Е. И. Смирнов, Т. В. Зыкова, С. А. Тихомиров

Управление школьным математическим образованием с синергетическим эффектом

Исследуются процессы управления школьным математическим образованием (профильные классы) с синергетическим эффектом на основе выявления и исследования «проблемных зон» школьной математики средствами компьютерного и математического моделирования. Исследование касается задач освоения школьниками сложных понятий и процедур в контексте уровневой организации и наглядного моделирования в процессе выявления сущности учебных элементов (площадь поверхности, функциональные зависимости, итерационные процессы, геометрические фигуры и т.п.). Актуализируются современные достижения в науке (фрактальная геометрия, теория кодирования, нечеткие множества и fuzzy-logic, нелинейная динамика и т.п.) и адаптация важнейших обобщенных конструкций к наличному состоянию школьных знаний, касающихся анализа и сущности возникающей «проблемной зоны» школьной математики. Разработаны на основе концепции фундирования опыта личности технологические конструкты и процедуры, компьютерный дизайн нелинейной динамики проявления синергетических эффектов и выявлены динамические инварианты в ходе освоения сложных понятий. Актуализированы процессы интеграции математических, информационных, естественнонаучных и гуманитарных знаний в ходе обучения математике. Показана эффективность процессов управления математическим образованием с синергетическим эффектом для развития интеллектуальных операций мышления и повышения качества освоения математики.

Ключевые слова: управление математическим образованием, наглядное моделирование, компьютерный дизайн

Благодарности: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №16-18-10304)

Ссылка для цитирования:

Смирнов Е. И., Зыкова Т. В., Тихомиров С. А. Управление школьным математическим образованием с синергетическим эффектом // Перспективы науки и образования. 2019. № 1 (37). С. 190-202. doi: 10.32744/pse.2019.1.14

E. I. SMIRNOV, T. V. ZYKOVA, S. A. TIKHOMIROV

The management of school mathematical education with synergistic effect

This paper studies the processes of school mathematical education management (profile classes) with synergistic effect based on the identification and research of "problem areas" of school mathematics by means of computer and mathematical modeling. The research concerns the tasks of students' mastering complex concepts and procedures in the context of the level organization and visual modeling in the process of identifying the essence of educational elements (surface area, functional dependencies, iterative processes, geometric shapes, etc.). Modern achievements in science (fractal geometry, the theory of coding, fuzzy sets and fuzzy-logic, nonlinear dynamics, etc.), as well as adaptation of the most important generalized structures to the existing state of school knowledge concerning the analysis and the essence of the emerging "problem area" of school mathematics, are actualized. Technological constructs and procedures, computational design of the nonlinear dynamics of synergistic effects are developed based on the concept of the foundation of personality experience, and dynamic invariants in the development of complex concepts are identified. The processes of integration of mathematical, information, natural science, and humanitarian knowledge in the course of teaching mathematics are actualized. The efficiency of mathematical education management processes with synergistic effect for the development of intellectual thinking operations and improvement of the quality of mathematics learning is shown.

Key words: mathematical education management, visual modeling, computer design

Acknowledgements: The research was supported by grant from the Russian Science Foundation (Project no. 16-18-10304)

For Reference:

Smirnov, E. I., Zykova, T. V., & Tikhomirov, S. A. (2019). The management of school mathematical education with synergistic effect. *Perspektivy nauki i obrazovaniya – Perspectives of Science and Education*, 37 (1), 190–202. doi: 10.32744/pse.2019.1.14 (In Russ., abstr. in Engl.)

