевой параметр жанра «маргинальные страницы тетрадей». Проведённый

эксперимент показал, что типичным для МСТ является мотив «скучно на уроке» (41 % испытуемых): «нечем заняться», «из-за безделья», «спасаются от скуки», «скоротать время на скучном уроке», «если ученик не заинтересован – что говорят на уроке» и под. Отсюда следует, что основной мотив, который обуславливает появление МСТ – это побуждение уйти от учебной ситуации, релаксация, отдых. Данному основному мотиву – выключиться из учебной ситуации и сбросить накопившееся напряжение – подчинены цели. Постоянные цели, направляющие коммуникацию, у авторов МСТ отсутствуют, можно говорить лишь о доминировании фатической целеустановки. Различные субжанры, входящие в состав МСТ как комплексного речевого жанра, могут так или иначе терять свою цель и направление и трансформироваться в фатические. Внешне целенаправленная речь часто имеет фатическую подоплеку. Так, например, просьба-напоминание «Арина, принеси мне деньги» сводится на нет благодаря троекратному повтору: «Арина!!! Принеси мне деньги!!!»; затем поперёк страницы: «Арина!!! Ну принеси мне наконец ДЕНЬГИ!!!» и по диагонали: «Арина!!! Ну принеси мне уже наконец ДЕНЬГИ!!!» (все три реплики написаны фломастерами разных цветов). Повторы и цветовые выделения существенно ослабляют императивность данного высказывания, сглаживая императивную цель и добавляя игровой момент.

Важнейшая для МСТ функция – функция ощущения своего отдельного бытия – проявляется в следующих частных функциях:

1) «самопоглаживание»: прописывание собственного имени в различных вариациях;

2) поиграть, улыбнуться: «Не хочу учиться, хочу жениться»; «Пусть число танков равно «икс» ... Нет, мало, лучше «игрек»; рисунок котёнка с подписью «Муся мой» и пр.;

3) пофилософствовать, используя прецедентные тексты: «Мысль – значит существую»; «Есть один мир, в котором моя душа чувствует себя хорошо, как дома это мир твоих задумчивых глаз!»; «*Natura appetit perfectum* Природа стремится к прекрасному» и пр.;

4) функция «аутопсихотерапии»: «Всё хорошо Я спокойна»;

5) зафиксировать в графическом виде своё состояние, чувства, «разрядиться»: «Хочу спать»; «Быстрее бы перемена»; «Я люблю себя» и пр.

Обобщим характеристики, релевантные для жанра МСТ.

Типичный образ автора МСТ школьников представлен следующими характеристиками: эксплицированный, эмоциональный, относящийся безучастно к учебному процессу. Адресат МСТ автоориентирован. Типичные особенности стиля жанра МСТ – дискретное построение текста, карнавализация речевого поведения. Типичный предмет речи – автор и его личные переживания, интересы – в противовес официальному дискурсу. Формальная сторона знака МСТ характеризуется синкретизмом двух семиотических кодов – вербального и невербального. Субстрат (носитель знака) МСТ, во-первых, не предна-

значен для записей подобного рода; во-вторых, это пространство, скрытое от посторонних. Типичная цель – специфическая фатическая интенция, в которой учитывается особый канал коммуникации – автокоммуникация. Цель подчинена основному мотиву – выключиться из учебной ситуации и сбросить накопившееся напряжение.

Таким образом, МСТ – это несанкционированные записи, имеющие попутный характер по отношению к основному содержанию тетради, сделанные на последних страницах тетрадей, обложке – т. е. на закрытом, недоступном субстрате, автоадресованные, созданные с фатической целью, выражающие сиюминутное переживание, состояние автора, характеризующиеся синкретизмом семиотических кодов. Таким образом, нами была подтверждена гипотеза о том, что такая разновидность естественной письменной русской речи, как маргинальные страницы тетрадей является особым речевым жанром.

Литература

1. Бахтин, М. М. Проблема речевых жанров / М. М. Бахтин // Эстетика словесного творчества. – М.: Искусство, 1979. – С. 237 – 280.
2. Белянин, В. П. Психолингвистические аспекты художественного текста / В. П. Белянин. – М.: Изд-во МГУ, 1988. – 120 с.
3. Лебедева, Н. Б. Жанры естественной письменной речи / Н. Б. Лебедева // Антология речевых жанров: повседневная коммуникация. – М.: Лабиринт, 2007. – С. 116 – 124.
4. Тюкаева, Н. И. Студенческое граффити как жанр естественной письменной русской речи / Н. И. Тюкаева: дис. ... канд. филол. наук. – Барнаул, 2005.

Рецензент – Н. Б. Лебедева – д-р филол. наук, профессор, ГОУ ВПО «Кемеровский государственный университет».

УДК 81'271

ЦЕННОСТНЫЙ УРОВЕНЬ КОНЦЕПТОВ «ЖИЗНЬ», «СМЕРТЬ» В РОК-ТЕКСТАХ

Е. В. Кишина, В. А. Спицына

Статья посвящена описанию структуры концептов «жизнь», «смерть» в рок-текстах. Предпринята попытка выделения ценностного уровня данных концептуальных образований. Описываются идеологемы, формирующие ценностные доминанты рок-культуры.

The article deals with the description of concepts "life" and "death" in rock-texts. The value level of the given concepts are pointed out. The author describes the ideologems, forming value dominants of rock-culture.

Ключевые слова: жизнь, смерть, идеологема, метафора, интерпретация, рок-текст, рок-культура.

Интерпретационное поле, в составе которого вычленяется ряд отдельных зон, представляет собой «совокупность когнитивных признаков, так или иначе интерпретирующих образ, информационный минимум и энциклопедическое содержание концепта» [Попова, Стернин, 2007, с. 326].

Интерпретационную зону концептов «жизнь», «смерть» составляют представления, отражающие характер осмысления данных образований в рок-текстах. Ядерными составляющими компонентами интерпретационного поля анализируемых концептов являются образная и ценностная зоны.

Образный компонент формируют когнитивные метафоры, поддерживающие концепт в языковом сознании. Его составляют все наивные представления, закрепленные в языке, внутренние формы слов, устойчивые мыслительные картинки, звуковые образы и т. д.

Ценностный компонент выявляет значимость данного образования в языковой картине мира. Среди всех трёх компонентов он является основополагающим, поскольку именно благодаря ценностной стороне концепта вскрываются наиболее существенные для данной культуры смыслы, ценностные доминанты, совокупность которых образует определённый тип культуры, поддерживаемый и сохраняемый в языке.

Данные уровни взаимосвязаны, так как отражают характер осмысления выделяемых единиц в

рок-культуре. Но, если образный уровень интерпретационной зоны формируют метафорические образования, поддерживающие концепт в языковом сознании, то ценностный уровень формируют смыслы, раскрывающие именно ценностную сторону анализируемых образований.

Ценностный уровень, во многом основанный на образной составляющей, составляет совокупность ценностных доминант, образующих тип рок-культуры. Смысловым наполнением ценностного уровня являются прежде всего идеологические установки, ценностные доминанты, раскрывающие особенности мировоззрения рок-поэтов.

На наш взгляд, ядерными ценностными доминантами рок-культуры, раскрывающими характер восприятия жизни и смерти, являются следующие идеологические установки:

- переосмысление национальной составляющей концептов «жизнь», «смерть»;
- преобладание мотива самоубийства;
- доминирование категорий абсурдности и безумия мира;
- выражение агрессивного отношения к мироустройству в целом;
- восприятие предопределённости жизни и смерти;
- переосмысление христианских догматов восприятия жизни и смерти.

1. Переосмысление национальной составляющей концептов «жизнь», «смерть»

Картина мира рок-поэтов существенно отличается от национального восприятия. Как правило, в рок-текстах жизнь характеризуется знаком минус, смерть – знаком плюс. Жизнь воспринимается как гнетущее явление, а смерть как счастливое освобождение от жизни: *И мне не дожидать до грозы, / Так не лучше ль нож в сердце и грудь на ствол? (Сплин «Гроза»); Хуже казни нет: / Жить слишком долго. / Я ненави - ненави - нави - Ненавижу ждать. / Я смотрю на жизнь / Глазами волка. / Я не буду ду / Я не буду медленно умирать (Агата Кристи "Сирота"); Сквозана страхом, жизнь невозможна, / Пролита кровь людей невинных (Агата Кристи "Эпидемия").*

Мир смерти представлен как мир спасения от времени, мир, который удален от негативных проявлений жизни: *И мы уходим подземным ходом / Туда, где снег и белей и чище, Туда, где время нас не отыщет. («Сплин» «Невский проспект»)* (белый цвет – цвет смерти в рок-текстах).

Данные примеры доказывают, что жизнь для представителей рок-культуры – тягостное бремя, тогда как смерть – освобождение. Жизнь представляется как явление трагическое, в котором невозможно обрести счастье, которое абсурдно и, как правило, наполнено агрессией (атрибуты жизни – *рыться в трупах, кровь*).

Этим обусловлено, на наш взгляд, доминирование в рок-текстах темы самоубийства.

2. Преобладание мотива самоубийства

Данный мотив отражает отношение представителей рок-культуры к жизни и смерти. Ассоциатом самоубийства в рок-текстах часто является окно: *Скоро он снова шагнет из окна, / И все будет конечно («Сплин» «Скоро будет солнечно»). Плохая игра, я все потерял. / Я лишь сохранил свое окно. / Я, может быть, уйду из него. / Все бежит, я не знаю куда. / Я лишь вижу, они бегут от окна («Агата Кристи» «Неживая вода»). Окно ассоциируется с выходом из жизни, освобождением от гнетущего мироустройства.*

Средством достижения самоубийства выступает яд: *Глоток несказанно вкуснейшего яда - / И все... («Сплин» «Сказочный леший»). Данный пример подчёркивает абсурдность восприятия жизни и смерти рок-поэтами: яд наделяется такими перцептивными свойствами, как «приятный на вкус» (вкуснейший яд).*

Самоубийство – это не только добровольный уход, но также результат внутренней борьбы:

*... Уходить за перелески проливным дождем
Оставляя за плечами беспокойный дом
Обрывать последний стебель красного цветка
Забывать о чистом звоне свежего глотка
(Яна Дягилева, 1989)*

Начавшись «стандартным» описанием самоубийства, стихотворение неожиданно заканчивается «красным цветком», что переворачивает всю картину. Гибель при попытке сорвать красный цветок – это гибель в борьбе с мировым злом, реальная гибель в борьбе, хотя такая борьба и велась гаршинским сума-

шедшим. Безрассудная и даже сумасшедшая гибель в борьбе для внешнего наблюдателя всегда выглядит самоубийством, но внутренне это качественно иное и даже не столь уж безрассудное.

3. Доминирование категорий абсурдности и безумия мира

«Жизнь» и «Смерть» в рок-культуре также ассоциируются с абсурдностью. Окаzionaleнная метафоризация рок-текстов чаще всего связана с изображением абсурдности бытия: *Когда подсудимый обманет конвой / И подпишет судье приговор («Сплин» «Война»).*

Нестандартное восприятие жизни и смерти обусловливает и отражение категории безумия в рок-текстах. Безумие, как правило, неразрывно связано с агрессией. Безумие – это своего рода обретение свободы в нарушении запретов и возможность совершать поступки, запрещенные для обычного человека, принадлежащего к «нормативной» культуре.

Безумие тесно связано с карнавальной стихией, в пространстве которой и функционируют рок-тексты, а следовательно, – с игрой: *Мы играем, во что захотим. / Мы упали и летим и летим, / А куда- не знаем до поры, до поры. / Мы слепые по законам игры («Агата Кристи» "Нисхождение").*

Безумие, как правило, проявляется в сочетании с абсурдностью: *«И девочка с пулей во лбу будет звонко смеяться над трупом отца». (Сплин «Война»).*

Сумасшествие часто выступает как выражение безумия: *Давайте все сойдем с ума, сегодня ты, а завтра – я, ... мы будем дико хохотать, мы будем крыльями махать, ... мы сядем в белый пароход и поплывем наоборот (Агата Кристи); Если встретят, ты молчи, что мы гуляли по трамвайным рельсам, это первый признак преступления или шизофрении. нас убьют за то, что мы гуляли по трамвайным рельсам (Я. Дягилева).*

Абсурдность и безумие часто выражаются с помощью лексем агрессии: *Я люблю тебя, и я хочу тебя убить (Сплин «Прирожденный убийца»); Достань гранату и будет праздник ... Что ты кричишь по ночам дельфинам и кирпичам, что ты не знала о том, что есть река над мостом (Сплин «Достань гранату»).*

*Целым был и был разбитым,
Был живым и был убитым,
Чистой был водой, был ядом,
Был зеленым виноградом (Сплин «Приходи»).*

Данный пример подчёркивает, на наш взгляд, стремление рок-авторов объять все сферы бытия, возможность существовать в различных формах.

4. Выражение агрессивного отношения к мироустройству

Рок-культура появилась как способ протеста молодежи против общественных устоев. Обычно протест связан с агрессией. Поэтому, как уже отмечалось выше, концепты «жизнь», «смерть» зачастую репрезентируются ассоциатами, выраженными лексемами агрессии (*война, ненависть, убить, оставать по горло в крови*): *Я знаю, что будет вой-*

на./ Потускнеют умы, разобьются сердца./ И девочка с пулей во лбу/ Будет звонко смеяться над трупом отца./ Собаки сорвутся с цепей/ И оставят хозяев по горло в крови («Сплин» «Война»).

Жизнь в представлении рок-музыкантов – это мир агрессии, поэтому лексема жизнь частотно сочетается с глаголами, выражающими семантику агрессии: «взорвать», «убить», «пристрелить». Целые сочетания, подчеркивающие агрессивность, кровожадность жизни могут встречаться в пределах одного контекста: «собаки сорвутся с цепей и оставят хозяев по горло в крови», «с пулей во лбу», «смеяться над трупом», «не лучше ль нож в сердце», «грудью на ствол», «возьми пистолет», «разобьются сердца» («Сплин» «Война»).

Частотность метафорических моделей, подчеркивающих агрессивное отношение к жизни, доказывает абсурдность мира, которого поглотила бессмысленная жестокость: «И девочка с пулей во лбу будет звонко смеяться над трупом отца» («Сплин» «Война»). Мир наполнен бесконечными войнами, а поэты русского рока часто выступают против войны: «Мама, твой сын – пацифист, это неизлечимо» («Сплин» «Нечего делать внутри»).

Агрессия, приводящая к смерти, часто пересекается с любовью. Жизнь человека, по мнению рок-поэтов, несет в себе две единственно значимые ценности: любовь и протест (война, агрессия, направленная на мир). Любовь, агрессия и смерть часто образуют в рок-текстах нераздельную триаду: Я люблю тебя, и я хочу, я хочу / Я хочу тебя убить («Сплин» «Прирожденный убийца»); Я тебя люблю за то, что я люблю тебя / Я тебя люблю за то, что ты не любишь меня / Я тебя убью, как только я убью тебя/Я тебя убью, как только поменяю коня («Агата Кристи» «Истерика»).

Жизнь и смерть в рок-текстах нередко персонажируются. Как правило, это окказиональные представления. Но данные ассоциаты часто сопровождаются лексемами агрессии: Он вобьет в ваш хобот меченый гвоздь /Он внезапный и пугающий гость – Инспектор По(Агата Кристи «Инспектор По»).

Таким образом, нестандартное осмысление действительности рок-поэтов приводит к тому, что мир представлен как абсурдное явление, наделённое, как правило, атрибутами агрессии: Кто-то разрешил трамвайным рельсам разрезать этот город, трамвай идет разбитый, громяхая через ночь ножом по горлу («Сплин» «Что ты будешь делать?»); Руку подам, я робот-убийца, поставленный на метод поточный (Агата Кристи «Пинкертон»); Стук в дверь, удар в лицо, молчит городской./ Возможно, оттого, что он с пробитой головой (Сплин «Я не хочу домой».)

5. Восприятие предопределённости жизни и смерти

В рок-текстах концепты «жизнь», «смерть» ассоциативно выражаются лексемами предопределения (диктовать, обречены, неизбежность, необратимость и т.д.).

Мотивы безысходности, неизбежности, продиктованности бытия – одна из важнейших черт рок –

текстов: Придуманные люди за окном / Диктуют нам последние страницы («Сплин» «Мария и Хуана»); Я вчера узнал из сводки свежих новостей./ Что я умру непознанным в тени своих детей... (Сплин «Гроза»); И мы обречены./ Мы спешим потерять / То, что нам не забыть./ Нас уже не догнать, Нас уже не убить./Мы умрем во мраке /Мы уже в атаке. (Агата Кристи «Джиги-дзаги»).

Предопределенность человеческого бытия, его предсказуемость ведут счет дням человека, поэтому смерть в рок-текстах часто ассоциируется с оружием: «Любой, имеющий в доме ружье, приравнивается к Курту Кобейну».

В данном отрывке представлено прецедентное для рок-культуры имя – Курт Кобейн. Он был кумиром миллионов, но смерть его трагична. Никто не может избежать драмы смерти, независимо от популярности: «Любой, умеющий читать между строк, обречен иметь в доме ружье». Происходит осознание безысходности, мы видим замкнутый круг. Даже если человек понимает, видит насквозь все мироустройство (умеющий читать между строк книгу жизни), он «обречен иметь в доме ружье», то есть он не избежит драмы своего существования. В своей смерти человек одинок: «В последний момент... тебе никто не поверит». Человек одинок в жизни и в смерти.

