

**С. П. Янукович**, руководитель проекта, e-mail: syanukovich@mail.ru,  
ОАО "Могилевское агентство регионального развития", Республика Беларусь, г. Могилев,  
**В. В. Борисов**, д-р техн. наук, проф., e-mail: vbor67@mail.ru,  
филиал Национального исследовательского университета  
"Московский энергетический институт" в г. Смоленске,  
**К. В. Захарченков**, к-т техн. наук, e-mail: zaharchenkovkv@mail.ru,  
"Белорусско-Российский университет", Республика Беларусь, г. Могилев

### Концепция повышения эффективности управления образовательными системами на основе адаптивных алгоритмов роевого интеллекта<sup>1</sup>

*Рассматривается концепция повышения эффективности управления образовательными системами, которая позволяет осуществлять построение индивидуальных и командных траекторий подготовки специалистов в соответствии с требованиями работодателей на основе адаптивных алгоритмов роевого интеллекта. Предложенная концепция реализована в программном комплексе управления подготовкой ИТ-специалистов, проведена апробация в ООО "Стэпл Инк".*

**Ключевые слова:** концепция управления, образовательная система, алгоритмы роевого интеллекта, подготовка специалистов, программный комплекс

#### Введение

Современный этап развития образовательных систем отличается высокими темпами изменения содержания образовательных стандартов, программ, дисциплин и курсов. При этом наблюдается существенное отставание развития методов эффективного управления процессами в сложных образовательных системах от потребностей экономики.

Научно-технический прогресс формирует новые требования к качеству, стандартам и технологиям подготовки кадров: появляются новые специальности, быстро меняются требования работодателей к специалистам, отдельные технологии устаревают и определенные специальности становятся невостребованными.

Задача эффективного управления образовательными системами подготовки специалистов, удовлетворяющих требованиям заказ-

чиков кадров, в настоящее время становится наиболее актуальной в связи с высокой динамикой изменчивости рынка труда и требований работодателей к знаниям, умениям и навыкам (ЗУН) специалистов.

#### 1. Обзор существующих подходов к повышению эффективности управления образовательными системами

Современная теория управления рассматривает три основных подхода к управлению образовательными системами: *ситуационный подход* (Т. Питерс, Р. Уотерман, С. Донелл, Г. Кунц, Ю. Ю. Екатеринославский и др.), *функциональный подход* (В. А. Якунин, Ю. А. Конаржевский, Л. Йовайша, Т. И. Шамова, М. М. Поташник, и др.), *системный подход* (В. П. Беспалько, С. И. Архангельский, В. И. Зверева, Г. Н. Сериков, Э. Г. Юдин и др.) [1]

Согласно *ситуационному подходу* управление образовательной системой зависит от конкретных условий ее существования и состояния в данный момент. Сторонники ситуацион-

<sup>1</sup>Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 18-29-03088\_мк и Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания № FSWF-2020-0019.

ного управления исключают единственность оптимального способа управления системой из-за большого числа факторов, влияющих на образовательную систему. В ситуационном подходе из множества способов управления лучшим считается тот, который более всего соответствует сложившейся ситуации.

В рамках *функционального подхода* управление образовательной системой рассматривается как процесс, состоящий из совокупности определенных функций — непрерывных и взаимосвязанных видов деятельности. Все функции также рассматриваются как процессы, состоящие из взаимосвязанных действий и операций. Поскольку функции отражают процесс работы образовательной системы, функциональный подход также называют *процессным*.

В *системном подходе* к управлению образовательными системами управленческая деятельность, субъект и объект управления рассматриваются как системы.

На основе системного подхода формируются теоретические основы повышения эффективности управления образовательными системами:

- *личностно-ориентированный подход* предполагает повышение эффективности управления подготовкой специалистов путем учета специфических особенностей каждого человека, предоставляя ему возможность для более полного раскрытия способностей [2];
- *синергетический подход* предполагает, что образовательная система способна к самоорганизации, самосовершенствованию и рефлексии, в образовательной деятельности делается акцент не на процесс обучения индивидуума, а на поиск знаний и конструирование личности мыслящей, разумной, действующей [3];
- *адаптивный подход* к повышению эффективности управления образовательными системами предполагает приспособление управляемой системы к изменениям внешней и внутренней среды с возможной корректировкой оперативных целей, задач и планов в зависимости от складывающейся ситуации [4];
- *управление образовательными системами по результатам* [5] основывается на создании системы управления, направленной на достижение поставленных перед объектом управления целей. Одним из направлений данного подхода к повышению эффективности управления образовательными системами является компетентностная модель образовательной системы, в которой в качестве результата рассматривается не сумма

усвоенной информации, а формирование необходимых общекультурных и профессиональных компетенций, самоопределение, социализация, развитие индивидуальности и самоактуализация [6];

- *мотивационный программно-целевой подход* предполагает повышение эффективности управления образовательными системами путем ориентации на достижение конечного результата в ходе поэтапного выполнения действий. Технологический алгоритм данного подхода включает три этапа: построение "дерева целей" в логике ярусов "хочу—могу—делаю—получаю"; разработка программы действий в соответствии с построенным деревом целей; реализация управляющей программы [7].