Введение

Образовательное пространство России (особенно математическое образование как в школе, так и в вузе) находится в настоящее время в состоянии предтечи «революционной ситуации». Цифровизация школы и вуза объявлена главным трендом российского образования и призвана дать ответы на «взрывное» появление новых компетенций, изменение рынка труда и открытости глобального информационного пространства. Молодые люди современного мира явно стали более нетерпимыми к проявлениям устоявшихся штампов в образовании, отсутствию гибкости в обучающих воздействиях, стали прагматично оценивать складывающиеся обстоятельства жизни и значимость знаний и компетенций, отдавать приоритет выстраиванию личностных предпочтений в организации своей будущей жизни и образовательных перспектив. В то же время, интеллектуальные операции мышления (понимание, конкретизация, абстрагирование, обобщение, моделирование, аналогия, ассоциации и т.п.), лежащие в основе формирования универсальных учебных действий обучаемых, по разным объективным и субъективным причинам перестали эффективно развиваться в школьном образовании. И в этом процессе теряется роль математического образования как одного из наиболее эффективных инструментов личностного развития и освоения социального опыта предшествующих поколений, в том числе на фоне грандиозных образцов значимости приложений математики к реальной жизни, науке и развитию производительных сил. К объективным факторам необходимости и трудности освоения многоступенчатых математических абстракций для обучающегося добавляется определенная изолированность математических дисциплин друг от друга, а также от естественнонаучных и информационных знаний и способов деятельности. Тем более печально, что это происходит на фоне грандиозных достижений и приложений математики к реальной жизни, наукам и технологиям. Достаточно упомянуть достижения фрактальной геометрии [3; 4; 11; 20], теории хаоса и катастроф [1; 26], fuzzy-logic [9; 10; 29], теории кодирования и шифрования [7; 8; 19; 25], теории обобщенных функций [17] и т.п. Именно управление образовательными процессами на базе освоения сложного знания средствами математического и компьютерного моделирования способны дать мощный мотивационный заряд к изучению математических дисциплин; как следствие, повысится интерес к освоению математики с реальным развитием теоретического мышления (сравнение, аналогия, анализ, синтез и т.п.), реализуются процессы доминирования логической схемы рассуждений, четкая динамика хода рассуждений, умение узнать и выделить главное, способность к обобщению, анализу, синтезу, моделированию. Одна из причин этой ситуации заключается в слабом акцентировании, как в школьной, так и в вузовской математике направлений индивидуализированного продвижения обучающихся к *проявлению сущностей базовых математических понятий и процедур*: производная, площадь поверхности, интеграл, мера и вероятность и т.п., равно как и их прикладной значимости. Именно в продвижении в этих направлениях начинает проявляться *диалог математических, информационных, естественнонаучных и гуманитарных культур*, а также и *единство содержания математики* в симбиозе разных дисциплин, уровней освоения и методов постижения сущностей. Недостаточно используются в математическом образовании в школе и вузе компьютерные системы, платформы и педагогические про-

дукты (MathLab, MatCad, GeoGebra, Autograph, ClassPad400, Qt Creator и др.), не только как пользовательский интерфейс, но и как симбиоз математики и информатики, актуально поддерживающий освоение сложного математического знания на основе наглядного моделирования и диалога математической, информационной, естественнонаучной и гуманитарной культур. В то же время явная нелинейность в структурах закономерностей развития материи, биологических, социальных и личностных процессов, экспоненциальный рост объема информации, эмерджентность возможностей социальных коммуникаций и доступность информационных сред определяют факторы необходимости изменения образовательных парадигм не только в направлении открытости, информатизации, индивидуализации и социальных взаимодействий, но и в способах, технологиях и процессах освоения математического содержания. В конце XX века в работах Г. Хакена, Т. Куна, Б. Мандельброта, И. Пригожина и др. стала выпукло оформляться постнеклассическая научная картина мира как парадигмальный эффект совокупности теоретико-методологических установок, опирающийся на приоритет процессов самоорганизации динамических нелинейных систем на основе согласованных действий разных факторов и начал (см. также [12]). Необходимость в проявлении синергии математического образования обуславливается возможностью включенности обучающегося (и актуализации при этом) процессов самоорганизации и мотивации к освоению сущностей математических объектов и процедур на основе понимания и освоения современных достижений в науке. Особенности и необходимость современного развития образования показывают, что одним из эффективных путей решения образовательных проблем развития математического образования может являться разработка и реализация *синергетической парадигмы* в школе и вузе на основе создания инновационного комплекса педагогических, информационных и организационных условий в *контексте симбиоза научно-технократической и гуманитарной парадигм*. Под синергией в математическом образовании будем понимать «симбиоз нелинейных эффектов самоорганизации и саморазвития личности в ходе освоения математической деятельности в условиях флуктуации сложных стохастических процессов познания посредством согласования разных факторов и начал в трех контекстах: содержательном (семиотическом), процессуальном (имитационном) и социальном» [2]. В последнем исследовании доказана возможность реализации условий повышения эффективности математического образования и развития личности на основе адаптации современных достижений в науке к школьному и вузовскому обучению математике: информационной насыщенности мотивационного поля учения (в том числе, процессов цифровизации школы и вуза), множественности постановки целей и поиска бифуркационных переходов в математической деятельности, флуктуационного разнообразия параметризации и интеграции математических, информационных, естественнонаучных и гуманитарных знаний в построении математических результатов в форме аттракторов и бассейнов притяжения нелинейных преобразований на основе математического и компьютерного моделирования (в том числе, использование возможностей использования нейронных сетей и интеллектуальных систем), диалога культур и сетевого взаимодействия на единых информационных платформах исследовательской деятельности с учетом стохастичности процессов и обобщенности результатов, постановки эксперимента в математике и проявления синергетических эффектов развития личности в условиях продвижения к пониманию сущности математических объектов и процедур. Появились возможности управления школьным математическим образованием с проявлением синергетических эффектов и наметились