Предопределённость жизни и смерти может выражаться целым контекстом, а не только конкретными лексемами: «.Едва – едва проснулся, Е2 – Е4 сделал ход...» («Сплин» «Тебе это снится»). Е2-Е4 – стандартный первый ход в шахматах. Своим построением строка создает иллюзию закономерного движения, но смысл её, на наш взгляд, иной – невозможность совершения какого-либо действия в принципе, безвыходность, что подтверждается дальнейшим текстом: «Там- / Здесь- / Все сойдется, будет ядерная смесь...Да- / Нет- / Ты все узнаешь из газет, / Нет- / Да- / Из газет ты не узнаешь никогда...» («Сплин» «Далеко домой»).

Замыкание противоположных значений, ведущее к потере смысла как такового и начинающееся с обыгрывания общей истины «все состоит из атомов». В качестве примера можно привести и отрывок из текста песни Бориса Гребенщикова «Дело Мастера Бо»: Она открывает окно./Под снегом не видно крыш./Она говорит: "Ты помнишь, ты ду- мал./Что снег состоит из молекул?"

Перечисление общих истин, само по себе приводящее к полному абсурду, весьма свойственно традициям русского рока. Однако абсурд выполняет конкретные художественные задачи. В данном тексте достигается «эффект» потерянности героя, причем как в его мыслях, так и в пространстве (текст называется «Далеко домой»), которое также несет неопределенность. Если все состоит из атомов, то жизнь теряет смысл, рок-поэт не может найти себе место в мире, где раскрыты все тайны мироздания и все предрешиено.

Как уже отмечалось выше, в рок-текстах часто используются прецедентные тексты, высказывания, имена: «любой, имеющий в доме ружье, приравнива-

ется к Курту Кобейну» (Сплин «Пой мне ещё»); «мой друг алкоголь точно знает, чем дышит Есенин. Мой друг алкоголь искупал Брайна Джонса в бассейне» (Сплин «Алкоголь»).

Русскоговорящими слушателями последний отрывок будет воспринят прежде всего как национально-прецедентное высказывание (цитата из стихотворения С. Есенина), но лишь человек, знакомый с историей рок-культуры, увидит в этом фрагменте «второе дно» – социумно-прецедентное имя (Джим Моррисон, лидер группы Doogs, похоронен в Париже на кладбище Пер-Лашез).

На наш взгляд, данные прецедентные имена используются рок-авторами для наиболее полного выражения своего мироощущения. Ведь даже такие известные люди, как С. Есенин, К. Кобейн не могут избежать драмы существования. Они тоже как бы вписываются в картину мира, созданную рок-поэзией.

6. Переосмысление христианских догматов восприятия жизни и смерти

Нестандартность восприятия и ценностного отношения к жизни и смерти проявляется и в выражении данных образований через религиозные образы.

Категория абсурдности, безумия, агрессии по отношению к жизни и смерти сочетается в рок-текстах с выражением христианских догматов. При этом христианские образы чаще всего выступают не в своем догматическом значении, а в трансформированном виде, что подчёркивает нестандартный характер их осмысления: *И мы смотрим в небеса, / Но небо нас не слышит, небо нам не внимлет* («Сплин» «Иди через лес»). Бог в рок-текстах часто предстаёт как существо, далекое от человека.

В целом, в рок-текстах религиозная тема актуальна и распространена. Часто встречается библейская лексика: *«Движение от братства до родства / В преддверьи Христова Рождества; Крестил сероглазый херувим»* («Сплин» «Жертва талого льда»), *«Кто-то с любовью помянет кого - то»* («Сплин» «Небо в алмазах»).

Смещение ценностных доминантных проявляется в сочетании религиозной лексики с бытовыми словами или с лексемами агрессии:

– *«Мой друг смотрел на мир, сквозь черные очки, / он расплескал святую воду из граненого стакана»* – лексема, выражающая бытовую реалию, предмет быта (*граненый стакан*) соединяется с важнейшим явлением христианской жизни *свистой водой*.

– *«Чтобы ближнего убить / Придётся очень много пить»* – лексема «ближний» воспринимается обыденным носителем языка непосредственно в целостной фразе из Нагорной Проповеди Иисуса Христа: *«Возлюби ближнего как самого себя»*. «Возлюбить» и «убить» – это антонимы, то есть картина мира полностью переворачивается. Наблюдаем абсолютное переложение христианской морали.

– *Новый способ молиться – ... и почему нам не напиться* – пьянство выступает как новый способ молитвы.

– *«Знаешь, как убить врага посредством коньяка, налив ему в стакан и выпив двести грамм во славу небесам»* – убийство благословляется новой

«молитвой». Следовательно, *пьянство*, выраженное лексемами и словосочетаниями *двести грамм коньяка, пить, напиться*, и *молитва*, выраженная, в свою очередь, лексемами *душа, белые крыла, Бог, да здравствуй, Бог, молиться, слава небесам*, сочетаются в тексте, образуя смысловое единство.

Обыгрываются и канонические нормы стандартных сочетаний молитв: *«Да здравствуй, Бог»* – выражение благодарности Богу, восхваление Его (по типу *Слава Богу, Слава Тебе, Боже наш, Слава Тебе, Господи*) меняется на простое приветствие в этом тексте: *«Да здравствуй, Бог, это же я пришел. И почему нам не напиться? Я нашел новый способ молиться»*. Появляется как бы два смысла понимания этого сочетания: использование восхваления Бога по стандартному типу христианской молитвы в значении простого приветствия к человеку. Бог выступает как обычный собеседник, а не как Высшее Существо, которому просто выражают похвалу. Бог приветствуется, вписывается в новую картину мира, то есть Бог не является высшим существом, он проявляется в жизни.

В сознании носителей рок-культуры также переосмысляются обряды христианства. *«Боже, храни нас от сил нечистых, – молились люди на коленях»* – создается образ молящихся. Но сразу же возникает оппозиция: *«Безмолвный страх закрался в каждый дом, и только старый сторож пьяный, забыв про все, орал упрямо»*. «Безмолвный страх» – страх Божий, неотъемлемая часть христианского вероучения находится в *каждом доме* (*каждый* – повсеместный, *дом* – место, где живут люди). Сторож, который находится не в доме, не в месте, где царит страх Божий, заменяет *безмолвие* на крик (*орал*), находится он в пьяном состоянии, то есть во время всеобщей молитвы погружается в совершенно противоположное состояние – *пьянство* (*новый способ молиться*).

Полночь близка, и опять где-то рядом / Вампиры вышли на охоту. / И вновь кого-то станут отпевать. / И скорбный хор басов могучих / Споет псалмы, мрачнее тучи / «Эпидемия».

Вампиры вышли на охоту и сразу после этого *кого-то станут отпевать*, следовательно, в данном тексте *силы нечистые*, о которых упоминалось ранее, не могут быть остановлены молитвами, религиозные обряды несут только пассивную помощь (пение псалмов).

Скована страхом, жизнь невозможна. / Пролита кровь людей невинных. / Церковь пуста. Веры нет в Силу Божью. / Зарос бурьяном пышный прежде сад, / И только старый сторож пьяный, / Забыв про все, орет упрямо.

Данный контекст подтверждает отрыв сознания представителей рок-культуры от религии, которая проповедует Страх перед Богом (*скована страхом, жизнь невозможна*) и веру в Его Силу. Жизнь *скована страхом*, то есть она обременена им, этот страх мешает жизни. *Зарос бурьяном прежний сад* – Библейская легенда об Эдемском Саду здесь воплощается в полной мере, ибо люди были выгнаны из него, поэтому он теряет свою прежнюю Райскую красоту и находится в запущении (*зарос бурьяном*). *И только старый сторож пьяный, / Забыв про все,*

орет упрямо – образ сторожа остается прежним, он отрешен от религии вообще, он как бы становится чем-то вечным по сравнению с временной, утраченной своей силой религией.

Связь религиозной лексики с нестандартным восприятием жизни и смерти в рок-культуре очевидна. Это вполне объяснимо, так как такие философские понятия, как Бог, Рай, ад непосредственно связаны со смертью и жизнью. В рок-текстах происходит переосмысление религиозных канонов.

Таким образом, рок-поэзия отражает собственные ценности, которые, как правило, выражают протест обществу. Картина мира резко отличается от обыденного восприятия. Жизнь чаще всего ассоциируется с отрицательными явлениями (*тюрьма*), смерть – с положительными (*полёт*).

Выделенные ценностные доминанты позволяют смоделировать смысловую структуру анализируемых образований в рок-текстах.

Ядерный (базовый) слой концептов

К ядерному слою будут относиться высокочастотные актуальные смыслы, отражающие сущность ментальных образований «жизнь», «смерть» в рок-культуре. Представления концептов в ядерной зоне, как правило, носят нестандартный, нетиповой характер, не пересекающийся с представлениями на уровне национального восприятия.

Точкой же пересечения, объединяющей смысловую сторону концептов «жизнь», «смерть» в национальном представлении и отражении на уровне рок-культуры, является архисема «*существование – прекращение существования*». Этот компонент занимает центральное положение в структуре понятийного уровня концептов *жизнь, смерть* как в рок-текстах, так и в структуре данных концептов на уровне национального представления. В целом же, как уже отмечалось, ядерную группу составляют смысловые компоненты, формирующие образный и ценностный уровни концептов.

Базовыми актуальными смыслами, составляющими ядерный слой концептов, являются следующие образования:

- *жизнь-музыка, смерть – тишина;*
- *жизнь, смерть – агрессивность;*
- *жизнь, смерть – предопределение;*
- *жизнь, смерть – абсурдность.*

Околоядерный слой концептов

Данный слой концептов включает в себя менее частотные представления, чем ядерная зона. Околоядерный слой, так же, как ядерный, формируется как за счёт нестандартных представлений, отражающих нетиповое отношение к жизни и смерти представителями рок-культуры, так и представлений, соотносящихся с национальным восприятием данных концептов:

- *жизнь – игра;*
- *жизнь – дом;*
- *жизнь – любовь;*
- *жизнь – «похмелье», «туман», «сон»;*
- *жизнь – дорога;*
- *смерть – увядание;*

- *жизнь, смерть – время;*
- *смерть – самоубийство;*
- *цветовая модель концептов «Жизнь», «Смерть»;*
- *жизнь – одиночество;*
- *жизнь – гроза;*
- *смерть – великая тайна, истина, творчество;*
- *смерть – окно.*

Периферийный слой концептов «Жизнь», «Смерть»

Периферийный слой концептов «жизнь», «смерть» составляют те актуальные смыслы, которые носят низкочастотный характер на уровне употребления в рок-текстах:

- *жизнь – время года;*
- *жизнь – цирк;*
- *смерть – серп;*
- *смерть – человек;*
- *смерть – возвращение;*
- *смерть – движение;*
- *смерть – самостоятельная жизнь.*

Описанные репрезентанты «жизни» и «смерти» не ограничиваются только приведёнными в работе примерами. В рок-текстах можно встретить многочисленные представления данных концептов, носящие единичный, неповторяющийся характер. Всё это свидетельствует о том, что выделенные концепты «жизнь», «смерть» относятся к группе ядерных концептуальных образований как рок-текстов, так и рок-культуры в целом.

Данные лингвокультурологические концепты находят своеобразное преломление в языке рок-культуры, что подтверждается наличием в анализируемых текстах как общеязыковых, узусальных метафор (*Жизнь – Любовь, книга, дом, сон, стихия, сердце, Смерть – увядание, Великая Тайна, Истина*), так и окказиональных текстовых метафорических образований.

Ядерным в рок-текстах является нетиповое, нестандартное представление образов жизни и смерти (*Жизнь – музыка, похмелье, туман, сон, зима, метель, одиночество; Смерть – оружие, серп, агрессия, полет, тишина*). Различие доминантных метафорических моделей мотивирует полярность аксиологических характеристик. «Жизнь» и «Смерть» в рок-культуре имеют диаметрально противоположные оценочные характеристики: Жизнь приобретает отрицательную оценочность, Смерть – положительную.

Литература

1. Попова, З. Д. Моделирование содержания концепта (когнитивная интерпретация результатов лингвистических исследований) / З. Д. Попова, И. А. Стернин // Проблемы представления (репрезентации) в языке. Типы и форматы знаний: сб. научных трудов. – М., 2007. – С. 322 – 330.

Рецензент – Н. Б. Лебедева – д-р филол. наук, профессор, ГОУ ВПО «Кемеровский государственный университет».

ФИЛОСОФИЯ

УДК 13=161.1(7/8)

**ФИЛОСОФЫ В ЧЕТЫРЕХ ВОЛНАХ РУССКОЙ ЭМИГРАЦИИ В АМЕРИКЕ:
ТРАЕКТОРИИ ЖИЗНЕННЫХ СУДЕБ****В. И. Красиков**

Статья представляет собой экспозицию философской составляющей 4 основных волн эмиграции из России в Америку в XX веке. "Философами" позиционируются интеллектуалы, которым принадлежат работы обобщающего характера, посвященные раздумьям о судьбах человека и общества, России и Америки. Выявляются особенности и факторы всех четырех волн русской эмиграции, прослеживаются судьбы ее наиболее репрезентативных представителей.

The article is devoted to a general review of Russian intellectuals who wrote about peculiarities of American and Russian mentality, about perspectives of global social development and about issues of cultural wealth. The author dwelt on the most important thinkers of four waves of Russian emigration in America. The contributor defines main specific traits of every wave and exemplifies its typical representatives.

Ключевые слова: волны эмиграции, русские философы, основные темы творчества, особенности адаптации в американском обществе, отношение к России

Статья подготовлена при финансовой поддержке и в рамках выполнения научно-исследовательского проекта РГНФ № 09-03-00189-а/Р

Эмигранты, как известно, создали Америку. Непрерывные волны эмиграции, начиная с момента ее открытия, наполняли людскими потоками ее необъятные просторы. Однако XX век намного превзошел все предшествующее: череда революций, две мировые войны и тоталитарные режимы привели европейский континент в состояние, похожее на интенсивно кипящий котел, окутанный густыми клубами пара – людей, покидавших родное пекло в поисках лучшей доли.

Особая участь выпала в XX в. России, испытавшей три революции, четыре войны (Русско-японскую, Первую и Вторую мировые, Гражданскую), перманентные большевистские репрессии. Тысячи и тысячи русских людей обрели свою новую родину в США, адаптировались и стали американцами. Были, однако, среди них и те, кто продолжали чувствовать себя и в Америке эмигрантами русской интеллектуальной культуры. Они оказались способными с «дистанции отстраненности» дать: и критический образ Америки, и критический образ России, произвести глубокие сопоставления этих образов – в устремленности к общечеловечности. Это были русские интеллектуалы, мыслители, философы. Разумеется, мы употребляем термин «философы» в широком смысле этого слова – для обозначения людей, занимающихся фундаментальными мировоззренческо-нравственными вопросами. Отчасти здесь присутствовали и чисто профессиональные философы, каковых было не так и много, в большей же степени это – представители гуманитарной интеллигенции, отметившиеся работами обобщающего порядка, размышлениями о человеке и обществе, судьбах России и Америки – социологи, психологи, богословы, писатели.

Первая волна эмиграции была вызвана революцией 1917 года и гражданской войной. Около 4

миллионов людей покинули Родину в двадцатые-тридцатые годы XX века. Большинство из них осели в Европе, однако некоторые оказались и в Америке. Для эмигрантов первой волны, переживших наибольший по времени адаптационный период, характерны как наибольшая инкорпорированность в американские реалии, так и наибольшие успехи в профессиональной самореализации.

Рапопорт (Rapoport) Анатолий (Анатолий Борисович) (р. 1911, Лозовая, Россия) – философ, представитель операционализма, биолог, психолог. В Америку привезен родителями в 11 лет, однако, как вспоминает он сам, первые четыре года читал исключительно русскую литературу [1]. Был даже членом Коммунистической партии Америки, правда, три года (с 1938) – это к вопросу о левизне многих американских интеллектуалов. В 1941 г. окончил Чикагский университет. С 1955 г. – профессор математической биологии Института психиатрии Мичиганского университета. Виднейший представитель операционализма, придавший ему реалистическую интерпретацию – взаимоотношений между языком, мышлением и действием. Был среди основателей (1955) и президентом (1965) Международного общества по исследованию проблем общей семантики. Один из ведущих редакторов журналов ETC и Behavior Science. В последние годы перед Emeritus Professor (аналог нашей почетной пенсии) – профессор в университете Торонто (Канада). Разработал общую теорию систем, которую он трактовал не как теорию в узком смысле, а как общий взгляд на мир или методологию. Автор великолепной междисциплинарной работы о насилии, в которой одним из первых стал применять теорию игр для психологического анализа, широко использовать математические модели для исследования проблем войны, мира и безопасности. В 1962 году был в СССР в Институте философии АН, где установил партнерские связи с отечественными философами (В. Лекторский).

Сорокин Питирим Александрович (1889 – 1968) – социальный философ, социолог и культуролог. Представляет собой, вероятно, самый яркий пример не просто успешной, но, вероятно, и максимально возможной профессиональной самореализации человека, переехавшего в Америку уже в зрелом возрасте (в 1923 ему было 34 года).