Системный, функциональный и ситуационный подходы к управлению образовательными системами не являются взаимоисключающими и могут рассматриваться как дополнение друг к другу.

Анализ существующих подходов к управлению образовательными системами показал отсутствие методов построения индивидуальных и командных траекторий подготовки максимального числа специалистов, соответствующих требованиям работодателей, за минимальное время. Разработанная концепция обеспечивает решение данной научной задачи с использованием адаптивных алгоритмов роевого интеллекта (РИ), повышая эффективность принимаемых решений за счет автоматизации.

## **2. Теоретические основы концепции управления образовательными системами на основе адаптивных алгоритмов роевого интеллекта**

Концепция повышения эффективности управления сложными образовательными системами основана на применении ситуационного и системного подхода; на развитии и комплексном применении личностно-ориентированного, синергетического, адаптивного и мотивационного подходов к повышению эффективности управления образовательными системами путем применения адаптивных алгоритмов роевого интеллекта [8—10].

Предложенная концепция (рис. 1) основана на следующих идеях:

- 1) комплексный подход к управлению процессами подготовки специалистов с учетом результатов обработки информации о лич-



**Рис. 1. Структурная схема концепции повышения эффективности управления сложными образовательными системами на основе адаптивных алгоритмов ролевого интеллекта**

ностных и психологических особенностях обучающихся с адаптацией (автоматической настройкой) алгоритмов РИ при изменении параметров внешней среды;

2) модификация алгоритмов РИ для решения задач управления процессами в сложных образовательных системах;

3) динамическая настройка параметров алгоритмов РИ на основе изменения системных и внешних факторов, возможность поддержки принятия решений при выборе очередного шага работы сложной образовательной системы.

Повышение эффективности процессов управления в сложных образовательных системах в соответствии с предложенной концепцией осуществляется путем построения траекторий обучения на основе адаптивных алгоритмов РИ. Подбор алгоритма, соответствующего обучающемуся, проводится на основе кластерного анализа с учетом его личностно-психологических качеств (ЛПК) и результатов каждого этапа обучения. Виды метрик для получения ЛПК определяются на основе квалификационных требований в соответствии с профессиональным стандартом "Связь. Информационные и коммуникационные технологии" [11]. Для оценки ЛПК за основу взяты общепризнанные методики и диагностики [12, 13], на основе которых осуществляется количественная оценка следующих ЛПК IT-специалистов: аккуратность, дисциплинированность, методичность, ответственность; креативность мышления, исполнительность [14].

При построении траекторий обучения в образовательной системе используются следующие

алгоритмы РИ: роения пчел, колонии муравьев, светлячков и косяков рыб [15–17]. Каждый из названных алгоритмов решает в образовательной системе свою специфическую задачу. Вычислительная сложность задач с явно выраженной целевой функцией, решение которых выполняется на основе перечисленных алгоритмов РИ (роения пчел, колонии муравьев и светлячков), составляет  $O(n^2)$  [18–20]. Выбор алгоритмов обусловлен схожестью поведенческих моделей обучающегося и групп обучающихся в соответствующих ситуациях.

Отличительными особенностями представленной концепции повышения эффективности процессов управления в сложных образовательных системах являются:

1) применение модифицированных алгоритмов РИ для поддержки принятия решений по выбору вида профессиональной деятельности с учетом личностных и психологических качеств, отбору лучших и перспективных курсов, выбору очередного шага подготовки в зависимости от результата прохождения курсов другими участниками образовательного процесса;

2) оценка влияния личностных и психологических качеств обучающихся на выбор алгоритма РИ, соответствующего психотипу обучающегося, для последующего построения траектории подготовки, обеспечивающей максимально быстрое выполнение требований заказчика к знаниям, умениям и навыкам обучающихся.

### **3. Постановка задачи управления сложными образовательными системами на основе предложенной концепции**

Исходными данными для решения задачи управления сложными образовательными системами является множество характеристик обучающихся. Каждый обучающийся до начала подготовки характеризуется ЗУН и ЛПК. В процессе подготовки обучающиеся развивают имеющиеся и приобретают новые ЗУН. В зависимости от выбранного направления подготовки актуальным может быть развитие некоторых ЛПК, определенный уровень развития которых необходим для выполнения соответствующих профессиональных обязанностей. В результате по итогам подготовки обучающиеся характеризуются новым набором ЗУН и ЛПК.

Задача управления сложными образовательными системами в соответствии с предложенной концепцией состоит в выборе алгоритма РИ (роения пчел, колонии муравьев, светлячков) и настройке параметров выбранного алгоритма для обеспечения наиболее эффективной подготовки каждого обучающегося с учетом значимости для заказчика каждой характеристики обучающегося.