перспективы адекватного ответа на современные вызовы и противоречия в математическом образовании, отвечающие потребностям личностного развития и математико-информационной компетентности каждого обучающегося. Именно, появились возможности и начала технологии самоорганизации и диалога культур обучающихся путем разработки синергетической парадигмы освоения математики в школе в контексте мотивированного, когерентного и уровневого вскрытия и творческого преодоления «проблемных зон» математической деятельности. *Ввиду вышесказанного это становится задачей национального масштаба и национальной безопасности России.*

Методология и технологии

Ученые философы, педагоги и психологи (И. Кант, Г. В. Гегель, И. Пригожин, Г. Хакен, В. В. Орлов, В. С. Степин, И. С. Утробин, Х. Альвен, Т. С. Васильева и др.) убедительно показали, что эффективное развитие личности происходит при освоении сложного знания (разных уровней его сложности в зависимости от личностного развития обучающихся, включая инклюзивное образование), создания ситуаций преодоления трудностей в процессе освоения знаний и единой картины мира на основе высокой степени развертывания учебной и профессиональной мотивации обучающихся в единой сети взаимодействий, самостоятельности и когерентности. В познании сложного сам процесс познания «становится коммуникацией, петлей между познанием (феноменом, объектом) и познанием этого познания» (Э. Морен). При этом актуализируются возможности решения проблемы самоорганизации и саморазвития личности школьника как субъекта образования в процессе освоения математики на основе уровневого сложного (в том числе, в условиях неопределенности, полифункциональности и множественности постановки целей обучения математике), что диктует необходимость включения в единую целостность мотивационно-ценностных и эмоционально-волевых, исследовательских и метакогнитивных, социальных и личностных стратегий поведения в ходе познавательной деятельности по освоению инновационного математического содержания на основе диалога культур и функционирования единой и эффективной коммуникационной сети (К. Майнцер, Г. Г. Малинецкий, Э. Морен, Г. Хакен и др.). Вместе с А. Н. Подъяковым [14] отметим следующие особенности в решении сложных задач в математическом образовании:

- в поведении и развитии комплексной динамической системы всегда есть доля *неопределенности и непредсказуемости*; она требует множества разнообразных описаний и решений, отличающихся друг от друга и дополняющих друг друга; не менее эффективными орудиями являются понятия нестрогие и нечеткие, построенные на основе эмпирических, а не теоретических обобщений;
- комплексная система характеризуется изменениями не только на уровне конкретных проявлений, но и на уровне своей сущности. В сложных системах эффективные правила (*фундирующие модусы*) [23] поэтапного развертывания сущности могут быть выделены, но они будут с неизбежностью достаточно вариативны на основе *наглядного моделирования* [22] и принципиально зависимы от контекста;
- теоретические модели сколь угодно высокого уровня принципиально ограничены. Для эффективного исследования сложных динамических систем *необходимы разнообразные поисковые пробы (экспериментальные срезы, сравнительный анализ конкретных проявлений, компьютерное моделирование, аналогии, анализ через*

синтез [16] и т.п.) – реальные взаимодействия с системой, а не только теоретическая деятельность с ее абстрактными моделями;

- при исследовании сложной системы *необходима вариативность целеполагания* – постановка разнообразных, разнотипных и разноуровневых целей, которые могут конкурировать между собой. Одним из основных эмоциональных состояний человека при исследовании сложных систем является неуверенность, сомнение, готовность принять двоякие (на основе прогноза и случайные) результаты действий, и т.д.;

- результаты деятельности человека со сложной системой, результаты взаимодействия с ней *не могут быть предсказаны полностью*, исчерпывающим образом. Наряду с прямыми, прогнозируемыми результатами образуются разнообразные побочные, непредсказуемые продукты.