В 1924 – 1930 гг. он, будучи профессором социологии Миннесотского университета, за шесть лет публикует шесть книг, ставших классикой социологии. Это отмечают в Гарварде и приглашают его «под открытие» социологического факультета, в котором около двадцати лет (1930 – 1959) он был профессором, организатором и первым деканом социологического факультета (1931 – 1942) – до «захвата власти» на факультете молодыми профессорами во главе с Т. Парсонсом. И там его продуктивность также просто феерична, а книги переводятся на десятки языков. Последний впечатляющий аккорд его карьеры – открытие на деньги, лично Сорокину поверившему, магната фармацевтической корпорации (125 тыс. долларов – очень приличная сумма по тем временам), Гарвардского исследовательского центра по созидательному альтруизму, директором которого он был в течение десяти лет (1949 – 1959). Итогом были книги, впервые примененные социологические и статистические методы в анализе таких явлений, на первый взгляд столь трудно поддающихся исчислениям и замерам, как бескорыстная любовь и альтруизм [2, с. 215 – 237].

Гребенщиков Георгий Дмитриевич (1882 – 1964) – писатель и культуролог, наш земляк (Томск, Барнаул). Им написаны более 100 романов, повестей и рассказов, среди них – эпопея «Чураевы». В 1924 г. переехал в США, где в штате Коннектикут создал культурный центр Чураевка [3] («жерцацкая заимка в Америке» (из письма к брату)), центр пропаганды русской культуры для многих деятелей эмиграции. Писатель указывал на разобщенность, духовную «тяжеловесность» русской колонии, отмечал, что, по мере улучшения материального благосостояния, эмигранты постепенно отходят от родной русской культуры, «русскости», вообще, ставил задачу сохранения и объединения «Американской Руси» как уникального культурного феномена.

Гребенщиков создал оригинальную культурологическую концепцию, включавшую в себя положения о кризисе культуры, о необходимости духовно-практического преобразования мира, о роли России в космо-эволюционном развитии, об общине как принципе будущей культуры. В 30-е Гребенщиков – один из духовных лидеров русской эмиграции в Америке и ведет переписку с А. Куприным, И. Буниным, Н. Рубакиным, представителями династии Романовых. Много внимания он уделял пропаганде русской культуры, говоря о ее вкладе в духовную культуру Запада. В конце 30-х переселился во Флориду, где в Лейкленде преподавал русскую литературу в тамошнем университете [4].

Розенбаум Алиса Зиновьевна (1905 – 1982) – философ и писатель. Бывшая студентка Н. Лосского, с 1926 в Соединенных Штатах, получившая за океа-

ном новое имя – Айн Рэнд. Рэнд сошла на берег в Нью-Йорке, совершенно не говоря по-английски, вооруженная лишь печатной машинкой и немногими личными вещами, которые ее мать купила, продав фамильные драгоценности. Самая изобретательная русская иммигрантка выбрала себе имя Айн и проявила свои творческие способности, приняв в качестве фамилии название марки своей печатной машинки «Ремингтон Рэнд» (Remington Rand, Inc.).

Рэнд написала художественно-философские романы «Мы – живые» (1936), «Гимн» (1938), «Источник» (1943), «Атлант расправил плечи» (1957), «Для нового интеллектуала» (1961), «Добродетель эгоизма» (1964), «Философия: кому она необходима?» (1982). Эти семь книг были проданы в количестве тридцати миллионов экземпляров в течение последних сорока лет. Институт Натаниэла Брэндена в Нью-Йорке стал центром ее «объективистской философии». В 60 – 70-х Рэнд посетила множество университетов, включая Гарвардский, Йельский и Колумбийский, в качестве лектора, пропагандируя свою философию.

Приехав в Америку как в страну обетованную индивидуалистов и прагматистов, она попала в реалии, далекие от идеалов ее отцов-основателей. Интеллектуалы – так те вообще были поражены левизной и любовью к коммунизму. Парадоксально, но беженка из страны Советов, цитадели коллективизма, смогла стать новой мессией для потомков нонконформистов и диссидентов, расцветив индивидуализм, капитализм и утилитаризм новыми красками художественного и философского слова.

Рэнд – философский трибун капиталистической системы, и ее значение для капитализма сравнивают со значением для коммунизма Карла Маркса. Защита демократии как политического принципа и тотального, нерегулируемого, свободного рынка как основополагающего экономического принципа капитализма – лейтмотив и пафос основных ее произведений. Бежав из Советской России, разорившей ее отца, она считала коммунизм не только своим личным, но и смертельным врагом для любой творческой личности. Капитализм же – не только самая продуктивная и практическая система, но также и самая нравственная, потому что она не отнимает у человека плодов его труда. Айн Рэнд – единственная среди философов и экономистов, создала некую теорию нравственного одобрения капитализма, проповедуя, что мир живет по законам племени, которые неизбежно превратили бы человека в посредственное животное, ведомое альтруизмом и гедонизмом, если бы не капитализм.

Ее «философия объективизма» базируется на сверхрационализме и предельном утилитаризме как принципах организации: и жизни, и философии. В понимании природы человека Айн Рэнд напоминает великих эгоистов эпохи Возрождения (Пико делла Мирандола, «Речь о достоинстве человека»): «Каждый человек волен подняться настолько высоко, насколько позволяют ему его желания и способности; но только его собственное представление о пределах своего развития определяет эти пределы». Причем

«каждый» – это, прежде всего, мужчина-рационалист (она была убежденной антифеминисткой только потому, что считала себя по природе мужчиной, ее кумиром была Екатерина Великая). Отсюда ее концепция мужчины как героического существа, нравственная цель жизни которого – его собственное счастье, многочисленные материальные и духовные плоды – результат энтузиазма его деятельности, а разум – его единственное божество. Преклонение перед образом жизни и философией этой женщины было продемонстрировано на церемонии ее похорон в 1982 году в Нью-Йорке, где одними только цветами было выложено гигантское изображение знака доллара, в качестве символа обожествления ею капиталистического образа жизни [5].

Вторая волна эмиграции (конец тридцатых – пятидесятые годы XX в.) связана с людскими потоками, вызванными в жизнь Второй мировой войны: бежали сначала от преследований нацистов, потом от преследований коммунистов. Причем для многих это была уже «вторичная» эмиграция – наши русские уезжали из европейских стран, где они прежде нашли приют после выдворения из Советской России, ввергнутых в послевоенную разруху и лишения. Америка стала *последним пристанищем* для переживших потрясения Второй мировой войны и уже немолодых русских религиозных мыслителей.

Лосский Николай Онуфриевич (1870 – 1965) – один из классиков русской философии начала XX в. Хотя формально он представитель первой волны русской эмиграции, высланный из России в 1922 г., однако для Америки он эмигрант второй волны, поскольку переехал на пмж в 1946 г. (гражданин США с 1951 года). В 1947 – 1950 гг. – профессор Св.-Владимирской духовной академии. Увы, но все великое уже создано ранее. Будучи уже в преклонном возрасте (за восемьдесят) он отходит от активной преподавательской и научной деятельности, сопровождая везде, вернее, находясь под опекой своего младшего сына Андрея Лосского [6].

Спекторский Евгений Васильевич (1873 – 1951) – социальный философ, правовед, профессор Русской православной академии в Нью-Йорке с 1947, в возрасте 64 лет [7] Америка для него, как и для Лосского, – последнее пристанище. Он стал основателем и первым председателем Русской академической группы в США. Из готовых к печати рукописей, оставшихся после смерти Спекторского, Н. П. Полторацкий упоминает «Церковное право», «Опыт христианской этики и социологии», «Религиозные мотивы в русской литературе», «Три типа реальности», «Проблема будущего и христианство» [8]. Его научные интересы в основном концентрировались вокруг трех кардинальных тем: механизмов общественной жизни, веры и религии, духовной и социальной культуры. По каждой из этих тем он создал значительные труды.

Федотов Георгий Петрович (1886 – 1951) – религиозный мыслитель, философ культуры, историк и публицист. В 1941, будучи в 55-летнем возрасте, прибыл в Нью-Йорк, где до конца жизни преподавал в Свято-Владимирской православной семинарии.

Публиковал статьи в религиозно-эмигрантских изданиях: «Новом журнале», «За свободу»; читал публичные лекции при «Обществе друзей Богословского института в Париже». В последние годы работал над большим трудом по истории русской духовной культуры (доведенном до XV в.), где он выявляет ее глубокое своеобразие. Архив Федотова хранится в Бахметьевском архиве Колумбийского ун-та в США [9].

Флоровский Георгий Васильевич (1893 – 1979) – религиозный мыслитель, богослов и историк. Переехал в США в 1948, так же, как и Федотов, в 55-летнем возрасте. В 1948 – 1955 – профессор (с 1951 – декан) Свято-Владимирской православной семинарии в Нью-Йорке. С 1956 – профессор в Гарвардском университете, где преподает историю Восточной церкви, литургику, патристику и христианскую духовность на богословском факультете, на отделении славистики, на гуманитарном и естественнонаучном факультетах. Единственным профессором на богословском факультете был до того лишь знаменитый Пауль Тиллих.

Участвовал в экуменическом движении, избирался в Исполнительный комитет Всемирного совета церквей (1948), причем выступал с докладами не только на официальных экуменических собраниях: для проповеди в местных приходах его приглашают и католики, и англикане, конгрегационисты и методисты. Один из учредителей Всемирного совета церквей. В 1964 году, в возрасте 71 года, он переезжает с супругой в Принстон и преподает там еще в течение 8 лет как приглашенный профессор на факультетах религии и славяноведения.

Флоровский был привержен идее «неопатристического синтеза» – возвращения к учению Отцов Церкви. Такой путь, по его убеждению, предполагает восприятие и «синтез» метафизического содержания патристики с учетом современного философского опыта (Вперед – к Отцам). Самая известная книга Флоровского – «Пути русского богословия» (1937), где рассматривается история русской религиозно-философской мысли [10].

Андреевский Иван Михайлович (1894 – 1976) – филолог, философ, врач-психиатр, историк церкви. В США с 1950 (56 лет). До 1971 г. преподавал в качестве профессора нравственного богословия и русской литературы в Свято-Троицкой духовной семинарии в Джорданвилле – духовно-учебном заведении Русской православной церкви за границей. Автор ряда статей по церковной истории и работ по психологии, философии, апологетике и русской литературе. Его труды о Катакомбной церкви являются одним из немногих источников по её истории, написанных участником событий. С 1974 г. имел очень натянутые отношения с руководством РПЦЗ, запретившими ему обнародование важных документов Катакомбной церкви [11].

Шпаковский Анатолий Игнатьевич (1895 – 1988) – доктор философии, профессор, культуролог и социолог. Переселился в США в 1951 г. (56 лет). С 1957 г. – профессор социологии Джексонвиллского колледжа в штате Алабама. Среди работ, опубликованных на русском языке: «Разрешение судьбы че-

ловеческой» (Новый Сад, 1934); «Философские мелочи» (Новый Сад, 1935); «Человеческое «Я» и культура. Аналитическая структура человеческого сознания» (Новый Сад, 1936). Основные труды, как следует из датировок, написаны еще в Европе.

Основная темы его философии – личность как творец культуры. Он различает тип человека периферии жизни (человек от мира сего), с утилитарным началом, и тип человека глубин жизни (человек не от мира сего), творящего культуру как высший лик жизни. Первый тип в лучшем случае закрепляет культуру, но большей частью живет духовным и моральным паразитом. В эпоху кризиса культуры начинает воскресать интерес к религиозному преображению человека: «Человек нашего времени устал от бега своего духа в мир внешний, феноменальный и ищет в себе самом преодоление своего бессилия перед миром и его динамикой» [12].

Третья волна эмиграции. Ее часто называют диссидентско-еврейской. После известных антисемитских кампаний Сталина, еврейская гуманитарная интеллигенция, долгое время бывшая одним из оплотов большевистского режима, совершила радикальный поворот к борьбе с ним в форме борьбы за права человека, правозащитного движения. Особенно много было в этой волне (60 – 80 гг. XX в.) журналистов, филологов, поэтов и писателей (Василий Аксенов, Дмитрий Бобышев, Иосиф Бродский, Вадим Крейд, Александр Генис, Сергей Довлатов, Эммануил Штейн, Ирина Машинская, Андрей Грицман, Марк Поповский, Людмила Штерн, Белла Езерская, Анатолий Либерман, Филипп Берман, Максим Шраер и др. менее известные). Еще одним мотивом эмиграции была проблема профессиональной самореализации: консерватизм советского режима, эпохи начала «заморозков» после «оттепели» и последовавшим за ними «застоем» особенно сильно проявлялся в сферах художественной и общественной мысли. Многие уезжают, чтобы опробовать свои новые идеи и подходы.

Ровнер Аркадий Борисович (р. 1940) – философ, мистик, поэт. Окончил философский факультет МГУ (1959 – 1965), затем, в 1973, эмигрировал в США. В 70 – 80-х гг. учился в докторантуре Колумбийского университета в Нью-Йорке, преподавал в Нью-Йоркском университете и в Новой школе социальных исследований. Преподавал курсы по патристике, восточным религиям и современному мистицизму в университетах Вашингтона, Нью-Йорка и Москвы.

Аркадий Ровнер – автор более дюжины книг прозы, поэзии, философской эссеистики. Составитель энциклопедий: «Мистики XX века», «Энциклопедия символов, знаков и эмблем» «Что такое просветление?», редактор серии раннехристианской литературы «Учители неразделенной церкви». В 70 – 90 гг. создал в Нью-Йорке издательство «Gnosis Press», издавал религиозно-философский и литературный журнал «Gnosis» [13].

Зильберман Давид Бенъяминович (1938 – 1977) – философ. В 1968 году познакомился с Г. П. Щедровицким и по его рекомендации принят в аспиранту-

ру Института конкретных социальных исследований АН СССР (научный руководитель – Ю. А. Левада). В аспирантские годы (до 1972) участвовал в семинарах Московского методологического кружка и в социологическом семинаре Левады, переводил литературу по индуизму, публиковал статьи на ту же тему. Диссертацию о типологии культур по окончании аспирантуры защитить не удалось. В связи с публикацией за рубежом статьи о каббале (1972) попал под особое наблюдение КГБ. После окончания аспирантуры был вынужден вернуться из Москвы в Одессу, не мог найти постоянную работу. В ноябре 1973 эмигрировал в США.

С 1973 жил в США, читал лекции по философии и антропологии в Нью-Йоркском университете, преподавал индийскую философию в университете Чикаго, последние два года жизни был профессором философии Брандайзского университета. Автор трудов по индийской философии, философии каббалы, современной социальной антропологии, философской эпистемологии, типологии культур по их отношению к традиции. Лишь малая их часть опубликована на английском и русском языках. Архив Зильбермана находится в Центре философии и истории науки Бостонского университета. Погиб в дорожной аварии 25 июля 1977 [14].

Зильберман предпринял попытку создания «философологии», универсального философского синтеза. Основные сочинения: «Православная этика и материя коммунизма» (1977), «Генезис значения в философиях индуизма» (1988), «Приближающие рассуждения между тремя лицами о модальной методологии и сумме метафизик» и мн. др. [15].

Шалин Дмитрий Николаевич (р. 1947) – социолог, эмигрировал в 1975 году. Имеет аналитические работы по истории русской социологии второй половины XX в. [16]. В начале 90 гг. становится участником проекта Центра демократической культуры Университета Невада (Лас-Вегас), а затем и его директором. Здесь можно отметить некоторое созвучие с Птиримом Сорокиным, с его Центром альтруизма. В сфере интересов Дмитрия Николаевича вопросы о связи прагматизма и демократии, проблемы социальной теории. Им был проведен цикл конференций по особенностям советской и российской культуры.

Солженицын Александр Исаевич (1918 – 2008) – писатель, историк, философ. С 1976 эмигрирует в США, где пребывал недалеко от города Кавендиш, штат Вермонт около 20 лет, причем предоставления американского гражданства он не просил. С представителями прессы и общественности общался редко, из-за чего прослыл «вермонтским затворником». Критиковал как советские порядки, так и американскую действительность. В 1994 году вернулся в Россию.

Область философских интересов: философия истории, проблемы человеческого существования, эстетика. Он – продолжатель «почвеннического» направления в русской философии (Ф. М. Достоевский, И. А. Ильин и др.). В согласии с традициями православной мысли Солженицын видит мир в его

определяемости Богом и верит в предначертанность жизненного пути человека. Пережив тяжелейшие испытания, приходит к выводу: «Вся возвращенная мне жизнь с тех пор – не моя в полном смысле, она имеет вложенную цель». Универсальная, духовная основа мира предполагает, по Солженицыну, существование единой и единственной Истины. Множественность и разнообразие усилий в постижении Истины не означают множественности самой Истины. Идея плюрализма в отношении истины – опасное, ведущее к распаду духовности явление, «энтропия мысли», угрожающе расширяющаяся как в западной, так и в русской культуре. Философско-художественное осмысление современности приводит его к выводу о том, что вторая половина XX столетия становится переломным периодом исторического развития. Утверждавшийся в течение нескольких веков приоритет рационализма и технократизма, материальных благ обусловил духовную дисгармонию общества. Главный же смысл прогресса – в нравственности, в следовании добру, а нравственное возрождение требует следования сверхличным ценностям и возвращения у человека сознания Целого и Высшего над ним, способности смирения. Это возможно на основе самовоспитания, духовного совершенствования и самоограничения как свободного выбора человечеством иного, по сравнению с нынешним, пути. [17]

Ефимов Игорь Маркович (р. 1937) – писатель и философ. В США с 1978, живет в Энглвуде, штат Нью-Джерси. Основатель и директор издательства «Эрмитаж» (с 1980). В 1978 году под псевдонимом Андрей Московит вышла его работа «Метаполитика (философия истории)», а после эмиграции, уже в США, вышли книги «Без буржуев» (о советской экономике), «Практическая метафизика», «Бремя добра» (о русской литературе). Также он автор «Как одна ночь», «Архивы Страшного суда», «Седьмая жена», «Не мир, но меч» («Пелагий Британец»), сборников афоризмов «Светляки» и «Четыре горы», историко-документального исследования «Кеннеди, Освальд, Кастро, Хрущев» и философско-политической работы «Стыдная тайна неравенства» [18].