Критерием качества подготовки обучающихся является максимальное соответствие ЗУН и ЛПК обучающихся требованиям заказчиков кадров (работодателей). Для выполнения требований работодателя все ЗУН и ЛПК обучающегося должны быть не ниже пороговых значений, определенных для соответствующего вида профессиональной деятельности.

Критерием эффективности управления подготовкой обучающихся является минимизация времени подготовки, т.е. времени от начала подготовки до приобретения обучающимся ЗУН и ЛПК, соответствующих требованиям работодателей для выбранного вида профессиональной деятельности.

#### 4. Повышение эффективности управления сложными образовательными системами на основе адаптивных алгоритмов роевого интеллекта

До начала подготовки специалиста актуальной является задача выбора вида профессиональной деятельности, наиболее соответствующего ЛПК обучающегося.

Критерием качества выбора вида профессиональной деятельности обучающегося на основе оценки ЛПК является минимальное отклонение суммы разностей ЛПК обучающихся и значений ЛПК, необходимых для выполнения выбранного вида профессиональной деятельности с учетом весовых коэффициентов значимости каждого ЛПК для соответствующего вида профессиональной деятельности.

Критерием эффективности при принятии решений по выбору вида профессиональной деятельности является минимизация времени, в течение которого обучающийся в процессе подготовки сможет развить все ЛПК, необходимые для осуществления соответствующего вида профессиональной деятельности.

В процессе подготовки специалиста определяется алгоритм РИ, соответствующий поведению обучающегося и обеспечивающий максимальное повышение эффективности процесса подготовки специалиста. Соответственно, в процессе управления подготовкой специалистов критерием качества выбора алгоритма РИ, наиболее соответствующего ЛПК обучающегося, является минимальное отклонение суммы разностей оценок ЛПК, соответствующих требованиям заказчика, от значений оценок ЛПК, получаемых в процессе подготовки при использовании выбранного алгоритма РИ, с учетом весовых коэффициентов значимости каждого ЛПК для соответствующего вида профессиональной деятельности.

Критерием эффективности выбора алгоритма РИ, наиболее соответствующего ЛПК обучающегося в процессе управления подготовкой, является минимизация времени формирования у обучающегося по результатам подготовки с использованием выбранного алгоритма РИ всех ЛПК, соответствующих требованиям заказчика.

На основании работы алгоритма роения пчел в образовательной системе происходит отбор лучших курсов по конкретным технологиям, востребованным заказчиками кадров, что обеспечивает повышение эффективности управления за счет сокращения времени на подготовку специалистов (рис. 2).

Критерием качества подготовки специалистов для отбора лучших и перспективных курсов является минимизация суммы отклонений



Рис. 2. Схема модифицированного алгоритма роения пчел для выбора учебных курсов

оценок ЗУН, полученных при прохождении выбранных курсов в соответствии с алгоритмом роения пчел, от оценок, соответствующих требованиям заказчика, с учетом весовых коэффициентов значимости для заказчика каждой оценки.

Критерием эффективности принятия решений в процессе отбора лучших и перспективных курсов на основе алгоритма роения пчел является сокращение времени на подготовку обучающихся, т.е. времени, в течение которого у обучающихся в процессе подготовки формируются все ЗУН, необходимые для выполнения требований заказчика.

В целях отбора лучших и перспективных курсов обучающиеся, выступающие в роли пчел-разведчиков, изучают все имеющиеся по данной технологии курсы. После обработки информации о результатах прохождения курсов модератор принимает решение о выборе лучших и перспективных курсов. В целях построения рейтинга отобранных на первом этапе курсов к их изучению приступают обучающиеся, выполняющие роль пчел-фуражистов. Принятие решения о выборе лучшего курса происходит на основании построенного рейтинга курсов.

Для построения траекторий подготовки максимального числа специалистов по запросу заказчика за минимально короткие сроки

используется алгоритм муравьиной колонии (рис. 3).

Критерием качества подготовки специалистов при построении рациональной траектории подготовки обучающихся является минимизация суммы отклонений оценок ЗУН, полученных при прохождении траектории в соответствии с алгоритмом муравьиной колонии, от оценок, соответствующих требованиям заказчика, с учетом весовых коэффициентов значимости для заказчика каждой оценки.

Критерием эффективности принятия решений при построении рациональных траекторий подготовки обучающихся на основе алгоритма муравьиной колонии является сокращение времени на подготовку обучающихся, т.е. времени, в течение которого у обучающихся в процессе подготовки формируются все ЗУН, необходимые для выполнения требований заказчика.

На основании поступившего запроса формируется перечень курсов по технологиям, востребованным заказчиком.