Управление синергией математического образования в школе возможно и эффективно при характеристике, выстраивании иерархий и актуализации *внутренних атрибутов (механизмов)* самоорганизации различных типов (*содержательного* – образно-геометрического, знаково-символического, вербального, конкретно-деятельностного; *процессуального* – методы, технологии, приемы, идеи, алгоритмы познавательной деятельности, *социального* – диалог культур, работа в малых группах, ценностные ориентации и т.п.), проявляющихся посредством прохождения зон бифуркации и формирующих успешность функционирования системы как целостности на все новых усложняющихся уровнях. Такими механизмами могут быть фрактальные структуры, обобщенные конструкторы «проблемных зон» школьной математики, регулятивные системы правил и ценностей в освоении математической деятельности, выстраивание диалога культур как формы развертывания интегративных процессов, универсальных закономерностей построения математических объектов и процедур и т.п. При этом интеграция естественнонаучной, гуманитарной, математических культур актуализируется использованием информационных технологий и дидактические процессы приобретают новое качество: естественнонаучные знания обогащаются гуманитарным аспектом, гуманитарные знания приобретают научную основу обоснования сущности использованием естественнонаучного и математического аппарата и методов. Одним из основных средств, генерирующих синергию математического образования и определяющих задачи и направление настоящего исследования, являются процессы адаптации современных достижений в науке к обучению математике в школе и вузе. Термин «синергия» (*synergeia* (греч.) – совместное действие, сотрудничество) был предложен в конце 60-х годов физиком-теоретиком из Штутгарта (Германия) Г. Хакеном [6]. Предметом синергетики являются сложные самоорганизующиеся открытые системы, далекие от условия равновесия (когда происходит нелинейный обмен веществом, энергией, информацией). В философии саморазвитие рассматривается как часть самодвижения сложных систем (в частности личностной структуры), которая выходит за рамки самопроизвольного, спонтанного изменения и знаменует переход на более высокую ступень ее организации. Исследование и значимость примеров самоорганизации в живой и неживой природе через процессы разрушения и созидания (хаоса и порядка) показали, что нарастание сложности в открытых и неравновесных системах не является деструктивным механизмом, а наоборот является необходимым переходом к новому уровню развития, более сложным и упорядоченным формам организации, в том числе, в образовательных структурах. В математическом образовании обучающегося важнейшей проблемой является вопрос адекватного вос-

приятия учебного материала и деятельности, приводящей к пониманию на фоне высокой учебной или профессиональной мотивации.

Именно разрешение данного противоречия – ключ к преодолению формализма в освоении математики, того негативного явления, захлестнувшего и среднюю и высшую школу в последние десятилетия. Наши функционеры находят выход из этой ситуации упрощением содержания математического образования и процессами «жесткого» упорядочивания процессов освоения математики (ЕГЭ на разных уровнях, дифференциация процедур и однозначность выводов, гарантированность и предсказуемость решений и результатов обучения, недостаточность коммуникаций в открытых, стохастических и сетевых сообществах и т.п.). Результаты такого подхода к образованию (не только математическому) видны уже рядовому члену общества: падение общей математической культуры, неразвитость интеллектуальных операций школьников, узкая направленность образовательных интересов и утрата ценностей образования, отставание от мировых образовательных систем и стандартов, чего никогда не было полвека назад. Необходимо срочно вводить в содержание математического образования в школе и вузе блоки открытых, стохастических и неравновесных сложных форм, средств и структур математического содержания, в условиях столкновения и интеграции разнообразных культур и обеспечение их диалога (математических, гуманитарных, естественнонаучных, информационных культур) и самоорганизации.