Шляпентох Владимир Эммануилович (р. 1927) – социолог. С 1979 г. в Америке. Стал доктором наук и профессором еще в СССР. Профессор социологии Мичиганского университета. Также пример успешной карьеры. Он – консультант правительства Соединенных Штатов, регулярно докладывает относительно социальных процессов, идеологии и общественного мнения в России и других бывших Советских Республиках [19].

Лефевр Владимир Александрович (р. 1936) – философ и психолог. С 1974 г. в Америке. Работает в Калифорнийском университете в г. Ирвайн. Автор оригинальной концепции рефлексии, которую он представил в виде многоуровневой системы, впервые предложивший ее логически формализовать. Весьма интересна его экстраполяция о космической роли рефлексивных структур, неизбежности их возникновения в масштабах, превосходящих человека [20] – нечто напоминающее Тейяра де Шардена с

его идей о рефлексии как высшей, также вполне онтологической фазе развития психознергетики вселенной [21]. Основные работы: «Конфликтующие структуры», «Космический субъект», «Психографика», «Элементы логики рефлексивных игр» – представлены на русском языке в книге: Лефевр, В. А. Рефлексия. – М.: Когито-Центр, 2003. – 496 с.

Четвертая волна эмиграции

Эмигранты первых трех волн эмиграции в Америку уезжали, в большинстве случаев, не по доброй воле: их «выдавливали» политические, мировоззренческие или же профессиональные обстоятельства. Эмигранты четвертой волны – скорее «челноки», по выражению М. Эпштейна, соединяющие, «сшивающие» две культуры. Проще же говоря, они – в силу своей неординарности интеллектуального и коммуникационного планов, повышенной жизненной энергетике – способны извлекать преимущества жизни и в Америке, и в России, куда они постоянно возвращаются и где, собственно, они и имеют свою благодарную аудиторию, реализуют свой креативный потенциал.

Родос Валерий Борисович (р. 1940) – философ, логик, писатель. Дважды судим за антисоветскую агитацию и пропаганду в 1957 и 1959 гг. В январе 1961 г. вышел из заключения. В 1970 г. закончил философский факультет Московского государственного университета, а в 1973 году защитил кандидатскую диссертацию. С 1973 г. преподавал логику в Томском государственном университете вплоть до эмиграции в 1989 г. Живет в г. Провиденс, штат Род-Айленд. Внес значительный вклад в теорию полемики. Выработал собственный уникальный стиль преподавания логики, сочетавший расширенное изложение материала с сократической иронией и элементами артистизма. Философские работы Родоса решали задачу снятия любых целостных и законченных форм описания для того, чтобы раскрыть удивительное и необычное в повседневном восприятии. К этому он стремится и в своих художественных произведениях, в которых обыденность выражается сюрреалистически, а страшная действительность – иронически [22].

Эпштейн Михаил Наумович (р. 1950) – философ, культуролог, литературовед, эссеист. С 1990 г. профессор университета Эмори. Автор 17 книг и более 400 статей и эссе, переведенных на 14 иностранных языков.

В философии разрабатывает новые принципы мышления, основанные на модальности возможного и вводящие в третью, посткритическую эпоху философии (первая – докритическая, докантовская; вторая, критическая, началась с кантовского переворота и заканчивается теорией деконструкции). Также занимается изучением сменяющихся модальностей в истории мысли и культуры. Вместо «бритвы Оккама» и императива «осуществи свои возможности» – выдвигаются принципы «умножения сущностей (универсалий) по мере возможности» и «потенциация действительности» [23].

Дерлугьян Георгий Матвеевич (р. 1961) – социолог и историк. С августа 1990 г. работал у Имма-

нуила Валлерстайна в Центре имени Фернана Броделя по изучению экономик, исторических систем и цивилизаций в университете штата Нью-Йорк в Бинхемтоне. В настоящее время преподает макроисторическую социологию в Северо-Западном университете г. Чикаго.

Основные темы исследований последних лет: реинтерпретация траектории СССР в перспективе миросистемного анализа, постсоветские войны на Кавказе, глобальная капиталистическая трансформация наших дней. Является заместителем директора Центра международных и сравнительных исследований Северо-Западного университета (Чикаго, США) [24].

Докторов Борис Зусманович (р. 1941) – социолог. В Америке с 1994 г., когда ему уже было 53 года, Главная причина – эмиграции переезд к сыну. Удивительная судьба: в России он был доктором наук, профессором, одним из отцов-основателей социологии. Однако, переехав не по академической линии (приглашение на работу от какого-либо университета), а как частное лицо, он оказался никому не нужным. «Наше прошлое никого не интересует в Америке, все надо начинать с нуля» [25]. И профессор вновь стал студентом. Три года учился в колледже, затем проработал три года в качестве сертифицированного секьюрити, т. е. простого охранника. Хотел даже поменять профессию: «Мы узнали все прелести начала эмигрантской жизни: полное непонимание окружающего мира, безденежье, фудстемпы (квизиденьги для покупки продуктов), отсутствие работы и ее поиски. В какой-то момент я работал там, где белого физически и психически здорового американца практически не увидишь» [26]. Лишь спустя 6 лет он смог вернуться в профессию, благодаря помощи того же Шляпентоха. Последние монографии: *Отцы-основатели. История изучения общественного мнения.* – М.: Центр социального прогнозирования, 2006; *Первопроходцы мира мнений: от Гэллала до Грушина.* – М.: Институт Фонда «Общественное мнение», 2005; *Докторов Б. З., Ослон А. А., Петренко Е. С. Эпоха Ельцина: мнения россиян. Социологические очерки.* – М.: Институт Фонда «Общественное мнение», 2002.

Аист Татьяна (р. 1956) – поэт, прозаик, переводчик, профессор китайской философии и религии. В США с 1989 г. Живет в Калифорнии, преподает в Пасифик-университете. Книги: «Китайская грамота» на русском, английском и китайском языках, 1996. Циклы стихотворений «Япония под снегом» (на русск., англ. и япон. языках), «Стихи о безвременье», «Китайские мелодии». Более ста научных работ в области философии и религии [27].

Сергеев Михаил (р. 1960) – философ, приехавший на аспирантскую учебу в США в 1990 году и, став магистром искусств по религиоведению (1993 г.), а затем и доктором философии (1997 г.), начал преподавать в ряде университетов Нью-Джерси и Пенсильвании. С отличием защитил докторскую диссертацию «Религиозно-философская концепция Софии: ее генеалогия и эволюция в русской мысли

XIX и XX столетий». Он – автор около пяти десятков содержательных философских статей на русском и английском языках, сборников стихов «Смех сквозь стоны» и пьес «Железный занавес», «Проект просвещения» (2004) [28].

Быкова Марина Федоровна – философ. С 2000 года живет постоянно в Америке, до того были научные стажировки. Доктор философии, профессор кафедры философии и религии колледжа гуманитарных и социальных наук университета штата Северная Каролина [29]. Автор трех книг и более 80 научных статей и переводов по немецкой классической философии и континентальной традиции, издатель «Феноменологии духа» Гегеля в серии «Памятники философской мысли». С января 2008 – издатель американского журнала «Русские исследования в философии».

Итак, четыре волны эмиграции, четыре поколения мыслителей – однако и сто лет назад, и сейчас лучшие сыны и дочери России едут за океан не от хорошей жизни, а, скорее, от нашей извечной неустроенности.

Литература

1. Раппопорт, А. Возможно ли самоосвобождение? / А. Раппопорт // Человек. – 1991. – № 5.
2. Сорокин, П. А. Долгий путь: автобиографический роман [пер. с англ.] / П. А. Сорокин. – Сыктывкар: Шыпас, 1991. – 304 с.
3. Название поселению дала многотомная эпопея Г. Д. Гребенщикова «Чураевы». В 1988 году Чураевка была внесена в Национальный реестр исторических мест США и охраняется государством. В официальных документах бывшее поселение русских эмигрантов значится как Русская деревня (Russian Village Historic District). Общая площадь Русской деревни – 1100 акров (440 га). На территории расположено 29 строений.
4. <http://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/40576>.
5. Джин, Н. Ландрам. «Профили гениев. Тринадцать женщин, которые изменили мир». – С.455-469 http://www.pseudology.org/evrei/Rand_Ayn.htm.
6. Лосский, Н. О. Воспоминания (окончание) / Н. О. Лосский // Вопросы философии. – 1991. – № 12.
7. Лосский, Н. О. История русской философии / Н. О. Лосский. Гл. XXII. – М.: Советский писатель, 1991. – С. 387.
8. Щеглов, В. В., Щеглова Л. В. Философский портрет Е. В. Спекторского http://www.philos.msu.ru/vestnik/philos/art/1997/sheglov_spektor.htm.
9. http://www.krugosvet.ru/enc/istoriya/FEDOTOV_GEORGI_PETROVICH.html.
10. http://www.krugosvet.ru/enc/gumanitarnye_nauki/filosofiya/FLOROVSKI_GEORGI_VASILEVICH.html.
11. http://zarubezhje.narod.ru/av/a_009.htm.
12. http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_biography/120308/%D0%A8%D0%BF%D0%B0%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9
13. <http://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/677512>.
14. <http://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/230945>.

15. <http://www.lebed.com/2006/art4494.htm>.
 16. http://www.unlv.edu:80/centers/cdclv/archives/articles/shalin_partioticsoc.htmlhttp://www.unlv.edu/centers/cdclv/pragmatism/shalin_levadabio.html.
 17. http://slovo.ws/bio/rus/Solzhenitsyn_Aleksandr_Isaevich/index.html.
 18. <http://www.ozon.ru/context/detail/id/238585/>.
 19. <http://www.pseudology.org/Reklama/index.htm>.
 20. Он обнаружил в спектре излучения звездного объекта SS433 соответствие с законами музыкальной гармонии, позволившее ему выдвинуть гипотезу о «космических субъектах». Шрейдер Ю. А. Лефевр Владимир Александрович // П. В. Алексеев. Философы России XIX-XX столетий. Биографии, идеи, труды. 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Академический проект, 2002. – С. 554.
 21. Тейяр де Шарден, П. Феномен человека / П. Тейяр де Шарден. – М., 1987.
 22. <http://www.hro.org/node/2455>.
 23. <http://www.emory.edu/INTELNET/bio.html>.
 24. <http://www.archipelag.ru/authors/derlugyan/>.
 25. Борис Зусманович Докторов. Я живу в едином пространстве... // «Социологический жур-

нал», 2006, выпуск 1-2 <http://www.pseudology.org/Gallup/Interview.htm>.

26. Борис Зусманович Докторов. Мне наиболее интересны методы познания и сам исследователь ... // Телескоп: наблюдения за повседневной жизнью петербуржцев». – 2006. – № 3. – С. 2 – 13. <http://www.pseudology.org/Gallup/Interview2.htm>.

27. <http://www.coastmagazine.org/coast/16/cgi-bin/about.cgi>.

28. Предисловие Леонида Столовича к сборнику Михаила Сергеева «Проект Просвещения. Религия, философия, искусство» <http://www.hrpublishers.org/ru/nashi-avtori/sergeev/>.

29. <http://faculty.chass.ncsu.edu/bykova/files/cv.pdf><http://faculty.chass.ncsu.edu/bykova/>.

Рецензент – П. И. Балабанов – д-р философ. наук, профессор, директор НИИ, ГОУ ВПО «Кемеровский государственный университет культуры и искусств».

ХИМИЯ

УДК 544.77:546.57

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА, ПОЛУЧЕННЫХ ВОССТАНОВЛЕНИЕМ ИЗ РАСТВОРОВ И ТЕРМИЧЕСКИМ НАПЫЛЕНИЕМ В ВАКУУМЕ

Л. Н. Подлегаева, Д. М. Руссаков, С. А. Созинов, Т. В. Морозова,
И. Л. Швайко, Н. С. Звиденцова, Л. В. Колесников

Получены наночастицы и нанослои серебра методом восстановления из раствора и методом термического напыления. Наночастицы и нанослои Ag исследованы методами фотометрии и просвечивающей электронной микроскопии. Спектры оптического поглощения и пропускания проанализированы в рамках теории Ми и теории плазморезонансных колебаний. Вычислены значения N_e – эффективной концентрации электронов проводимости, γ – коэффициента затухания плазменных колебаний, NV – значения величины объема наночастиц в единице объема системы; из спектров оптического поглощения и пропускания получены значения λ_{max} – длин волн в максимуме поглощения и пропускания полос плазмонного резонанса. Методом просвечивающей электронной микроскопии исследован фазовый состав и морфология частиц серебра.

Nanoparticles and silver layers have been obtained from the solution by restoration method as well as thermal coating one. Nanoparticles and silver layers have been studied by photometry and x-rayed electron microscopy methods. The spectra of optic adsorption and passing have been analyzed in the framework of Mie theory and the theory of plasma resonance oscillation values: N_e – effective concentration of electron conductivity, γ – attenuation coefficient of plasma oscillations, NV – values of the bulk amount of nanoparticles in the unit volume of the system have been calculated. Values λ_{max} – wave lengths in adsorption maximum and passing of plasma resonance strips have been received from the spectra of optic adsorption and passing. Phase constitution and morphology of silver particles have been investigated by X-rayed electron microscopy method.

Ключевые слова: наночастицы, нанослои серебра, получение, метод спектрофотометрии.

Введение

Наночастицы серебра обладают уникальными оптическими свойствами, обусловленными поверхностным плазмонным резонансом (ППР) [1], и каталитической активностью. Особый интерес представ-

ляет исследование оптических свойств кластеров и наночастиц в зависимости от их формы, размеров, состава и окружения. Это накладывает жесткие требования к методам получения и последующей их стабилизации. Оптимальным по возможностям

представляется метод термического испарения металлов в вакууме в различных средах.

Оптические свойства нанокластеров металлов зависят как от характеристик индивидуальных частиц – их размера, формы, состава, наличия и структуры адсорбционных слоев, так и от их окружения, в том числе и от способа пространственного упорядочения частиц. В связи с этим возникают трудности в интерпретации оптических аномалий, обусловленных размерным эффектом, и коллективными возбуждениями взаимодействующих частиц.

В настоящей работе были поставлены задачи: исследовать влияние условий получения на размер наночастиц; оптическими методами исследовать свойства наночастиц серебра и их изменения в процессе хранения.

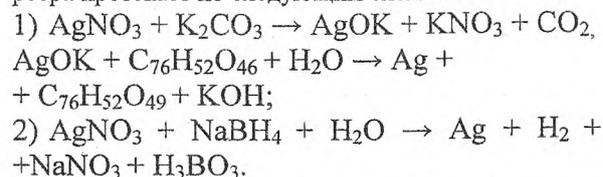
Экспериментальная часть

Тонкие слои серебра были получены методом термического испарения в вакууме на установке ВУП-5. Полученные слои можно характеризовать эффективной толщиной (d), которая рассчитывалась по формуле:

$$d = \frac{M \sin \theta}{\rho 2 \pi R^2},$$

а также средним размером наночастиц, определяемым по данным электронной микроскопии (d_{cp}). Осаждение слоев серебра проводилось на чистую кварцевую подложку, на кварцевую подложку с нанесенными слоями углеродной пленки и пленки NaCl.

Синтез дисперсий серебра в водном растворе осуществлялся методом контролируемой одноструйной кристаллизации. Метод основан на восстановлении нитрата серебра восстановителями, в качестве которых использовались таннин (1), борогидрид натрия (2) и цитрат натрия в присутствии буферных растворов. Реакция восстановления серебра протекает по следующим схемам:



Полученные слои и осадки серебряных частиц исследовались в электронном микроскопе ЭМ-100А. Разрешение прибора было не хуже 5 Å. По данным дифракции электронов определялся фазовый состав образцов.

Спектральные зависимости оптической плотности (D), коэффициента поглощения (α) и пропускания гидрозолей серебра и напыленных слоев регистрировали на спектрофотометре СФ-56 в спектральном диапазоне от 190 до 1100 нм:

$$D = \ln \frac{I_0}{I} = \alpha x.$$

Размер и форму частиц серебра определяли с помощью электронной микроскопии. По результатам измерений определялся средний размер наночастиц:

$$\bar{d} = \sum_i d_i \cdot n_i / \sum_i n_i,$$

где n_i – число частиц серебра данного размера; d_i – размер частиц серебра; $\sum_i n_i = N$ – общее число наночастиц серебра.