Обучающийся последовательно выбирает курсы из предложенного перечня. По итогам изучения курса выполняются контрольные и тестовые задания, предложенные заказчиком. Последовательность прохождения курсов обучающимися запоминается и сохраняется. Чем выше разность среднего балла обучающихся за

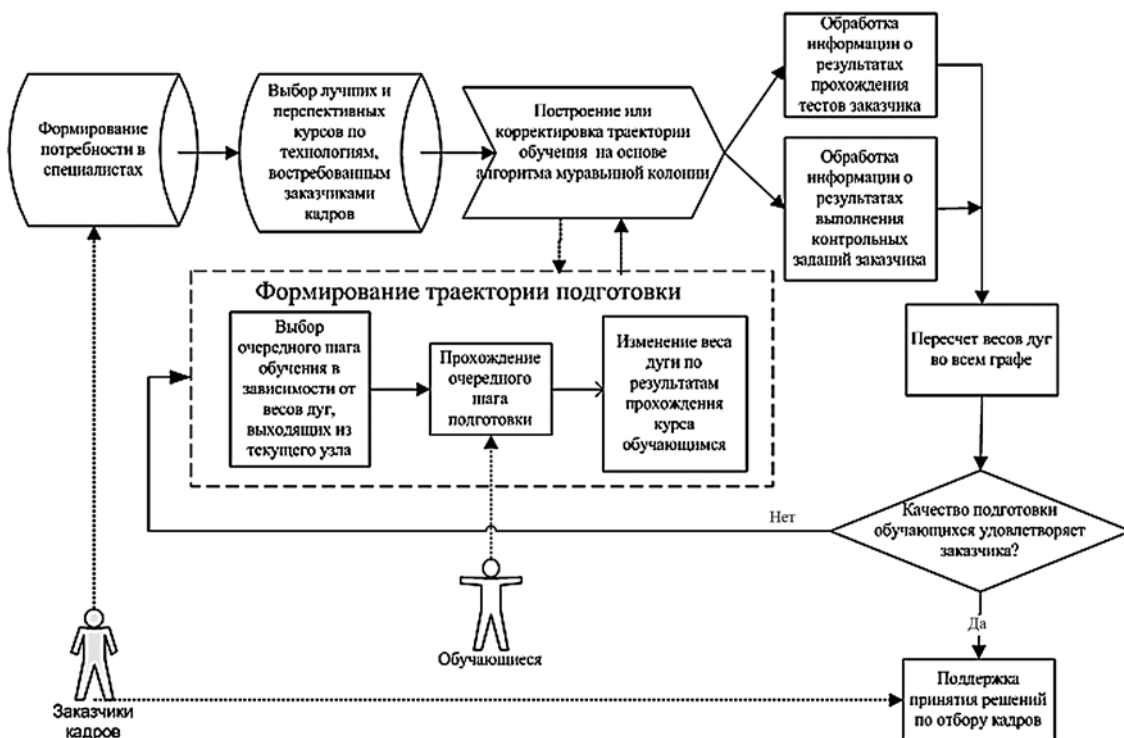


Рис. 3. Схема модифицированного алгоритма муравьиной колонии по формированию траекторий подготовки

тестовые задания по итогам изучения текущего и предыдущего курсов, тем большее желание направиться по данному пути возникнет у других обучающихся. Путь обучающихся, закончивших изучение всех курсов по выбранной технологии за наименьшее время, быстро становится самым заметным. Он привлекает большее число обучающихся. Менее используемые пути постепенно пропадают.

Результатом работы алгоритма муравьиной колонии является оптимальная последовательность прохождения курсов, позволяющая добиться нужного качества подготовки специалистов по запросу заказчика за минимально короткий срок. Заказчику предоставляется информация для поддержки принятия решения по отбору кадров.

Предложенные подходы к анализу ЛПК и повышению эффективности управления образовательными системами на основе алгоритма роения пчел и муравьиной колонии использованы при разработке метода управления процессом обучения основам информационных технологий [21] и при разработке метода управления процессом обучения промышленному программированию [22].

Для построения траектории подготовки специалистов, ориентированных на получение конкретного набора ЗУН, используется алгоритм светлячков (рис. 4).

Критерием качества подготовки специалистов при построении траектории на основе алгоритма светлячков является минимизация суммы отклонений оценок ЗУН, полученных при прохождении траектории подготовки, от оценок обучающегося, траектория подготовки которого выбрана в качестве образца как наиболее привлекательная.

Критерием эффективности принятия решений при построении траекторий подготовки обучающихся на основе алгоритма светлячков является сокращение времени на получение обучающимся нужных ему ЗУН.

В системе запоминается последовательность прохождения курсов обучающимися и результаты выполнения тестовых заданий. Рейтинг обучающихся, закончивших изучение всех курсов по выбранному направлению за наименьшее время, в системе будет самым высоким. Обучающиеся с низким рейтингом перемещаются по курсам в направлении обучающихся с более высоким рейтингом как наиболее привлекательных. Процесс обучения заканчивается после достижения результата по уровню ЗУН.