Реализация объявленной концепции связана с освоением обучающимися сложного знания средствами математического и компьютерного моделирования в насыщенной информационно-образовательной среде. *Эффективным инструментом управления освоением сложного знания может являться исследование и адаптация к школьной или вузовской математике современных достижений в науке, ярко и значимо представленных в приложениях к реальной жизни, развитию других наук, высоким технологиям и производствам.*

1. Базовым понятием процессов управления когнитивной деятельностью обучающихся в условиях адаптации современных достижений в науке является понятие *фундирования опыта личности*. В чем же заключается феномен фундирования? Фундирование (нем. Fundierung – обоснование, основание) – термин, используемый в феноменологии (и в других науках) для описания отношений онтологического обоснования. Э. Гуссерль определяет отношение фундирования следующим образом: А фундировано посредством В, если для существования А сущностно необходимо В, только в единстве с которым А может существовать. Отношение фундирования может быть односторонним (А фундировано в В) или двухсторонним (А и В фундированы друг в друге). Согласно феноменологическому учению, все комплексные высокоуровневые акты и предметности фундированы в изначальных простых актах и предметах. В педагогику впервые понятие фундирования было введено В. Д. Шадриковым и Е. И. Смирновым в 2002 году [18] как процесс создания условий для поэтапного углубления и расширения школьных знаний в направлении формирования целостной системы научных и методических знаний, как процесс формирования целостной системы профессионально-педагогической деятельности. В дальнейшем авторы расширили базовый принцип на процесс фундирования опыта личности с наличного его состояния в направлении поэтапного проявления сущности базового учебного элемента как для школы, так и для вуза. Принципиальным отличием структурообразующего принципа фундирования для профессионального образования педагога является определение основы для спиралевидной схемы моделирования базовых знаний, умений, навыв-

ков предметной (в том числе, математической) подготовки обучающихся. Концепция фундирования предписывает необходимость, согласно которой в основной образовательной программе вуза должны быть формализованы и материализованы в виде конкретных учебных дисциплин и форм учебной деятельности не только обоснованные методологически дидактические (когнитивные) процессы, формирующие целеполагание, приобретение, применение и преобразование опыта личности, но также адаптационные процессы, характеризующие профессиональные пробы принятия студентом профессии учителя и личностные процессы, направленные на проявление особенностей и развитие мотивации и эмоций, рефлексии и саморегуляции, самооценки и выбора, интеллекта и креативности личности. Поэтому концепция фундирования процесса становления личности педагога выступает как эффективный механизм преодоления профессиональных кризисов становления учителя и актуализации интегративных связей между наукой, профессиональным образованием и школой. Такая эффективность продемонстрирована многолетним опытом теоретической и экспериментальной проработки.

Одна из принципиальных находок рассматриваемой концепции заключается в переходе от процессов фундирования знаний (ориентировочная основа деятельности) к фундированию опыта личности в процессе освоения математической деятельности на основе наличного ее состояния. Рассмотрение концепции фундирования в рамках известной культурно-исторической парадигмы Л. С. Выготского приводит к необходимости проектирования в процессе обучения поэтапного развертывания интегративных конструкторов знания и образцов деятельности в соответствии с наличным состоянием опыта и развития высших психических функций индивида (социальное). При этом должно диагностироваться появление обобщенных конструкторов состояния приобретенного опыта и «прирост» личностных характеристик в «зонах ближайшего развития» («цепь качественных изменений» по Л. С. Выготскому) на фоне совместной деятельности педагога и ученика в явно актуализированном спиралевидном или кластерном формате (индивидуализация) процессов представления знаний и способов деятельности. Качественная особенность появления фундирующего эффекта в развертывании спиралей или кластеров фундирования заключается в «априорном» выявлении и дальнейшей актуализации обобщенных существенных связей не только в рассматриваемых процессах, явлениях и фактах в ходе познавательной деятельности, но и в становлении психических процессов и функций обучаемых в «зонах ближайшего развития» [28].

Таким образом, фундирование опыта как инновационный механизм развития личности и постижения сущности обобщенного конструкта математического образования в ходе освоения современных достижений в науке может разворачиваться в трех образовательных нишах: содержании школьного обучения математике, технологии реализации адаптационных процессов и развития личностных качеств обучающихся.

2. Адаптационные процессы рассматриваются учеными психологами и педагогами как динамический комплекс интегрального взаимодействия внутренних результатов (система знаний, умений, установок, ценностей) и адекватных механизмов приспособления личности к изменений внешней среды и результатам деятельности с развивающим эффектом [15; 21; 27]. В нашем исследовании феномен адаптации современных достижений в науке (как проявлений внешней среды) к школьной математике в контексте актуализации механизмов приспособления и научения личности