Результаты и обсуждение

Восстановление нитрата серебра борогидридом натрия: в реакционную ёмкость, содержащую охлажденный раствор борогидрида натрия ($2 \cdot 10^{-3} \text{M}$), добавляли при интенсивном перемешивании $1 \cdot 10^{-3} \text{M}$ раствор AgNO_3 . Подача исходных растворов осуществлялась при постоянном перемешивании, температура синтеза составляла 20°C . При последовательном введении реагентов наблюдалось окрашивание раствора в желтый цвет. Полученные частицы серебра характеризуются интенсивным оптическим поглощением в области $\lambda=390 \text{ нм}$ (рис. 1), отвечающим плазмонному пику серебра [2]. По данным электронно-микроскопического анализа, средний размер полученных частиц составляет 15 нм. Через сутки значительная часть крупных частиц коагулировала с образованием осадка.

Восстановление нитрата серебра цитратом натрия: в 500 мл дистиллированной воды растворили 90 мг AgNO_3 . Раствор доводили до кипения при интенсивном перемешивании, после чего быстро по каплям добавили 9 мл 1 % раствора цитрата натрия. Кипячение реакционной смеси продолжали 1 час с отбором проб, которые охлаждали для прекращения реакции восстановления. Сразу после введения восстановителя раствор приобрел желто-зеленую окраску.

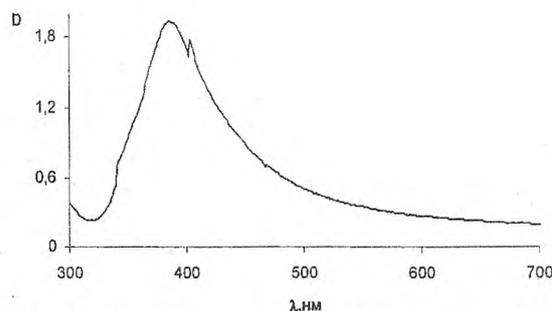


Рис. 1. Спектральная зависимость оптической плотности раствора наночастиц серебра

Спектрофотометрический анализ проб, отобранных в процессе синтеза, показал, что уже на первом этапе в спектре появляется полоса поглощения вблизи 420 нм (рис. 2). Это указывает на присутствие в растворе металлических наночастиц [3]. Средний размер полученных частиц серебра составляет 45-50 нм. Увеличение интенсивности поглощения в максимуме полосы связано с продолжением процесса восстановления серебра и увеличением числа частиц.

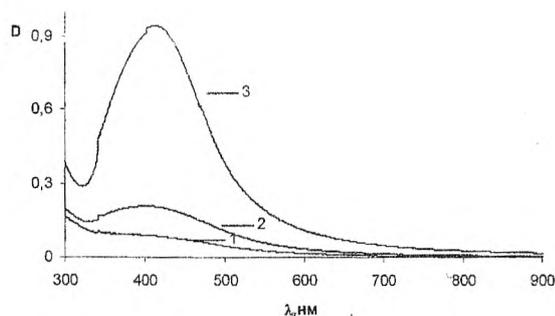


Рис. 2. Спектры поглощения проб золя, отобранных после кипячения реакционной смеси в течение 2 мин. (1), 5 мин. (2), 7 мин. (3)

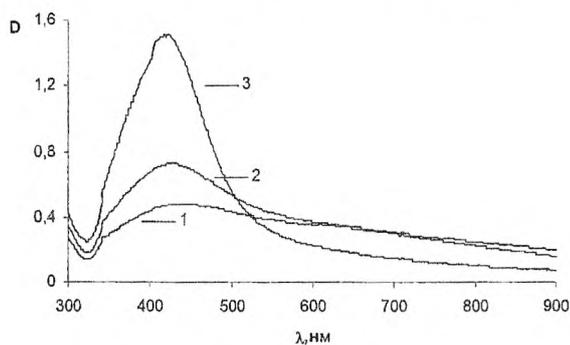


Рис. 3. Спектры поглощения проб золя, отобранных после кипячения реакционной смеси в течение 2 мин. (1), 5 мин. (2), 7 мин. (3), после 4 дней хранения

На рис. 3 представлены спектры оптического поглощения гидрозолей серебра после 4 дней хранения. Смещение максимума поглощения не произошло, интенсивность пика возросла примерно в два раза. В области 500-700 нм наблюдается появление длинноволнового крыла, что возможно связано с укрупнением или агрегацией частиц.

Восстановление нитрата серебра танином: в основу была взята методика получения наночастиц серебра по Кери-Ли [1]. К 100 мл дистиллированной воды последовательно добавляли 0,1% раствор танина, буферный раствор до pH = 9,8, затем, при интенсивном перемешивании, вводили 0,025M раствор AgNO_3 . Температура проведения синтеза 20°C . При последовательном введении реагентов наблюдалось окрашивание раствора в оранжевый цвет. В оптическом спектре гидрозоля серебра сразу после синтеза наблюдается четко выраженная полоса поглощения наночастиц серебра при $\lambda \approx 410$ нм (рис. 4, кривая 1). Электронно-микроскопический анализ полученных систем показал, что частицы серебра имеют сферическую форму. Средний размер полученных частиц составляет 25 нм.

Неизменность оптических спектров коллоидного раствора серебра при длительном хранении (рис. 4, кривая 2) позволяет сделать вывод об устойчивости полученных систем к агрегации.

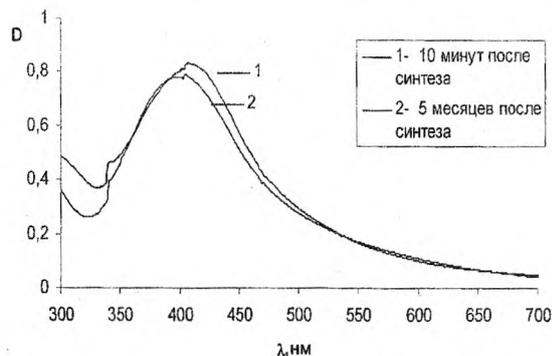


Рис. 4. Оптические спектры гидрозоля серебра, полученных методом восстановления танином

Влияния температуры синтеза на характеристики гидрозолей серебра, полученные восстановлением танином. Синтез проводился в интервале температур от $+4^\circ\text{C}$ до $+70^\circ\text{C}$. В оптических спектрах наблюдается характерная для коллоидного серебра плазменная полоса поглощения с $\lambda \approx 410$ нм (рис. 5). При повышении температуры наблюдается увеличение оптической плотности, что, возможно, связано с увеличением числа частиц. Микрофотография наночастиц серебра приведена на рис. 6. Анализ распределения частиц по размерам показал, что средний размер частиц серебра равен 13 нм. В процессе хранения полученных образцов величина максимума оптической плотности оставалась практически неизменной, что свидетельствует о стабильности частиц серебра.

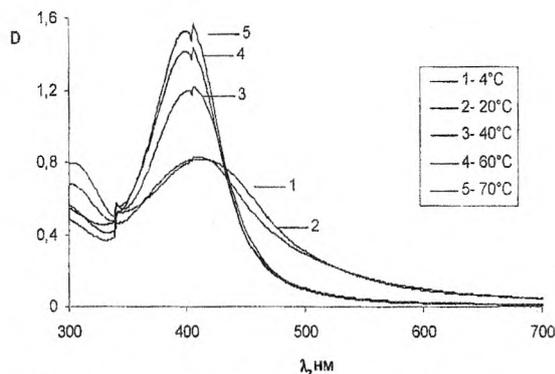


Рис. 5. Оптические спектры золей серебра, полученных при различных температурах

Аналогичные зависимости наблюдались для гидрозолей серебра, полученных при других температурах. Из анализа спектров поглощения золей серебра в рамках теории Ми и плазморезонансного поглощения рассчитан ряд характеристик частиц серебра.

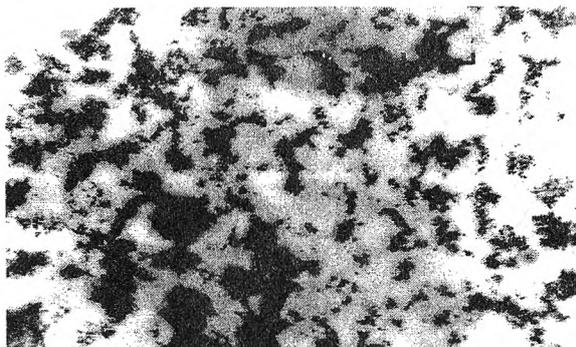


Рис. 6. Микрофотография наночастиц серебра, полученных при $T = 20^\circ\text{C}$ ($\times 38500$)

Поскольку размеры частиц металла $d < \lambda$ (λ – длина волны падающего излучения), то, согласно [4], справедлива следующая линейная зависимость для коэффициента поглощения K :

$$\frac{1}{K} = \frac{\theta_2}{\theta_1} + \frac{1}{\theta_1} \left(\frac{\lambda_m}{\lambda} - \lambda \right)^2, \quad (1)$$

где λ_m – длина волны в максимуме плазморезонансного поглощения. В качестве примера на рис. 7 показана соответствующая зависимость в координатах уравнения (1).

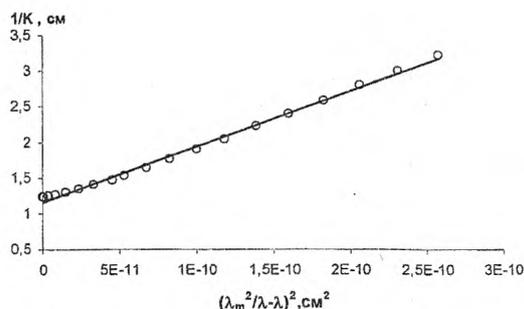


Рис. 7. Зависимость коэффициента поглощения K от λ в координатах уравнения (1) для гидрозольа серебра, полученного при $T = 4^\circ\text{C}$.

Видно, что в указанных координатах наблюдается хорошее спрямление, что свидетельствует о применимости данного приближения к изучаемой системе. Коэффициенты линейной зависимости θ_1 и θ_2 определяли с помощью метода наименьших квадратов, величину λ_m получали из экспериментального спектра поглощения. Величины θ_1 и θ_2 связаны с эффективной концентрацией электронов проводимости N_e , коэффициентом затухания плазменных колебаний γ и объемом NV , который занимают частицы металла в единице объема, соотношениями [4]:

$$N_e = \frac{\pi m_e c^2 (\epsilon_0 + 2n^2)}{e^2 \lambda_m^2}, \quad \gamma = \frac{2\pi c \theta_2^{1/2}}{\lambda_m^2}, \quad (2)$$

$$NV = \frac{N_e e^2 \theta_1}{9\pi n^3 m_e c \gamma},$$

где e – заряд электрона;

c – скорость света;

$m_e = 9,1 \cdot 10^{-28}$ г – масса электрона;

$n = 1,33$ – показатель преломления среды, окружающей частицы серебра;

$\epsilon_0 = 4,9$ – коэффициент диэлектрической проницаемости, не зависящий от длины волны;

N и V – число и объем частиц.

По соотношениям (2) рассчитывали величины N_e , γ , NV , а также массу серебряных частиц.

В таблице 1 приведены результаты расчетов значений N_e , γ , NV , массы серебряных частиц $M = \rho_{Ag} NV$ ($\rho_{Ag} = 10,5$ г/см³) при различных температурах. Можно предположить, что с увеличением температуры степень несовершенства кристаллической структуры и адсорбционный слой на поверхности частиц серебра уменьшаются. Этому соответствует наблюдаемое уменьшение значения γ и увеличение N_e .

Таблица 1

Влияние температуры синтеза на характеристики частиц серебра

№	$T, ^\circ\text{C}$	Время хранения	$\gamma \cdot 10^{15}, \text{c}^{-1}$	$N_e \cdot 10^{22}, \text{cm}^{-3}$	$NV \cdot 10^{-7}$	$M \cdot 10^{-6}, \text{г/см}^3$
1	4	1 час	1,50	5,55	7,2	7,5
		1 сутки	1,52	5,47	7,8	8,2
2	20	1 час	1,34	5,63	6,2	6,5
		1 сутки	1,42	5,68	7,6	7,9
3	40	1 час	0,65	5,72	4,9	5,2
		1 сутки	0,92	5,72	7,4	7,8
4	60	1 час	0,56	5,72	4,9	5,2
		1 сутки	0,70	5,77	6,7	7,1
5	70	1 час	0,51	5,72	4,8	5,0
		1 сутки	0,82	5,77	6,6	7,0

Свойства наночастиц серебра, полученных методом термического испарения в вакууме

На рис. 8 представлены спектральные зависимости значений D , на рис. 9 – микрофотография наночастиц серебра в пленке толщиной $d = 3,8 \text{ \AA}$. В отличие от результатов, полученных для наночастиц серебра в растворах, в оптическом спектре пленок наблюдаются максимумы при $\lambda_{\max} = 443 \text{ нм}$ – для пленки толщиной $3,8 \text{ \AA}$, и $\lambda_{\max} = 476 \text{ нм}$ – $5,4 \text{ \AA}$ соответственно.

Увеличение интенсивности пика и сдвиг максимума полосы ППП вероятнее всего связаны с увеличением средних размеров наночастиц при увеличении толщины пленки. На микрофотографии (рис.9) видно, что кроме частиц сферической формы, в напыленном слое присутствуют плоские шестигранники, частицы октаэдрической формы и стержни.

Анализ гистограммы частиц по размерам для слоя толщиной $d = 3,8 \text{ \AA}$ показывает преобладание частиц с размерами 30-60 нм. Этим объясняется схожесть спектров $D(\lambda)$ для напыленных частиц серебра и их зольей. Таким образом, на аморфной кварцевой подложке можно получить частицы различной формы и размеров.

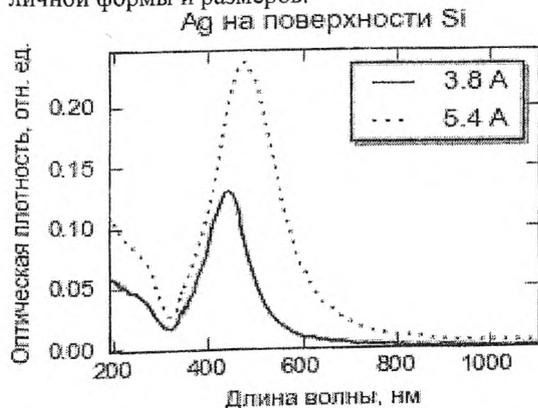


Рис. 8. Спектральная зависимость оптической плотности тонких слоев серебра толщиной $5,4 \text{ \AA}$ и $3,8 \text{ \AA}$.

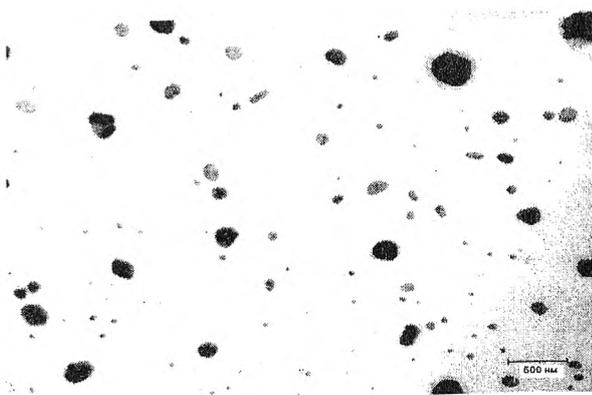


Рис. 9. Микрофотография наночастиц серебра в слое $d = 3,8 \text{ \AA}$ ($d_{\min} = 30 \text{ нм}$, $d_{\max} = 213 \text{ нм}$, $d_{\text{ср}} = 79 \text{ нм}$)

Электроннографический анализ фазового состава исследуемых образцов показал, что дифракционная картина соответствует дисперсным частицам серебра. Для исследования влияния подложки на оптические спектры напыленных слоев серебра были приготовлены образцы, нанесенные на угольную и NaCl пленки, которые были предварительно нанесены на кварцевые пластины. В оптическом спектре пленки серебра толщиной $5,4 \text{ \AA}$ на кварцевой подложке наблюдается полоса при $\lambda_{\max} = 476 \text{ нм}$, на угольной подложке наблюдается полоса при $\lambda_{\max} = 477 \text{ нм}$, на подложке NaCl – при $\lambda_{\max} = 434 \text{ нм}$ (рис.10). Изменение интенсивности и положения спектра для частиц, нанесенных на подложку NaCl, возможно, связано с диполь-дипольным взаимодействием Ag_n -частиц на подложке NaCl. Результаты анализа спектров $D(\lambda)$ по соотношениям (2) сведены в таблицу 2.

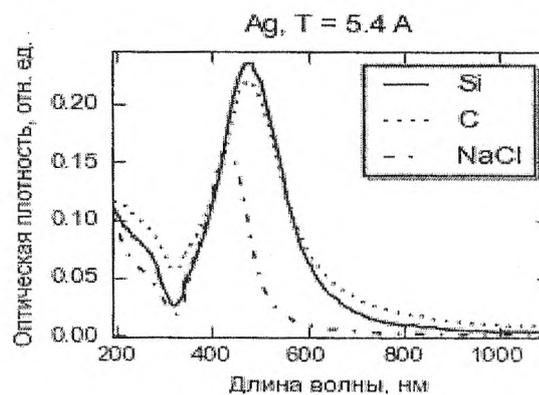


Рис. 10. Спектральные зависимости оптической плотности тонких слоев серебра толщиной $d = 5,4 \text{ \AA}$, нанесенных на различные подложки

Таблица 2

Значения концентрации электронов проводимости N_e , коэффициента затухания плазменных колебаний γ для пленки с эффективной толщиной $3,8 \text{ \AA}$

подложка	λ_{\max} , нм	$N_e \cdot 10^{22} \text{ см}^{-3}$	$\gamma \cdot 10^{15} \text{ с}^{-1}$
кварц	443	5,30	1,80
уголь	454	5,09	1,53
NaCl	427	5,75	0,23

Значения концентрации электронов проводимости хорошо согласуются с полученными выше результатами. Коэффициент затухания плазменных колебаний γ зависит от радиуса частиц r и концентрации дефектов n_{Δ} в приповерхностном слое, а также от их эффективного сечения рассеяния $\bar{\sigma}$:

$$\gamma = \gamma_{\infty} + \frac{a}{r} + n_{\Delta} \bar{\sigma} V_F,$$

где V_F – скорость электрона на поверхности Ферми,

γ_{∞}, a – константы.