Для управления построением командных траекторий подготовки специалистов используется алгоритм косяков рыб. Данный алгоритм используется для формирования рациональных стратегий решения задач при подготовке к конкурсным мероприятиям и в учебных проектах.



Рис. 4. Схема модифицированного алгоритма светлячков по формированию траекторий подготовки

Изначально распределение задач между участниками проекта осуществляется капитаном команды. Целью каждой команды является получение максимальной суммы баллов за решение всех задач на конкурсе либо в учебном проекте. За нарушение сроков решения задач или некачественное решение начисляются штрафные баллы.

После решения каждой задачи любым участником команды либо по истечении максимального времени решения задачи система выдает рекомендации по изменению дальнейших действий отдельных участников и команды в целом.

Предложенные подходы к анализу ЛПК и повышению эффективности управления образовательными системами на основе алгоритма светлячков и косяков рыб использованы при разработке метода управления процессом обучения олимпиадному программированию [23].

### 5. Реализация предложенной концепции в программном комплексе управления подготовкой IT-специалистов

Для повышения эффективности управления процессом подготовки IT-специалистов реализован программный комплекс "SkillsForYou", который включает следующие модули (рис. 5):

- программный модуль организации управления подготовкой IT-специалистов, позволяющий создавать учебные курсы по разным направлениям, вводить уроки, тесты, контрольные работы [24];
- программный модуль оценки ЛПК обучающихся, содержащий набор средств для создания тестов для оценки интеллектуальных и личностных качеств каждого обучающе-

гося, а также набор готовых психологических тестов, сочетание которых позволяет классифицировать обучающихся [25];

- программный модуль олимпиадного программирования, обеспечивающий возможность проведения индивидуальных и командных олимпиад, а также тренировки обучающихся и команд в процессе подготовки к олимпиадам [26];
- математический модуль, в котором реализованы алгоритмы роения пчел, колонии муравьев, светлячков и косяков рыб, адаптированные к специфике построения путей при подготовке IT-специалистов [27].

Взаимодействие модулей в программном комплексе осуществляется следующим образом:

- на основании тестов в модуле психоанализа определяется классификация обучающихся. В зависимости от результатов тестов система предлагает обучающемуся рациональное направление подготовки;
- в модуле информационного управления подготовкой IT-специалистов осуществляется обучение IT-специалистов. Рекомендации по переходам между уроками и курсами формируются системой на основе алгоритмов РИ, реализованных в математическом блоке программного комплекса;
- в процессе подготовки обучающимися осуществляется прохождение тестов на внимание, память, скорость реакции, стрессоустойчивость в модуле психоанализа;
- на основании данных об успеваемости из модуля информационного управления подготовкой IT-специалистов и результатов тестов на внимание, память, скорость реакции и стрессоустойчивость осуществляется отбор потенциальных претендентов на участие в олимпиадах. Отобранные в модуле олимпиадного программирования обучающиеся проходят индивидуальные тренировки, объединяются в команды и проходят командные тренировки. Предложения по командным траекториям подготовки к участию в олимпиадах и конкурсах формируются на основе алгоритма косяков рыб в математическом блоке. Команды формируются с использованием данных о личностных и психологических качествах, полученных в модуле психоанализа.



Рис. 5. Состав и структура программного комплекса управления подготовкой IT-специалистов

## 6. Апробация предложенной концепции в ООО "Стэпл Инк"

Разработанный программный комплекс управления подготовкой IT-специалистов "SkillsForYou" внедрен в ООО "Стэпл Инк". Программный комплекс использован в процессе подготовки разработчиков и тестировщиков программного обеспечения.

До внедрения программного комплекса управления подготовка IT-специалистов осуществлялась с использованием традиционной концепции (классно-урочной системы с выполнением домашних заданий) подготовки IT-специалистов на основе траектории, представленной на рис. 6. Оценка личностных и психологических качеств обучающихся не проводилась. Выбор направления подготовки определялся обучающимися без использования систем поддержки принятия решений.

Внедрение разработанного программного комплекса "SkillsForYou" обеспечило повышение эффективности управления подготовкой IT-специалистов в соответствии с предложенной концепцией следующими способами:

- системный анализ ЛПК обучающихся на этапе выбора вида профессиональной деятельности позволил ускорить процесс выбора вида деятельности, наиболее соответствующего ЛПК обучающегося;
- внедрение в траектории подготовки IT-специалистов учебных курсов по основам олимпиадного программирования, внедрение в процесс подготовки IT-специалистов возможности участия обучающихся, отобранных на основе анализа ЛПК, в различных олимпиадах и конкурсных мероприятиях позволило повысить эффективность подготовки обучающихся, обладающих творческим потенциалом и нестандартным мышлением;
- построение индивидуальных и командных траекторий подготовки IT-специалистов с использованием адаптивных алгоритмов роевого интеллекта позволило реализовать отбор лучших и перспективных курсов, а также построение и изменение траекторий подготовки и переподготовки IT-специалистов с учетом изменения требований заказчиков кадров, обеспечив

увеличение числа трудоустроенных обучающихся и сокращение времени на подготовку специалистов.