выступает первоначально как процесс и результат исследования неясного, нечеткого, неопределенного состояния сущности обобщенного конструкта и отдельных ее качественных проявлений). Далее в технологическом описании адаптация выступает в контексте адекватного освоения и фундирования сущности сложного знания как обобщенного конструкта с потенциалом позитивного воздействия на расширение опыта и качеств личности путем взаимодействия со школьными учебными элементами, роста учебной и профессиональной мотивации и саморазвития личности с проявлением синергетических эффектов. В соответствии с результатами исследования [5] таковыми будут 7 синергетических эффектов реализации адаптационных процессов: когнитивный, мотивационный, профессиональный, инновационный, социальный, экономический и духовно-нравственный. При этом в работе [13] были выявлены и характеризованы *четыре этапа проявления синергии* математического образования на основе актуализации диалога математической, информационной, естественнонаучной и гуманитарной культур: подготовительный, содержательно-технологический, контрольно-коррекционный и обобщающе-преобразующий. На следующем рис.1 представлен граф согласования этапов проявления сущности обобщенного конструкта современного научного знания в освоении математики и этапов проявления синергии математического образования [24].

Согласование этапов проявления модусов в обучении математике

Рисунок 1 Согласование этапов проявления сущности учебного элемента и синергии математического образования

3. Тип моделирования обобщенного конструкта современного научного знания в ходе математической деятельности на основе выявленной сущности может быть феноменологическим и генетическим. Следуя теории В.В. Давыдова и Д.Б. Эльконина можно отметить, что феноменологический тип соответствует атрибутам и свойствам формирования эмпирического мышления, когда происходит обозначение чувственно данных свойств объектов и их связей, абстрагирование этих свойств, объединение их в классы и обобщение на основе формального тождества их отдельных свойств и их внешних изменений во взаимодействии. *Генетический тип* моделирования, соответствует атрибутам и свойствам формирования теоретического мышления, когда осуществляется установление неявных скрытых существенных связей объектов, процессов и явлений роли и функций отношения компонентов внутри системы, условия их происхождения и преобразования. После анализа выявления сущности и самого идеального объекта происходит восхождение к истинному чувственно-конкретному целому. Поэтому технология проявления синергии в процессах адаптации современных достижений в науке в школьной математике может быть ориентирована соответственно на феноменологический или генетический тип выявления сущности обобщенного конструкта научного знания.

Кластер управления фундированием обобщенного конструкта с актуализацией атрибутов синергии: представляет собой дидактическую модель фундирования проявлений синергии и адаптации сущности обобщенного конструкта содержания «проблемных зон» школьной математики, состоящую из 4 фаз: *первоначального уровня* освоения сущности базового учебного элемента на интуитивно-наглядном уровне, *функционального этапа* осознания и коррекции функций, параметров и условий динамики и вариативности параметров процесса, *операционного этапа* осознания и обобщенности временной и функциональной последовательности действий освоения сущности базового учебного элемента, *оценочного этапа* эмпирической верификации результатов, количественного и качественного анализа действий средствами математического моделирования и компьютерного дизайна, *интегративного этапа*, направленного на умение переводить ситуацию освоения сущности на процессы моделирования, обобщения и переноса. Каждый этап интегрирован с тремя спиралями фундирования средств оснащения процессов развертывания и адаптации сущности обобщенного конструкта: *мотивационно-прикладным сопровождением процессов освоения сущности; математическим и компьютерным моделированием проявления синергетических эффектов и атрибутов и этапами адаптации обобщенного конструкта к школьной математике* (мотивационным, ориентировочно-информационной насыщенности, процессуально-деятельностным, контрольно-коррекционным и обобщающе-преобразующим).

Взаимодействие человека с миром и людьми активизирует его внутренние потенциалы, что выступает основой его самопознания, саморегуляции и самоактуализации, обеспечивая тем самым его личностное саморазвитие. Знания и ценности, которые опосредуются в процессе обучения математике, могут быть приняты и стать достоянием обучающегося, когда они активно перерабатываются и усваиваются не отдельным индивидом, а становятся содержанием общения и деятельности в группе, если они будут интегрированы в совокупность всей той информации, которой группа располагает. В связи с этим, особое внимание в структуре функционирования кластера фундирования нами уделено рассмотрению проблем организации группового взаимодействия обучающихся, являющегося важнейшим источником их само-

актуализации и развития, стимулом для творческой активности и дальнейшего личностного роста. При организации групповой творческой деятельности необходимо создать условия для генерирования множественности решений проблемы на основе информационной обогащенности, интеллектуального напряжения и низкой степени регламентации поведения. Так при групповой форме работы студенты имеют возможность проявлять надситуационную активность и реализовать приемы активизации творческого мышления во взаимной зависимости, актуализируя динамику творческого процесса (интуиция, вербализация, наглядное моделирование, формализация, рефлексия, верификация) на основе синтеза конвергентного и дивергентного мышления.