Таким образом, уменьшение величины γ происходит в связи с изменением размеров и формы частиц, а также взаимодействием частиц с подложками разной природы.

Заключение

В работе исследовано влияние условий синтеза на дисперсионные характеристики гидрозолей серебра. В качестве восстановителей использовали борогидрид натрия, цитрат натрия, танин. Образование высокодисперсных серебряных частиц наблюдается при использовании борогидрида натрия. При увеличении температуры синтеза размер частиц серебра уменьшается. В результате анализа оптических спектров рассчитаны значения эффективной концентрации электронов проводимости N_e в частицах серебра, коэффициент затухания колебаний электронной плазмы γ , доля объема, занятого частицами серебра в растворе NV , и их масса M . Показано, что при варьировании условий синтеза величины N_e , γ , NV , M изменяются.

Уменьшение интенсивности плазмонного пика в оптических спектрах серебра, полученного напылением на подложку NaCl, возможно связано с диполь-дипольным взаимодействием молекул NaCl и Ag_n -частиц.

С увеличением толщины напыленных слоев, наночастицы серебра становятся более стабильными.

Литература

1. Сальседо, К. А. Адсорбция из растворов на поверхности частиц серебра / К. А. Сальседо, В. В. Цветков, В. Д. Ягодновский // Журнал физической химии. – 1989. – Т. LXIII. – № 12. – С. 3295 – 3299.
2. Рогач, А. Л. Образование высокодисперсного серебра при восстановлении ионов Ag^+ в водных растворах / А. Л. Рогач, В. Н. Хвалюк, В. С. Гурин // Коллоидный журнал. – 1994. – Т. 56. – № 12. – С. 276 – 278.
3. Сравнительное исследование свойств гидрозолей серебра, полученных цитратным и цитрат-сульфатным методами / О. В. Дементьева, А. В. Мальковский, М. А. Филиппенко, В. М. Рудой // Коллоидный журнал. – 2008. – Т. 70. – № 5. – С. 607 – 619.
4. Изменение свойств малых частиц меди при адсорбции из растворов серосодержащих ионов / А. В. Топорко, В. В. Цветков, В. Д. Ягодновский, А. Исса // Журнал физической химии. – 1995. – Т. 69. – № 5. – С. 867 – 870.

Рецензент – Е. И. Кагакин – д-р хим. наук, профессор, ФГОУ ВПО «Кузбасский государственный технический университет».

ЭКОНОМИКА

УДК 336.3

ОЦЕНКА ДЕБИТОРСКОЙ ЗАДОЛЖЕННОСТИ МУП ЖКХ В ПРОЦЕССЕ КОНКУРСНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Л. Н. Старикова

В статье рассматривается специфика дебиторской задолженности физических лиц перед муниципальными и государственными унитарными предприятиями жилищно-коммунального хозяйства в условиях конкурсного производства. Характеризуются показатели анализа дебиторской задолженности, методы и подходы определения рыночной стоимости.

In this article the specificity of account receivable of natural persons against the municipal and state unitary enterprises of housing and communal services in the conditions of competitive production is considered. Analysis indicators of account receivable, methods and approaches of market value definition are characterised.

Ключевые слова: дебиторская задолженность – рыночная стоимость – показатели анализа.

Конкурсное производство является заключительной процедурой ликвидации предприятия-банкрота в соответствии с Законом № 127 «О несостоятельности (банкротстве)» от 26 октября 2002 г. (далее Закон) [3]. В ходе данного производства деятельность предприятия прекращается, начинают осуществляться ликвидационные меры, направленные на формирование конкурсной массы, ее оценку и реализацию для удовлетворения требований кредиторов в порядке очередности, предусмотренной законодательством. Конкурсную массу составляет

все имущество должника за исключением выведенного из оборота, лицензионных и иных личностных прав. Имущество, являющееся предметом залога, оценивается и учитывается отдельно (ст. 131 Закона). Таким образом, предприятие рассматривается как недвижимость согласно ст. 132 ГК РФ. Следовательно, оценка имущества в ходе конкурсного производства осуществляется на основе методологии оценки недвижимости. Все виды оцененного имущества продаются исключительно путем проведения торгов в порядке, установленном ст. 110 Закона.

Под положение ст. 132 ГК РФ попадает и оценка дебиторской задолженности. Но, в отличие от другого имущества, дебиторская задолженность не обладает функцией товара, а соответственно продаваться может только уступка права требования. Права требования должника являются составной частью имущественного комплекса должника, так как имущественные права признаются разновидностью имущества.

Специфика деятельности предприятий ЖКХ обуславливает наличие не только общих долгов, связанных с деятельностью любой организации, но и отраслевых задолженностей, например связанных с оплатой коммунальных услуг. При этом дебиторская задолженность муниципальных унитарных предприятий (МУПов) и государственных унитарных предприятий (ГУПов) ЖКХ имеет ряд особенностей, отличающих ее от других видов дебиторской задолженности.

В составе дебиторской задолженности нормативные документы предписывают выделять [4]:

– долги потребителей жилищно-коммунальных услуг: граждан – нанимателей жилых помещений, граждан – собственников жилых помещений, бюджетных организаций, промышленных предприятий и прочих потребителей;

– задолженность бюджетов всех уровней по финансированию предприятий жилищно-коммунального комплекса, направленному на возмещение убытков от реализации услуг по регулируемым ценам, на возмещение разницы в тарифах на жилищно-коммунальные услуги, возмещение льгот и субсидий по оплате жилищно-коммунальных услуг, предоставленных гражданам;

– долги бюджета по финансированию расходов, обусловленных производственной деятельностью, не предусмотренных при формировании экономически обоснованного тарифа.

Основная задача статьи – рассмотреть часть первой группы дебиторской задолженности, а именно – оценку долгов потребителей жилищно-коммунальных услуг: граждан – нанимателей жилых помещений, граждан – собственников жилых помещений (далее физических лиц), и показать необходимость учета ее особенностей при оценке в ходе конкурсного производства.

Задолженность перед предприятиями ЖКХ в первом полугодии 2009 г. увеличилась на треть в сравнении с прошлым годом и составила свыше 200 млрд руб. Долги предприятий и организаций, находящихся на бюджетировании федеральных и региональных властей, составляют порядка 30 млрд руб., остальная сумма задолженности приходится на коммерческие организации и население РФ.

В федеральном масштабе крупные должники перед ЖКХ – Центральный федеральный округ (58 млрд руб.), Приволжский (35 млрд руб.), Южный (около 34,5 млрд руб.) и Северо-Западный (31,5 млрд руб.). И, как следствие роста неплатежей предприятиям за жилищно-коммунальные услуги,

растет задолженность предприятий ЖКХ за ранее потребленные топливно-энергетические ресурсы [5].

У предприятий ЖКХ дебиторская задолженность отвлекает свободные денежные средства из оборота и приводит не только к дефициту бюджета запланированных расходов, но и является источником возникновения кредиторской задолженности, структура которой определена тем же документом [4].

В соответствии с законодательством о банкротстве, конкурсный управляющий обязан провести инвентаризацию и оценку всего имущества предприятия, в том числе и дебиторской задолженности, с целью дальнейшей его продажи на торгах.

Арбитражным законодательством не предусмотрен порядок проведения инвентаризации задолженности и оформления ее результатов. Поэтому организации вправе либо самостоятельно разработать такой порядок и формы документов, подтверждающих результаты инвентаризации, либо воспользоваться порядком и формами, утвержденными для целей бухгалтерского учета, в частности, Методическими указаниями по инвентаризации имущества и финансовых обязательств, утвержденными приказом Минфина России от 13.06.95 № 49. При этом можно использовать форму № ИНВ-17 «Акт инвентаризации расчетов с покупателями, поставщиками и прочими дебиторами и кредиторами» и приложение к указанной форме «Справка по акту инвентаризации расчетов с покупателями, поставщиками и прочими дебиторами и кредиторами». Эти документы утверждены Постановлением Госкомстата России от 18.08.98 № 88 «Об утверждении унифицированных форм первичной учетной документации по учету кассовых операций, по учету результатов инвентаризации».

Однако для предприятий жилищно-коммунальной сферы перечень инвентаризационных документов по дебиторской и кредиторской задолженностям не ограничивается актом инвентаризации расчетов (форма № ИНВ-17). К акту № ИНВ-17 прилагаются документы, подтверждающие задолженность, – договоры, накладные и т. д. В Приказе [4] приведен образец акта, необходимого оценщику для проведения анализа и оценки дебиторской задолженности, где задолженность типизирована по видам услуг: плата за пользование жилыми помещениями, тепло-снабжение, горячее водоснабжение, холодное водоснабжение, водоотведение, электроснабжение, газоснабжение и прочее

Помимо обобщенных данных по структуре задолженности по предоставленным коммунальным услугам физическим лицам, оценщику необходимы акты сверки задолженности с каждым конкретным дебитором, где важными показателями для последующих расчетов являются даты образования задолженности и сверки. Такие акты составляются в рамках отчета арбитражными управляющими перед Арбитражным судом. Приведем образец такого акта.

№ п/п	ФИО	Адрес	Сумма по баланс (руб., коп)			
			всего	дата образо- вания задол- женности	подтвержден- ная дебитора- ми	с истекшим сроком исковой давности
	1	2	3	4	5	6

При этом особое внимание обращается на возможность/невозможность взыскания задолженности. В силу п. 2 ст. 266 НК РФ (см. также Письмо Минфина России от 06.02.2007 N 03-03-07/2) в целях налогообложения прибыли предусмотрено только четыре основания признания дебиторской задолженности безнадежной – это долги, по которым (в соответствии с гражданским законодательством):

– истек установленный срок исковой давности (ст. 196 ГК РФ);

– обязательство прекращено вследствие невозможности его исполнения (ст. 416 ГК РФ);

– обязательство прекращено на основании акта государственного органа (ст. 417 ГК РФ);

– обязательство прекращено ликвидацией организации (ст. 419 ГК РФ).

По другим основаниям дебиторская задолженность, нереальная к взысканию, не может быть признана безнадежной. (Письмо Минфина России от 06.02.2007 N 03-03-07/2).

Срок исковой давности может быть прерван, а затем начаться заново (время, истекшее до перерыва, в силу ст. 203 ГК РФ, не засчитывается в новый срок), если должник совершит действия, свидетельствующие о признании им долга. Это происходит в тех случаях, когда:

- кредитор обращается с иском в суд (если суд оставляет иск без рассмотрения, то срок исковой давности по этому иску не прерывается);

- должник признает долг.

Кредитор может сделать вывод, что должник признал свой долг, если тот (Письма УФНС по г. Москве от 17.04.2007 № 20-12/036354, от 02.08.2006 № 20-12/68343):

- частично оплатил задолженность;
- уплатил проценты за просрочку платежа;
- обратился к кредитору с просьбой об отсрочке платежа;
- подписал акт сверки задолженности;
- написал заявление о зачете взаимных требований.

Таким образом, срок исковой давности можно продлевать на неопределенный период времени. Для этого нужно, чтобы должник хотя бы раз в три года признавал свой долг.

В Письме от 21.09.2007 № 03-03-06/2/184 Минфин указал: течение прерванного срока исковой давности по дебиторской задолженности, взыскиваемой по решению суда, вновь начинается с даты вступления решения суда в силу.

Для признания долга безнадежным в связи с истечением срока исковой давности организации необходимо иметь документы, которые позволяют установить дату возникновения дебиторской задолженности. Как правило, это договор, счет на оплату, акт сдачи-приемки работ, оказания услуг [9]. В оплате услуг ЖКХ просроченная задолженность возникает с 11-го числа следующего за отчетным месяца.

Следует отметить, что оценка дебиторской задолженности производится спустя некоторое время после составления актов сверки, иногда это время составляет от 3-х до 7 месяцев. Дебиторская задолженность по существу в процедуре конкурсного производства является вся просроченной и анализируется оценщиком лишь с точки зрения возможности ее продажи.

Вопросы смены лиц в обязательстве регулируются гл. 24 ГК РФ. Любая задолженность может быть прекращена, в первую очередь, ее исполнением или предоставлением отступного (ст. ст. 408, 409 ГК РФ). Если это невозможно, обязательства могут быть прекращены по:

- соглашению сторон – заменой другим обязательством (новация) (ст. 414 ГК РФ);

- решению одной стороны – прощением долга, зачетом встречного однородного требования (ст. ст. 415, 410 ГК РФ);

- не зависящим от сторон обстоятельством – вследствие невозможности исполнения обязательства, на основании акта государственного органа и в силу ликвидации организации (ст. ст. 416, 417, 419 ГК РФ).

Из перечисленных вариантов трудно выделить тот, который действительно поможет сократить долги потребителей услуг ЖКХ. Если нет возможности погасить долг, то замена одного обязательства на другое по соглашению сторон может лишь временно освободить должника от дополнительных обязательств за просрочку (штрафных санкций), поскольку основной долг остается, меняется только форма его исполнения.

Решение о прощении долга или проведении взаимозачета может быть принято одной из сторон, если для этого есть возможности и соответствующие основания. У предприятий ЖКХ и энергоснабжающих организаций не так много прибыли, чтобы за счет нее прощать долги неплательщиков потребителей услуг. О проведении взаимозачета в сфере оказания жилищно-коммунальных услуг тоже можно говорить далеко не всегда. Он возможен только в отношении встречных и однородных требований, да

и то не в процедурах банкротства. У предприятия ЖКХ, которое выполнило свои обязательства по содержанию и ремонту жилого фонда, к неплательщикам лишь одно требование – оплатить выполненные работы (оказанные услуги), и у противоположной стороны нет другого однородного встречного требования, которым можно было бы погасить долг по квартплате. В такой же ситуации, как правило, находятся и сами предприятия ЖКХ. Они имеют долги перед снабжающими организациями за потребленные ресурсы, но не имеют встречных требований к ним, в отношении которых можно было бы провести взаимозачет.

Таким образом, долги населения коммунальными службами могут списываться и прощаться только в исключительных случаях.

Гражданское законодательство разделяет случаи невозможности исполнить обязательство на фактические (ст. ст. 416, 418 ГК РФ) и юридические (ст. 417 ГК РФ).

В соответствии с п. 1 ст. 416 ГК РФ обязательство прекращается невозможностью исполнения, если она вызвана обстоятельством, за которое ни одна из сторон не отвечает. Речь идет о так называемых форс-мажорных обстоятельствах, или, как их еще называют, обстоятельствах непреодолимой силы: пожары, стихийные бедствия и прочие чрезвычайные происшествия. Так, ФАС ПО в Постановлении от 24.01.2006 № А06-3101/2-16/04 указал: если объект аренды сгорел, то обязательство по сдаче в аренду прекращается по ст. 416 ГК РФ.

Статья 418 ГК РФ предусматривает еще одно основание, которое напрямую касается граждан – физических лиц – смерть должника, если исполнение не может быть произведено без его личного участия либо обязательство иным образом неразрывно связано с личностью должника.

Во всех остальных случаях коммунальные службы находят способы борьбы с должниками. Как отмечает эксперт журнала [8], по возможности, коммунальщики справляются своими силами: отключают или ограничивают водо-, электро-, газоснабжение, обращаются в суд с требованием о переселении должника в менее комфортное жилье, заключают с последним договор о рассрочке погашения задолженности. Более действенные способы – отказ в выдаче потребительского кредита, ограничение на выезд за границу – доступны только в сотрудничестве с частными и государственными структурами (банки, таможня, судебные приставы). Но силовые методы не действуют в отношении совсем неплатежеспособных потребителей. Поэтому в последнее время все чаще можно встретить такое предложение: отработать долги по коммунальным платежам, т. е. убрать придомовую территорию, привести в порядок общее имущество жилого дома (лестничные клетки, подъезды), выполнить работы по благоустройству здания и двора, подежурить у входа в подъезд на вахте и т. д.

Таким образом, кому бы ни принадлежали права требования по данному виду дебиторской задолженности, кредитор имеет возможности для их пол-

ного удовлетворения. Об этом же свидетельствует и ст. 384 ГК РФ, в которой говорится, что право первоначального кредитора переходит к новому кредитору в том объеме и на тех условиях, которые существовали до этого момента (если иное не предусмотрено законом или договором). В частности, к новому кредитору переходят права, обеспечивающие исполнение обязательства, а также другие связанные с требованием права, в том числе на неуплаченные проценты¹.

В условиях конкурсного производства права требования передаются в определенном размере и за конкретный период просрочки уплаты. На стадии конкурсного производства замораживаются начисления различного рода штрафных санкций (пени, неустойки, штрафы), а также суммы причиненных убытков (в виде упущенной выгоды или неполученных доходов).