Результатом повышения эффективности управления подготовкой IT-специалистов ста-

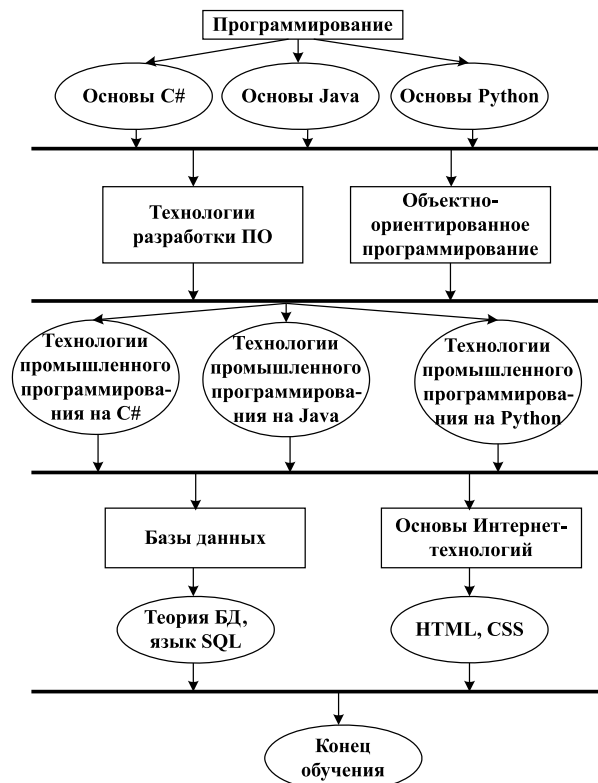


Рис. 6. Траектория подготовки IT-специалистов в ООО "Стэпл Инк" до внедрения программного комплекса "SkillsForYou"

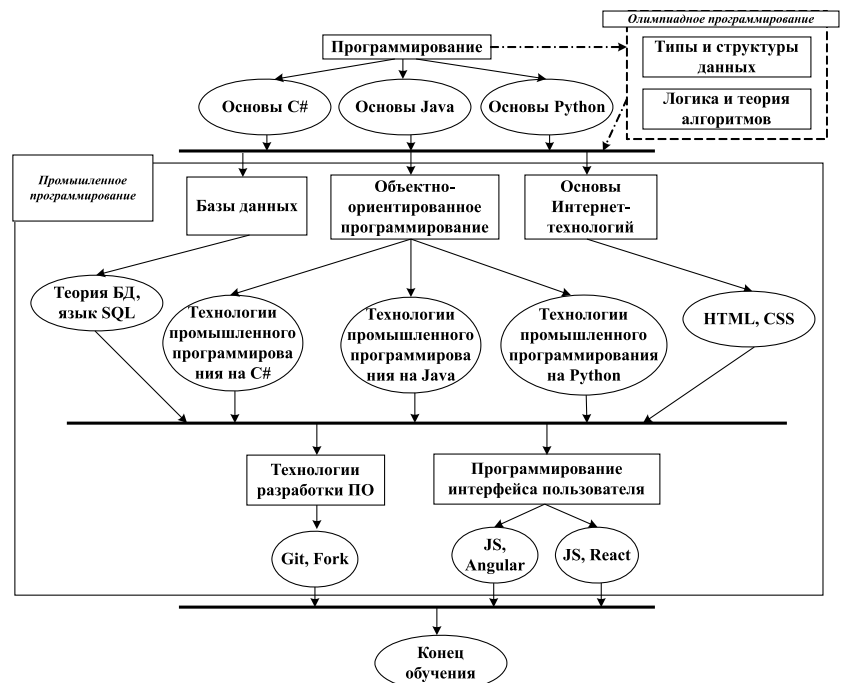


Рис. 7. Траектория подготовки IT-специалистов в ООО "Стэпл Инк" после внедрения программного комплекса "SkillsForYou"



ло изменение траектории изучения дисциплин и технологий. Наиболее рациональная траектория подготовки IT-специалистов, сформированная на основе алгоритмов роевого интеллекта в ООО "Стэпл Инк", представлена на рис. 7.

Применение разработанного программного комплекса в ООО "Стэпл Инк" позволило увеличить число обучающихся, успешно закончивших подготовку, в среднем в два раза, сократить среднее время на подготовку IT-специалистов на 40 % по сравнению с традиционными тренингами за счет автоматизации процесса обучения и оптимизации траекторий подготовки. Указанный эффект подтвержден актом внедрения результатов исследований в ООО "Стэпл Инк".

### Заключение

В статье представлена новая концепция повышения эффективности управления сложными образовательными системами на основе адаптивных алгоритмов роевого интеллекта.