Рисунок 2. Кластер фундирования проявлений синергии в адаптации обобщенного конструкта «проблемной зоны» на основе нечеткого моделирования

Технология выявления и исследования «зон современных достижений в науке» применительно к обучению математике позволяет проектировать и реализовывать этапы адаптации современных достижений в науке к наличному состоянию опыта математической деятельности школьников, позволяет интегрировать знания из различных областей наук в контексте школьной математики, создает прецедент исследовательской деятельности школьников при работе в проектной деятельности (в том числе, в малых группах) и в форме развертывания индивидуальных образовательных маршрутов обучающихся, актуализирует синергетические эффекты в процессе освоения сложного знания.

Результаты исследования

- Выявлены и освоены средствами математического и компьютерного моделирования содержательные конструкты приемов и этапов адаптации обобщенного научного знания к наличному состоянию школьных математических знаний и способов учебной деятельности обучающихся;
- Выявлены и обоснованы новые математические результаты в ходе освоения и исследования этапов проявления сущности обобщенного конструкта (построены спирали и кластеры фундирования знаний); построены графы согласования учебных элементов школьной математики с элементами обобщенных конструкций; обеспечены эффективность управления математическим образованием, наглядность моделирования и высокий уровень учебной мотивации школьников в контексте актуализации приложений и конкретизации сущности обобщенного конструкта;
- Отражен и актуализирован тезаурус синергии математического образования в ходе исследовательской деятельности обучающихся: флуктуации, точки бифуркации, аттракторы, бассейны притяжения и т.п.;
- Развиты умения адаптироваться и развиваться в социальных коммуникациях и когнитивной деятельности на основе диалога математической, информационной, естественнонаучной и гуманитарной культур.

Заключение

Технология исследования «проблемных зон» в обучении математике в ходе актуализации современных достижений в науке с достижением синергетического эффекта основана на поэтапном феноменологическом типе раскрытия сложной сущности обобщенного конструкта «проблемной зоны» средствами математического и компьютерного моделирования в условиях диалога и единства математической, информационной, естественнонаучной и гуманитарной культур.

REFERENCES

1. Arnold, V.I. Catastrophe Theory, 3rd ed. Berlin, Springer-Verlag, 1992.
2. Bogun, V.V., Uvarov, A.D., & Smirnov, E.I. The synergy of mathematical education of teachers: Introduction to calculus. Yaroslavl, Kanzler Publ., 2016.
3. Crownover, R.M. Introduction in Fractal and Chaos. Jones and Bartlett Publishers, 1995.
4. Falconer, K.J. Fractal geometry: mathematical foundations and applications. England, John Wiley, 1995.
5. Dvoryatkina, S.N. & Smirnov, E.I. Evaluation of synergistic effects of knowledge integration and activity on the base of computer modeling. *Modern information technologies and IT – education*, Moscow, MGU Publ., 2016, pp. 35–42.
6. Haken, G. Synergetics. Berlin-Heidelberg-New York, Springer, 1983.
7. Hill, R. A First Course on Coding Theory. Oxford, Clarendon Press, 1986.