При этом Закон о банкротстве устанавливает определенные требования к порядку продажи прав требования должника: во-первых, получение денежных средств за проданное право требования не позднее чем через 15 дней с даты заключения договора купли-продажи; во-вторых, переход права требования осуществляется только после его полной оплаты. Начальная цена прав требования, выставляемых на торги, устанавливается решением собрания (комитета) кредиторов на основании рыночной стоимости имущества, определенной в соответствии с отчетом независимого оценщика.

Главная задача оценки дебиторской задолженности – это определение рыночной стоимости, иными словами, определение денежного эквивалента, который ожидается получить в результате продажи дебиторской задолженности, полученной на основе анализа данных бухгалтерского учета.

В ходе оценки дебиторской задолженности предприятия, в соответствии с законодательством о банкротстве, необходимо провести анализ финансово-хозяйственной деятельности предприятия-дебитора [7, 8]. Учету подлежат более 20 показателей, характеризующих за последние три года финансовое состояние, наличие обеспечения исполнения денежного обязательства, права требования, по которым составляют дебиторскую задолженность, просроченность дебиторской задолженности, потенциальный спрос на дебиторскую задолженность, ликвидности, платежеспособности и др. Данное требование невыполнимо для дебиторов-физических лиц. Так, на-

¹ В соответствии с п.14 ст. 155 ЖК РФ «Лица, несвоевременно и (или) не полностью внесшие плату за жилое помещение и коммунальные услуги (должники), обязаны уплатить кредитору пени в размере одной трехсотой ставки рефинансирования Центрального банка Российской Федерации, действующей на момент оплаты, от не выплаченных в срок сумм за каждый день просрочки начиная со следующего дня после наступления установленного срока оплаты по день фактической выплаты включительно. Увеличение установленного в настоящей части размера пеней не допускается».

пример, задолженность перед ЖКХ в п. Грамотеино² Беловского района Кемеровской области с 2005 по 2007 гг. имели 320 человек на общую сумму 1 179 975,86 рублей.³

Определение ликвидности связано с моментом погашения (ликвидации) дебиторской задолженности. Дебиторская задолженность не может быть в полной мере отнесена к ликвидным оборотным средствам, так как она является ликвидной лишь в той мере, в которой возможно ее погашение за разумный (заранее оговоренный) период.

При оценке ликвидности дебиторской задолженности традиционно опираются на два показателя [10]: средний срок покрытия дебиторской задолженности (СП) и коэффициент оборачиваемости дебиторской задолженности (Кдз), которые связаны соотношением:

$$СП = K_{об} \frac{t}{PK}$$

где PK – среднегодовая реализация в кредит,
t – количество дней в году.

СП показывает среднее число дней, в течение которых счета дебиторов остаются непоплаченными. Этот показатель необходимо сравнивать с существующими сроками кредитования. Так, если фактически средний срок покрытия дебиторской задолженности составляет 60 дней, а срок ее погашения согласно договору составляет 40 дней, то часть дебиторской задолженности просрочена к оплате. Кдз является величиной, обратной СП, и показывает, сколько раз за год «обернутся» счета дебиторов.

Ускорение оборачиваемости в динамике рассматривается как положительная тенденция. Замедление оборачиваемости свидетельствует об отвлечении оборотных средств организации для расчетов с покупателями и заказчиками, а также с другими партнерами.

Период погашения дебиторской задолженности (П) определяется по формуле:

$$П = \frac{365}{K_{об}}$$

Следует иметь в виду, что, чем больше период просрочки задолженности, тем выше риск ее непогашения.

Коэффициент погашаемости (возвратности) дебиторской задолженности (Кпдз) определяется по формуле:

$$K_{пдз} = \frac{Дср}{ВР},$$

где ВР – выручка от реализации продукции (работ, услуг) в свободных оптовых ценах.

Одним из критериев определения ликвидности актива является оценка разницы между стоимостью приобретения и стоимостью немедленной продажи. Увеличение периода оборота (жизненного цикла) дебиторской задолженности связано с потерей ее стоимости. Как известно, стоимость денег во времени непостоянная величина, она изменяется под воздействием таких факторов, как риск и ставка дисконта. Согласно теории приведенной стоимости, сегодняшние деньги стоят дороже будущих, так как их можно немедленно инвестировать, и они станут приносить проценты. С этой целью рассчитывается ставка дисконтирования с учетом инфляции и рисков.

Методика оценки дебиторской задолженности наиболее полно нашла отражение в следующих документах:

– Стандарте оценки Федерального долгового центра от 13.05.98 г. «Методическое руководство по анализу и оценке прав требования (дебиторской задолженности) при обращении взыскания на имущество организаций-должников», которая в том же объеме была распространена как «Методические рекомендации РОО по оценке дебиторской задолженности». – М., 1998 г.,

– Приказе Минюста РФ от 03.07.1998 № 76 «О мерах по совершенствованию процедур обращения взыскания на имущество организаций» (вместе с «временной инструкцией о порядке ареста и реализации прав (требований), принадлежащих должнику как кредитору по неисполненным денежным обязательствам третьих лиц по оплате фактически поставленных товаров, выполненных работ или оказанных услуг (дебиторской задолженности) при обращении взыскания на имущество организаций - должников»),

– работе Зимина В. С., опубликованной в ж. «Московский оценщик» № 6 (19), декабрь 2002 и выложенной на сайте [МОК-Информ www.ValNet.ru](http://www.ValNet.ru), и др.

– неопубликованном материале практикующих оценщиков в Кемеровской области «О методике расчета рыночной стоимости прав требования дебиторской задолженности»/Коллектив авторов ООО «Колор» – Прокопьевск [неопубликованный документ].

В. С. Зимин считает, что основные задачи определения стоимости дебиторской задолженности обуславливают четыре основных вида оценки [1].

Первый вид (способ) – это оценка дебиторской задолженности единым потоком, когда определяется рыночная стоимость актива как части единого целого, составляющей стоимость всего бизнеса предприятия. В основе этих исследований лежит метод накопления актива в рамках затратного подхода. Вся величина дебиторской задолженности оценивается в целом, как бы «оптом», т.к. точная оценка каждой отдельной дебиторской задолженности, как правило, нецелесообразна. Оценка стоимости в этом случае производится по стандарту инвестиционной стоимости.

Второй вид сопряжен с предварительной оценкой задолженности для реального владельца актива

² Общая площадь территории поселка Грамотеино составляет 16,5 кв. км., численность жителей – 15,1 тыс. чел. в том числе 4970 пенсионеров (на 01.03.2007 г.)

³ Оценка выполнена автором статьи и прошла экспертизу в Комитете по управлению государственным имуществом Кемеровской области.

с целью принятия управленческого решения и целесообразности ее продажи. Речь идет уже о каждой конкретной задолженности и сравнение ее реальной полезности в системе существующего бизнеса и возможных выгод при ее продаже. Важно установить правильное соотношение инвестиционной и обоснованной рыночной стоимости. Главным является получение ответа на вопрос о том, что делать с данной задолженностью, продолжать с ней работать или просто «описать», не проводя никаких затрат на ее реализацию.

Третий вид – оценка дебиторской задолженности как товара для продажи на рынке по стандарту обоснованной рыночной стоимости. Эта оценка может включать в себя задачи определения цены предложения актива на аукционах, а также определения минимальной цены реализации.

Решение вышеназванных целевых задач требует глубоких проработок особенностей каждой конкретной задолженности с учетом правовых аспектов собственности.

Четвертый вид – это оценка полезности приобретения дебиторской задолженности для конкретного инвестора. В этом случае имеет место конфиденциальная оценка той предельной цены, которую инвестор готов заплатить за этот актив с учетом всех, возможно, эксклюзивных его интересов и реальной возможности дальнейшего использования данного актива. Используемый стандарт оценки – инвестиционная стоимость. Особенности данной постановки задачи заключаются в том, что в этом случае упор в большей степени делается на особые интересы инвестора, связанные со специфическим дальнейшим использованием задолженности, например, как метода контроля за бизнесом дебитора.

Следует заметить, что эти группировки позволяют более обоснованно проводить анализ, учитывая и оперируя основными специфическими чертами той или иной конкретной задолженности.

В практике оценки активов ликвидируемых предприятий установлено, что наиболее «заказываемой» является оценка стоимости для продажи единичной дебиторской задолженности.

Методика РОО предусматривает оценку дебиторской задолженности каждого дебитора в составе массива и целиком массивов дебиторской задолженности с разделением на отдельных дебиторов всеми тремя подходами с согласованием полученных результатов. При этом методика ориентирована на дебиторов-юридических лиц.

В настоящее время отсутствует единая методология оценки стоимости дебиторской задолженности и, как правило, применяется комбинированный метод с использованием трех различных подходов: затратного, рыночного и доходного, внутри которых могут быть варианты и различные методы расчетов.

Определение стоимости затратным подходом

Дебиторская задолженность является специфическим активом с так называемой «убывающей полезностью». В затратном подходе оценивается остаточная стоимость дебиторской задолженности (от номинала) с учетом потерь предприятия-кредитора

на поддержание уровня дебиторской задолженности за период образования задолженности до даты оценки, т. е. учитывается, насколько «состарилась» дебиторская задолженность для предприятия-кредитора с учетом потерь от инфляции и необходимости изыскивать источники оборотных средств в связи с замораживанием их в дебиторской задолженности.

В методике определения рыночной стоимости дебиторской задолженности затратным подходом рассчитывается среднемесячная ставка дисконтирования⁴ за весь период образования задолженности.

Обесценение дебиторской задолженности зависит от 2-х факторов: инфляции и процентов за пользование чужими денежными средствами (ссудой банка), то есть косвенных потерь кредитора из-за отвлечения оборотных средств. В конечном итоге определяется остаточная стоимость дебиторской задолженности с учетом затрат кредитора на ее поддержание.

Ставка дисконтирования для расчета текущей стоимости «старения» дебиторской задолженности устанавливается для каждого долга индивидуально в зависимости от времени образования долга.

Общая ставка дисконтирования определяется по трансформированной формуле Фишера $R_p = (R_n - I_n) / (1 + I_n)$:

$$R_n = R_p (1 + I_n) + I_n,$$

где R_n – номинальная ставка (с учетом инфляции),

R_p – реальная ставка (без учета инфляции) – в качестве реальной ставки может приниматься ставка Сберегательного банка по депозитам на дату оценки,

I_n – уровень инфляции в % или долях единицы.

Данные по среднемесячным темпам инфляции за последние 4-5 лет можно получить на сайте Центрального банка России или в правовой системе «КонсультантПлюс».

Определяется фактор текущей стоимости по формуле:

$$F_{pv} = 1 / (1 + R_n)^n,$$

где F_{pv} – фактор текущей стоимости;

n – количество временных периодов (месяцев) до выплаты суммы задолженности.

⁴ Дисконтирование, как известно, является процедурой приведения разновременных затрат и результатов в конкретном денежном потоке к сопоставимому виду (к одному моменту времени) с учетом их неравноценности. Более узко под дисконтированием понимают операцию приведения будущих разновременных затрат и результатов к текущему моменту времени. Приведение разновременных прошлых и текущих затрат и результатов к одному моменту времени, который по отношению к приводимым показателям может рассматриваться как будущий момент времени, часто называют операцией наращивания. В основе операций дисконтирования и наращивания общепринято используются нормы (ставки) дисконта.

Балансовая (номинальная) стоимость дебиторской задолженности дисконтируется (умножается) на фактор текущей стоимости.

Расчет рыночной стоимости дебиторской задолженности затратным подходом можно оформить в таблицу (табл. 1).

Таблица 1

Предприятие - дебитор (или для физических лиц - ФИО, адрес дебитора)	Балансовая стоимость дебиторской задолженности	Период просрочки, мес.	Корректировка на среднемесячный индекс инфляции	Банковская ставка по кредитам, мес.	Ставка дисконта в мес.	Фактор текущей стоимости	Настоящая стоимость, руб.	% от балансовой стоимости	Коэффициент возвратности	Стоимость ДЗ, руб.
.....										
ИТОГО										

Определение стоимости доходным подходом

Доходный подход основан на расчете возможных затрат покупателя на приобретение дебиторской задолженности с учетом рисков вложения в этот вид активов при условии, что покупатель сможет в судебном порядке взыскать задолженность (по номиналу) в установленные законом сроки. Здесь периодом является срок от даты оценки до момента истечения срока исковой давности. Например, если задолженность уже существует 20 месяцев, то для взыскания осталось 16 месяцев. В качестве стоимости, которую приобретет покупатель, принимается приведенная балансовая стоимость дебиторской задолженности. Проценты, которые он может получить с дебитора за пользование чужими денежными средствами в размере $1/300$ ставки рефинансирования, а также судебные издержки и налоги в расчетах, как правило, не учитываются.

Расчеты проводятся на основе дисконтирования суммы задолженности на весь период ее возможного погашения в 16 месяцев (на оставшийся срок до 36 месяцев) и предусматривают следующую последовательность действий.

- определить требуемую инвестором ставку доходности на инвестиции;
- рассчитать ожидаемый уровень инфляции;
- рассчитать риски инвесторов;
- рассчитать коэффициент изменения совокупного риска;
- определить нормы дисконтирования для будущих поступлений;
- выполнить дисконтирование балансовой стоимости дебиторской задолженности.

Ставка дисконтирования, применяемая для пересчета будущего денежного потока (номинальной стоимости дебиторской задолженности) в настоящую стоимость, является в основном функцией риска инвестиций в рассматриваемый проект. Отправной точкой расчета ставки дисконта любым из известных методов является безрисковая норма доходности [5].

Для определения настоящей стоимости дебиторской задолженности на момент оценки (покупки)

для прогнозируемого периода можно применить формулу:

$$PV = Cn / (1 + Rn), n = 1...x$$

где Cn – прогнозируемый денежный поток n -го периода (номинальная стоимость дебиторской задолженности);

Rn – прогнозируемая ставка дисконтирования для n -го периода

n – срок, в месяцах (срок взыскания дебиторской задолженности).

При этом применяются следующие допущения:

- не учитываются возможные рассрочки платежей и кредитные средства – предусматривается единовременная оплата в момент покупки.

- ставка дисконтирования и все ее составляющие на будущий период прогнозируются постоянными.

- индекс инфляции и риски рассчитываются на момент оценки и прогнозируются на весь последующий период постоянными.

Ставка дисконтирования рассчитывается с учетом рисков, характерных как для бизнеса в целом, так и с учетом факторов, влияющих только на конкретный актив - дебиторскую задолженность. Формула для определения ставки дисконтирования определяется в следующем виде:

$$R = R_{тр} \times K_{ср} \times K_{изм}$$

где $R_{тр}$ – требуемая инвестором ставка доходности,

$K_{ср}$ – коэффициент совокупного риска,

$K_{изм}$ – коэффициент изменения совокупного риска.

Результаты также оформляются в таблицу (табл. 2).

Коэффициент совокупного риска оценивается в целом для предприятия-кредитора, так же как и требуемая ставка доходности инвестора, для оценки каждой дебиторской задолженности необходимо определить собственную ставку дисконтирования. Корректировка ставки для каждой задолженности (или для определенного массива задолженности) производится с помощью коэффи-

циента-множителя, который учитывает особенно-сти конкретной задолженности с момента ее образования и резкие изменения рисков в зависимости от продолжительности периода взыскания задолженности. Коэффициент назван как «коэффициент изменения совокупного риска» и обозначается как $K_{изм}$. В данном коэффициенте учитывается влияние изменения дебиторской задолженности с периода образования до момента покупки. Коэффициент изменения совокупного риска является корректирующим и учитывает резкие изменения, характерные для ограниченного периода взыскания и больших рисков вложений в данные активы. Диапазон изменения коэффициента очень обширен. В конце периода коэффициент резко возрастает. Чем короче срок возможности взыскания долга, тем опаснее риск вообще. При просроченной более 24 месяцев задолженности риск возрастает многократно. Практически это означает, что двухлетние долги взыскиваются гораздо труднее, а просроченная трехлетняя задолженность может быть взыскана только в добровольном порядке, соглашением сторон.

В оценочной практике коэффициент изменения совокупного риска определен на основе эмпирических данных и находится в следующем диапазоне (табл.).

Таблица 2
Эмпирическая шкала риска

Величина риска	Наименование градаций риска
0,0-0,1	Минимальный
0,1-0,3	Малый
0,3 - 0,4	Средний
0,4-0,6	Высокий
0,6-0,8	Максимальный
0,8-1,0	Критический

Сравнительный подход основан на анализе рынка аналогичных активов и расчете корректировок на долги оцениваемого предприятия-кредитора. Как показывает практика оценки, рыночная стоимость, полученная сравнительным подходом, находится в диапазоне 10 – 15 % от первоначальной балансовой стоимости актива.

Каждый из этих подходов приводит к получению различных ценовых характеристик объектов.

Заключительным элементом процесса оценки является сравнение результатов, полученных на основе указанных подходов, и сведение полученных стоимостных оценок к единой стоимости объектов. Процесс сведения учитывает слабые и силь-

ные стороны каждого подхода, определяет, насколько существенно они отражают объективное состояние рынка. Сравнительный анализ позволяет взвесить достоинства и недостатки каждого из используемых подходов и установить окончательную средневзвешенную оценку объектов собственности на основании данных того подхода или подходов, которые расцениваются как наиболее надежные.