Предложенная концепция отличается применением адаптивных алгоритмов роевого интеллекта (роения пчел, колонии муравьев, светлячков и косяков рыб) для отбора лучших и перспективных учебных курсов, формирования индивидуальных и командных траекторий подготовки специалистов на основании требований заказчиков кадров с учетом ЛПК обучающихся.

Критерием эффективности управления является подготовка за минимальные сроки максимального числа специалистов, знания, умения и навыки которых соответствуют требованиям заказчиков кадров. Применение предложенной концепции в ООО "Стэпл Инк" позволило на 40 % сократить среднее время подготовки IT-специалистов и увеличить в среднем в два раза число обучающихся, успешно закончивших подготовку.

Ограничениями предложенной концепции являются:

- существенное влияние на результаты подготовки эмоционального-мотивационного состояния обучающихся, их самочувствия и готовности к самостоятельной образовательной деятельности;
- сложность анализа причин появления и дальнейшего учета неудачных прецедентов решений, появляющихся при использовании разработанных алгоритмов.

1. **Макаров В. М.** Теория менеджмента: Учеб. пособ. СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2012. 125 с.
2. **Третьяков П. И., Митин С. Н., Бояринцева Н. Н.** Адаптивное управление педагогическими системами: Учеб. пособ. для вузов. М.: Академия, 2015. 368 с.
3. **Шалыпин О. В., Лопуха А. Д., Федосеева И. А.** Концепция управления системой образования в современном высшем учебном заведении на основе синергетического подхода // Вестник Новосибирского государственного педагогического университета. 2015. № 6 (28). С. 111–120.
4. **Заруба Н. А.** Управление образованием адаптивный подход // Сборник научных трудов Sworld, 2012. Т. 16, № 1. С. 23–29.
5. **Сапкулова Е. В.** Концепция "управление по результатам": особенности, принципы, актуальность для управления образовательными системами // Теория и практика образования в современном мире: материалы Междунар. науч. конф. (г. Санкт-Петербург, февраль 2012 г.). СПб.: Реноме, 2012. С. 82–86.
6. **Троянская С. Л.** Основы компетентностного подхода в высшем образовании: учебное пособие. Ижевск: Издательский центр "Удмуртский университет", 2016. 176 с.
7. **Шалаев И. К.** Повышение качества образовательного сервиса на основе мотивационного программно-целевого управления: монография. Барнаул: Изд-во АлтГПА, 2010. 203 с.
8. **Карпенко А. П.** Современные алгоритмы поисковой оптимизации. Алгоритмы, вдохновленные природой: Учебное пособие. М.: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2017. 446 с.
9. **Kita E.** (ed.). Evolutionary Algorithms. InTech, 2011, 596 p.
10. **Матренин П. В.** Разработка адаптивных алгоритмов роевого интеллекта в проектировании и управлении техническими системами.: дис.канд. техн. наук: 05.13.01: защищена 19.12.18 Новосибирск, 2018. 197 с.
11. **Профессиональные стандарты.** Связь, информационные и коммуникационные технологии. 2019. URL: <http://fgosvo.ru/docs/69/0/2/6> (Дата обращения: 22.09.2019).
12. **Пряденин В. П.** Психодиагностика личности: избранные методики и тесты. Гос. образоват. учреждение высш. проф. образования ХМАО — Югры "Сургут. гос. пед. ун-т" [и др.]. Сургут: РИО СурГУПУ, 2013. 245 с.
13. **Фетискин Н. П., Козлов В. В., Мануйлов Г. М.** Социально-психологическая диагностика развития личности и малых групп. М.: Издательство института психотерапии, 2002. 339 с.
14. **Янукович С. П., Шуть В. П., Титов Т. Е.** Анализ личностных и психологических качеств обучающихся для повышения эффективности управления подготовкой IT-специалистов // ЭНЕРГЕТИКА, ИНФОРМАТИКА, ИННОВАЦИИ — 2019 (инновационные технологии и оборудование в промышленности, управление инновациями, экономика и менеджмент, научные исследования в области физической культуры, спорта и общественных наук). Сб. трудов IX Межд. науч.-техн. конф. Т 2. Смоленск "Универсум", 2019. С. 370–373.
15. **Dorigo M., Maniezzo V., Coloni A.** The Ant System: Optimization by a colony of cooperating objects / M. Dorigo, V. Maniezzo, A. Coloni // IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics. 1996. Part B. N. 26(1). P. 29–41.
16. **Karaboga D.** An idea based on honey bee swarm for numerical optimization. Erciyes University, Engineering Faculty, Computer Engineering Department, 2005. 110 p.
17. **Yang X. S.** Firefly algorithms for multimodal optimization // In proceedings of the 5th Symposium on Stochastic Algorithms, Foundations and Applications. 2009. P. 169–178.
18. **Курейчик В. В., Жиленков М. А.** Пчелиный алгоритм для решения оптимизационных задач с явно выраженной целевой функцией // Информатика, вычислительная техника и инженерное образование. 2015. № 1 (21). С. 1–8.