8. Huffman, D. A. Method for the Construction of Minimum-Redundancy Codes. *Proceedings of the IRE*, 1952, no. 40 (9), pp. 1098-1101.
9. Koufmann, A. Introduction a la theorie des sous-ensembles flous. Paris-New-York-Milan, Masson Publ., 1977.
10. Kuncheva, L.I. Combining Pattern Classifiers. Methods and Algorithms. New Jersey, Wiley, 2004.
11. Mandelbrot, B. The Fractal Geometry of Nature. San-Francisco: W. H. Freeman, 1983.
12. Malinetsky, G. G. Mathematical foundations of synergetics: Chaos, structures, computational experiment. Moscow: URSS, 2017.
13. Ostashkov, V. N. & Smirnov, E. I. Synergy of education in the study of attractors and basins of nonlinear maps attraction. *Yaroslavl Pedagogical Bulletin*, 2016, no. 6, pp. 146–157. (in Russian)
14. Podyakov, A.N. Psychology of learning in conditions of novelty, complexity, uncertainty. *Psychological Research*, 2015, pp. 6-10. (in Russian)
15. Rean, A. A. Psychology of personality adaptation. Saint-Peterburg, Prime-Euroznak Publ., 2008. (in Russian)
16. Rubinstein, S. About Thinking and ways in its research. Moscow, USSR Academy of Science, 1958. (in Russian)
17. Schwartz, L. Theorie des noyaux. Proceedings of the International Congress of Mathematicians. Cambridge Massachusetts, 1950, no. 1, pp. 220-230.
18. Shadrikov, V.D. et al. Preparation of the teacher of mathematics: Innovative Approaches. Edited by V. D. Shadrikov, Moscow, Gardariki, 2002. (in Russian)
19. Shannon, C.E. A Mathematical Theory of Communication. *Bell System Technical Journal*, 1948, no. 27, pp. 379-423.
20. Sekovanov, V. S. Elements of the theory of discrete dynamic systems. Saint-Peterburg, Lan` Publ., 2016. (in Russian)
21. Soroko, S.I. Individual strategies of human adaptation in extreme conditions. *Philosophy of human*, 2012, no. 6, pp. 78-86.
22. Smirnov, E.I. Technology of visual modeling teaching of mathematics. Yaroslavl, YSPU Publ., 1998. (in Russian)
23. Smirnov, E.I. Founding of the experience in vocational training and innovative activity of teacher, Yaroslavl, Kancler, 2012. (in Russian)
24. Smirnov, E. I. Visual modeling of nonlinear dynamics of manifestation of essence of mathematical concepts and procedures. *Proceedings of XIV International Kolmogorov Readings*, Koryazhma, 2017, pp. 16-30. (in Russian)
25. Stiber, M. Spike Timing precision and neural error correction: local behavior. *Neural Computation*, 2005, no. 17 (7), pp. 1577-1601.
26. Thom, R. Structural Stability and Morphogenesis: An Outline of a General Theory of Models. Reading, MA: Addison-Wesley, 1989.
27. Tolstykh, Y. I. Modern approaches to the category of "adaptive capacity". *Izvestiya Tula State University*, 2011, no. 1, pp. 493-496. (in Russian)
28. Vygotsky, L.S. Thought and Language. Hanfmann E. (eds.). Cambridge, MA: M.I.T. Press, 1962.
29. Zadeh, L. A. Toward a theory of fuzzy information granulation and its centrality in human reasoning and fuzzy logic. *Fuzzy Sets and Systems*, 1997, no. 90 (2), pp. 111–127.

Информация об авторах

Смирнов Евгений Иванович

(Россия, Ярославль)

Доктор педагогических наук, профессор,
зав. кафедрой математического анализа,
теории и методики обучения математике
Ярославский государственный педагогический
университет им. К. Д. Ушинского
E-mail: smiei@mail.ru

Зыкова Татьяна Викторовна

(Россия, Красноярск)

Кандидат физико-математических наук, доцент
кафедры прикладной математики и компьютерной
безопасности
Сибирский федеральный университет
E-mail: zykovatv@mail.ru

Тихомиров Сергей Александрович

(Россия; Ярославль, Коряжма)

Кандидат физико-математических наук, доцент
кафедры геометрии и алгебры
Ярославский государственный педагогический
университет им. К. Д. Ушинского

Младший научный сотрудник
Филиал Северного (Арктического) федерального
университета им. М. В. Ломоносова в г. Коряжме
E-mail: satikhomirov@mail.ru

Information about the authors

Eugeny I. Smirnov

(Russia, Yaroslavl)

Dr. Sc. in Pedagogics, Professor,
Head of the Department of Mathematical Analysis,
Theories and Techniques of Training in Mathematics
Yaroslavl State Pedagogical University
named after K.D. Ushinsky
E-mail: smiei@mail.ru

Tatyana V. Zyкова

(Russia, Krasnoyarsk)

PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor
of the Department of Applied Mathematics
and Computer Security
Siberian Federal University
E-mail: zykovatv@mail.ru

Sergey A. Tikhomirov

(Russia; Yaroslavl, Koryazhma)

PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor
of the Department of Geometry and Algebra
Yaroslavl State Pedagogical University
named after K.D. Ushinsky

Senior Scientific Researcher
Koryazhma Branch of Northern (Arctic)
Federal University named after M. V. Lomonosov
E-mail: satikhomirov@mail.ru