Литература

1. Зимин, В. С. Оценка дебиторской задолженности / В. С. Зимин // www.ValNet.ru.
2. Моряк, Е. Н. Еще один способ погашения коммунальных долгов / Е. Н. Моряк // Жилищно-коммунальное хозяйство: бухгалтерский учет и налогообложение. – 2007. – № 10.
3. О несостоятельности (банкротстве): Федеральный закон от 26.10.2002 № 127-ФЗ (принят ГД ФС РФ 27.09.2002) (ред. от 28.04.2009).
4. Об утверждении порядка инвентаризации дебиторской и кредиторской задолженности предприятий и организаций жилищно-коммунального комплекса: Приказ от 21 апреля 2003 г. № 142, утв. Государственный комитет Российской Федерации по строительству и жилищно-коммунальному комплексу.
5. Оценка земель сельскохозяйственного назначения: (на примере Кемеровской области) / Е. Г. Колесникова, О. Е. Медведева, Г. Е. Мекуш, Н. И. Опилат, Л. Н. Старикова; под общей ред. Л. Н. Стариковой; ГОУ ВПО «Кемеровский государственный университет». – Кемерово: Кузбассвузиздат, 2005. – С. 148-153.
6. По материалам РИА «Новости» http://www.dolgfactor.ru/debt_auction.
7. Постановление Правительства РФ от 25 июня 2003 г. № 367 «Об утверждении правил проведения арбитражным управляющим финансового анализа».
8. Постановление Правительства РФ от 27 декабря 2004 г. № 855 «Временные правила проверки арбитражным управляющим наличия признаков фиктивного и преднамеренного банкротства».
9. Списание дебиторской задолженности // Актуальные вопросы бухгалтерского учета и налогообложения. – 2007. – № 21.
10. Тарасова, Е. Ю. Механизм образования и ликвидации дебиторской задолженности // Аудиторские ведомости. – 2006. – № 7.

Рецензент – З. Н. Грекова – зав. кафедрой бухучета и аудита, ГОУ ВПО «Российский государственный торгово-экономический университет».

УДК 336.748

ЗАДАЧА ОПТИМИЗАЦИИ ЗАТРАТ НА РЕСУРСЫ ПРОИЗВОДСТВА С ОГРАНИЧЕНИЕМ В ВИДЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ФУНКЦИИ

А. В. Чекменёв, Т. Д. Чекменёва

Рассматривается математическая постановка и решение задачи минимизации затрат на ресурсы при производстве некоторого вида товара с ограничением в виде производственной функции нескольких переменных, выражающим ограниченность спроса на данный товар.

It's considered mathematical statement and the decision of the problem of minimization of expenses for resources by manufacture of some kind of the goods with restriction in the form of production function of the several variables, expressing limitation of demand for the given goods.

Ключевые слова: ресурсы, производственная функция, минимизация, метод множителей Лагранжа, эконометрическое моделирование.

Постановка задачи. При планировании производства классической задачей является задача максимизации доходов от реализации продукции фирмы с учётом затрат на ресурсы. Её упрощённую математическую модель можно представить в виде:

$$\begin{cases} p_0 f(x_1, \dots, x_n) - \sum_{i=1}^n p_i x_i \rightarrow \max \\ x_1 \geq 0, \dots, x_n \geq 0, \end{cases}$$

где p_0 – цена товара на рынке;

x_i – количество i -го ресурса;

p_i – цена i -го ресурса;

$f(x_1, \dots, x_n)$ – объём произведённого (поставленного на рынок) товара – производственная функция.

В настоящее время основной проблемой производства является нехватка (либо дороговизна) ресурсов. Поэтому всё чаще ставится задача максимизации дохода при условии минимизации затрат на ресурсы производства. При постановке такой задачи необходимо также определить оптимальный объём товара, поставляемого на рынок, рассматривая его как необходимое условие, выступающее в виде ограничения при минимизации объёма ресурсов. Другими словами, надо производить столько товара, сколько необходимо потребителю, т. е. согласно имеющемуся спросу на этот товар. Данное требование выражается в том, что оптимальный объём производства (поставки) не только требует минимизации ресурсов, но и должен соответствовать требованиям имеющегося спроса (y^*). Таким образом, к поставленной задаче максимизации дохода необходимо добавить ограничение вида: $f(x_1, \dots, x_n) = y^*$.

Величина y^* (по сути, план производства) может быть определена с помощью методов теории управления запасами как величина спроса, минимизирующего издержки. Тогда задача, в которой определяется минимальное количество ресурсов, необходимое для производства (поставки) заданного объёма

товара y^* , определяемого имеющимся спросом, может быть представлена в виде:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n p_i x_i \rightarrow \min \\ f(x_1, \dots, x_n) = y^* \end{cases} \quad (1)$$

$$x_1 \geq 0, \dots, x_n \geq 0.$$

Решением задачи (1) является вектор (x_1^*, \dots, x_n^*) , обеспечивающий минимум затрат на ресурсы при заданном ограничении на производство рассматриваемого товара. Для решения данной задачи требуется задать функцию $f(x_1, \dots, x_n)$, представляющую собой зависимость количества произведённого товара от количества использованных ресурсов, т. е. производственную функцию.

В работе [1] был рассмотрен простой частный случай задачи (1), когда для производства используется два вида ресурсов. Получены формулы для определения оптимального количества x_1^* , x_2^* этих ресурсов с использованием оптимальной величины y^* , определяемой моделью оптимизации поставок теории запасов. Очевидно, на реальных производствах количество видов используемых ресурсов значительно больше. Поэтому представляет интерес решение рассматриваемой задачи в более общем виде.

Решение задачи. Пусть производственная функция $y = f(x_1, \dots, x_n)$ зависит от произвольного количества ресурсов n . Наиболее часто производственная функция задаётся в форме степенной функции вида:

$$y = K x_1^{\alpha_1} \dots x_n^{\alpha_n}, \quad (1)$$

где $K, \alpha_1, \dots, \alpha_n$ – известные параметры, характеризующие: $\alpha_1, \dots, \alpha_n$ – коэффициенты эластичности потребления ресурсов;

K – объём производства в условиях неизменности потребляемых ресурсов.

На практике, как правило, эти параметры заранее неизвестны. Однако их можно определить статистическим путём с помощью эконометрического моделирования зависимости (1) при имеющихся результатах наблюдения переменных y, x_1, \dots, x_n на определённом промежутке функционирования производства.

Тогда математическая формулировка задачи минимизации затрат ресурсов при ограничении на требуемый объём производства принимает вид:

$$\begin{cases} p_1 x_1 + \dots + p_n x_n \rightarrow \min \\ K x_1^{\alpha_1} \dots x_n^{\alpha_n} = y^* \\ x_1, \dots, x_n \geq 0. \end{cases} \quad (2)$$

Для преобразования задачи (2) в задачу минимизации без ограничений применяем метод множителей Лагранжа. Составим функцию Лагранжа:

$$L(x_1, \dots, x_n, \lambda) = p_1 x_1 + \dots + p_n x_n + \lambda (K x_1^{\alpha_1} \dots x_n^{\alpha_n} - y^*) \rightarrow \min.$$

Используя необходимое условие экстремума, получим систему уравнений:

$$\begin{cases} \frac{\partial L}{\partial x_1} = p_1 + \lambda K \alpha_1 x_1^{\alpha_1 - 1} x_2^{\alpha_2} \dots x_n^{\alpha_n} = 0 \\ \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \\ \frac{\partial L}{\partial x_n} = p_n + \lambda K \alpha_n x_1^{\alpha_1} \dots x_{n-1}^{\alpha_{n-1}} x_n^{\alpha_n - 1} = 0 \\ \frac{\partial L}{\partial \lambda} = K x_1^{\alpha_1} \dots x_n^{\alpha_n} - y^* = 0. \end{cases} \quad (3)$$

Решение данной системы позволяет определить искомые оптимальные объёмы ресурсов x_1^*, \dots, x_n^* для производства необходимого (соответствующего спросу) объёма продукции y^* . Данная система представляет собой нелинейную систему алгебраических уравнений, и её непосредственное решение является достаточно сложной проблемой. Для решения системы (3) приведём её к виду:

$$\begin{cases} \lambda K \alpha_1 x_1^{\alpha_1 - 1} x_2^{\alpha_2} \dots x_n^{\alpha_n} = -p_1 \\ \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \\ \lambda K \alpha_n x_1^{\alpha_1} \dots x_{n-1}^{\alpha_{n-1}} x_n^{\alpha_n - 1} = -p_n \\ K x_1^{\alpha_1} \dots x_n^{\alpha_n} = y^*. \end{cases} \quad (4)$$

Разделив 2-е, ..., n -е уравнения системы (4) на первое уравнение, затем выражая переменные x_2, \dots, x_n через x_1 и подставляя в последнее уравнение, найдём:

$$x_i^* = \frac{\alpha_i}{p_i} \left[\frac{y^*}{K} \prod_{i=1}^n \left(\frac{p_i}{\alpha_i} \right)^{\alpha_i} \right]^{1/\alpha}, \quad i = 1, \dots, n, \quad (5)$$

где $\alpha = \sum_{i=1}^n \alpha_i$.

При этом минимальный размер затрат на ресурсы составит:

$$\sum_{i=1}^n p_i x_i^* = \sum_{i=1}^n \alpha_i \left[\frac{y^*}{K} \prod_{i=1}^n \left(\frac{p_i}{\alpha_i} \right)^{\alpha_i} \right]^{1/\alpha}$$

Следует отметить, что данные выражения имеют экономический смысл лишь при условии:

$$\alpha_i > 0, \quad i = 1, \dots, n.$$

Ограничительную величину объёма производства y^* как величину, соответствующую уровню спроса на продукцию, можно определить на основе теории управления запасами. Используя, например, известную модель Уилсона, получим:

$$y^* = \sqrt{2\beta \cdot I/h},$$

где I – организационные издержки,

β – интенсивность спроса,

h – издержки содержания запасов.

Тогда оптимальные объёмы ресурсов x_1^*, \dots, x_n^* будут равны:

$$x_i^* = \frac{\alpha_i}{p_i} \left[\frac{\sqrt{2\beta \cdot I/h}}{K} \prod_{i=1}^n \left(\frac{p_i}{\alpha_i} \right)^{\alpha_i} \right]^{1/\alpha}, \quad i = 1, \dots, n,$$

а соответствующие им минимальные издержки производства составят:

$$\sum_{i=1}^n \alpha_i \left[\frac{\sqrt{2\beta \cdot I/h}}{K} \prod_{i=1}^n \left(\frac{p_i}{\alpha_i} \right)^{\alpha_i} \right]^{1/\alpha}$$

Если для производственной функции

$y = K x_1^{\alpha_1} \dots x_n^{\alpha_n}$ выполняется условие:

$$\sum_{i=1}^n \alpha_i = \alpha = 1 \quad (\text{что достаточно часто имеет место}),$$

то полученные формулы значительно упрощаются.

Пример. Рассмотрим применение полученных формул для решения конкретной задачи оптимизации производственных затрат на примере производства мяса птицы на какой-либо птицефабрике. Перечень используемых ресурсов содержит несколько наименований: корма, медикаменты и витамины, затраты на оплату труда, ГСМ и др. По имеющимся отчётным данным о количестве использованных ресурсов и произведённой продукции (x_1, \dots, x_n, y) можно построить производственную функцию как уравнение регрессии. Пусть, например, отбирая наиболее значимые факторы x , получили следующий вид функции:

$$y = 39,6 x_1^{0,6} x_2^{0,36} x_3^{0,04}$$

Таким образом, известны параметры производственной функции $K, \alpha_1, \dots, \alpha_n$. Предположим, что цены на ресурсы x_1, \dots, x_3 составляют:

$p_1 = 350, p_2 = 520, p_3 = 250$ руб. соответственно за единицу ресурса. Произведя оценку спроса на продукцию данной птицефабрики (например, с помощью модели Уилсона либо по имеющимся данным о реализации продукции), определим величину $y^* = 1300$ тонн. Теперь можем найти, согласно выражений (5), минимальные объёмы ресурсов, необходимые для производства продукции объёма y^* :

$$\alpha = \sum_{i=1}^3 \alpha_i = 0,6 + 0,36 + 0,04 = 1.$$

$$\begin{aligned} x_1^* &= \frac{\alpha_1}{p_1} \left[\frac{y^*}{K} \prod_{i=1}^3 \left(\frac{p_i}{\alpha_i} \right)^{\alpha_i} \right]^{\frac{1}{\alpha}} = \\ &= \frac{0,6}{350} \left[\frac{1300}{39,6} \left(\frac{350}{0,6} \right)^{0,6} \left(\frac{520}{0,36} \right)^{0,36} \left(\frac{250}{0,04} \right)^{0,04} \right]^1 = \\ &= \frac{0,6}{350} \cdot 29182,72 = 50,03. \end{aligned}$$

$$x_2^* = \frac{\alpha_2}{p_2} \frac{y^*}{K} \prod_{i=1}^3 \left(\frac{p_i}{\alpha_i} \right)^{\alpha_i} = \frac{0,36}{520} \cdot 29182,72 = 20,2$$

$$x_3^* = \frac{\alpha_3}{p_3} \frac{y^*}{K} \prod_{i=1}^3 \left(\frac{p_i}{\alpha_i} \right)^{\alpha_i} = \frac{0,04}{250} \cdot 29182,72 = 4,7.$$

Таким образом, для рационализации затрат на ресурсы предприятию следует закупить 50 ед. ресурса 1, 20 ед. ресурса 2 и 5 ед. ресурса 3. При этом минимальная величина затрат на ресурсы составит:

$$\sum_{i=1}^n p_i x_i^* = 29182,72 \text{ руб.}$$

Литература

1. Чекменёв, А. В. Обратная задача логистики / Информац. технологии и матем. моделирование (ИТММ-2008): матер. VII Всерос. научно-практ. конф. с межд. участием. – Томск: Изд-во Томского ун-та, 2008. – Ч. 1. – С. 214–216.

Рецензент – В. В. Мешечкин – канд. физ.-мат. наук, доцент, ГОУ ВПО «Кемеровский государственный университет».

Если для производственной функции

$y = K x_1^{\alpha_1} \dots x_n^{\alpha_n}$ выполняется условие:

$$\sum_{i=1}^n \alpha_i = \alpha = 1 \quad (\text{что достаточно часто имеет место}),$$

то полученные формулы значительно упрощаются.

Пример. Рассмотрим применение полученных формул для решения конкретной задачи оптимизации производственных затрат на примере производства мяса птицы на какой-либо птицефабрике. Перечень используемых ресурсов содержит несколько наименований: корма, медикаменты и витамины, затраты на оплату труда, ГСМ и др. По имеющимся отчётным данным о количестве использованных ресурсов и произведённой продукции (x_1, \dots, x_n, y) можно построить производственную функцию как уравнение регрессии. Пусть, например, отбирая наиболее значимые факторы x , получили следующий вид функции:

$$y = 39,6 x_1^{0,6} x_2^{0,36} x_3^{0,04}.$$

Таким образом, известны параметры производственной функции $K, \alpha_1, \dots, \alpha_n$. Предположим, что цены на ресурсы x_1, \dots, x_3 составляют:

$p_1 = 350, p_2 = 520, p_3 = 250$ руб. соответственно за единицу ресурса. Произведя оценку спроса на продукцию данной птицефабрики (например, с помощью модели Уилсона либо по имеющимся данным о реализации продукции), определим величину $y^* = 1300$ тонн. Теперь можем найти, согласно выражений (5), минимальные объёмы ресурсов, необходимые для производства продукции объёма y^* :

$$\alpha = \sum_{i=1}^3 \alpha_i = 0,6 + 0,36 + 0,04 = 1.$$

$$\begin{aligned} x_1^* &= \frac{\alpha_1}{p_1} \left[\frac{y^*}{K} \prod_{i=1}^3 \left(\frac{p_i}{\alpha_i} \right)^{\alpha_i} \right]^{\frac{1}{\alpha}} = \\ &= \frac{0,6}{350} \left[\frac{1300}{39,6} \left(\frac{350}{0,6} \right)^{0,6} \left(\frac{520}{0,36} \right)^{0,36} \left(\frac{250}{0,04} \right)^{0,04} \right]^1 = \\ &= \frac{0,6}{350} \cdot 29182,72 = 50,03. \end{aligned}$$

$$x_2^* = \frac{\alpha_2}{p_2} \frac{y^*}{K} \prod_{i=1}^3 \left(\frac{p_i}{\alpha_i} \right)^{\alpha_i} = \frac{0,36}{520} \cdot 29182,72 = 20,2$$

$$x_3^* = \frac{\alpha_3}{p_3} \frac{y^*}{K} \prod_{i=1}^3 \left(\frac{p_i}{\alpha_i} \right)^{\alpha_i} = \frac{0,04}{250} \cdot 29182,72 = 4,7.$$

Таким образом, для рационализации затрат на ресурсы предприятию следует закупить 50 ед. ресурса 1, 20 ед. ресурса 2 и 5 ед. ресурса 3. При этом минимальная величина затрат на ресурсы составит:

$$\sum_{i=1}^n p_i x_i^* = 29182,72 \text{ руб.}$$

Литература

1. Чекменёв, А. В. Обратная задача логистики / Информац. технологии и матем. моделирование (ИТММ-2008): матер. VII Всерос. научно-практ. конф. с межд. участием. – Томск: Изд-во Томского ун-та, 2008. – Ч. 1. – С. 214–216.

Рецензент – В. В. Мешечкин – канд. физ.-мат. наук, доцент, ГОУ ВПО «Кемеровский государственный университет».