19. Лебедев Б. К., Лебедев О. Б., Лебедева Е. М. Одно-родная распределительная задача на основе моделей адаптивного поведения муравьиной колонии // Программные продукты и системы. 2017. Т. 30, № 2. С. 217–226.

20. Курейчик В. В., Заруба Д. В., Запорожец Д. Ю. Алгоритм параметрической оптимизации на основе модели поведения роя светлячков // Известия ЮФУ. Технические науки. 2015. № 6(167). С. 6–15.

21. Янукович С. П. Метод управления процессом обучения информационным технологиям на основе алгоритмов роевого интеллекта // Информатика и образование. 2019. № 7 (306). С. 32–41.

22. Борисов В. В., Янукович С. П., Захарченков К. В., Вайнилович Ю. В. Метод управления процессом обучения промышленному программированию на основе алгоритмов роевого интеллекта // Cloud of Science. 2020. Т. 7, № 1. С. 189–207.

23. Янукович С. П. Метод управления процессом обучения олимпиадному программированию на основе алгоритмов роевого интеллекта // Инновации. 2020. № 1 (255). С. 94–102.

24. Янукович С. П., Мрочек Т. В., Ореховский Д. С. Программа для организации управления процессом обучения IT-специалистов: свидетельство о государственной

регистрации программы для ЭВМ № 2019662022 Заявка № 2019660933, дата поступления 05.09.2019, дата регистрации 13.09.2019.

25. Янукович С. П., Захарченков К. В., Шуть В. П., Титов Т. Е., Мусабилова Н. С., Быкова О. О. Программа для оценки личностных особенностей и психологических качеств IT-специалистов: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019661028. Заявка № 2019660005, дата поступления 08.08.2019, дата регистрации 16.08.2019.

26. Янукович С. П., Захарченков К. В., Воробьев М. В., Миранков А. Ю., Узянова Ю. В. Программа по обучению олимпиадному программированию на основе алгоритмов роевого интеллекта: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020612506. Заявка № 2020611565, дата поступления 17.02.2020, дата регистрации 25.02.2020.

27. Янукович С. П., Борисов В. В., Павлов А. И., Антонов В. В., Герасимов Ю. Р., Груммо М. И. Программа для оптимизации траектории подготовки IT-специалистов на основе алгоритмов роевого интеллекта: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019660959. Заявка № 2019619896, дата поступления 08.08.2019, дата регистрации 15.08.2019.

**S. P. Yanukovich**, Project Manager, e-mail: syanukovich@mail.ru,

Joint stock Company "Mogilev Regional Development Agency", Mogilev, Belarus,

**V. V. Borisov**, D. Sc., Professor, e-mail: vbor67@mail.ru, Branch of the National Research University "Moscow Energy Institute" in Smolensk, Smolensk, Russian Federation,

**K. V. Zakharchankov**, Assistant Professor, e-mail: zaharchenkovkv@mail.ru, Belorussian-Russian University, Mogilev, Belarus

## The Concept of Improving the Efficiency of Managing of Educational Systems Based on Adaptive Algorithms of Swarm Intelligence

*The article addresses the concept of improving efficiency of educational systems management. The proposed concept allows the construction of individual and team paths for training specialists in accordance with the requirements of employers. A distinctive feature of the developed concept is the use of modified swarm intelligence algorithms to support decision-making based on the personal and psychological qualities of students. The selection of the algorithm corresponding to the student is carried out on the basis of cluster analysis and takes into account the personal characteristics of students and the results of each stage of training. When constructing learning paths in the educational system, it is proposed to use the following algorithms of swarm intelligence: swarming of bees, a colony of ants, fireflies and schools of fish. Each of these algorithms solves its specific problem in the educational system. The choice of algorithms is determined by the similarity of the behavioral models of a student and groups of students. The proposed concept is implemented in the SkillsForYou — the software package for managing IT-specialists training, which includes the following modules: organization of training management, assessment of personal and psychological qualities, olympiad programming, and a mathematical module. Testing of the method of training IT specialists, implemented in accordance with the proposed concept, was carried out at STEPL LLC, which allowed to reduce the time for training IT specialists by 40 % and double the number of students who successfully finished the training.*

**Keywords:** management concept, educational system, swarm intelligence algorithms, training of specialists, software package

**Acknowledgments.** This work was supported by Russian Foundation for Basic Research, project No. 18-29-03088\_mk and the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation as part of state assignment No. FSWF-2020-0019.

DOI: 10.17587/it.26.706-716

### References

1. **Makarov V. M.** Management theory: Ucheb. Posobie, Spb., Polytechnic University Publishing House, 2012, 125 p. (in Russian).

2. **Tret'yakov P. I., Mitin S. N., Boyarinceva N. N.** Adaptive management of pedagogical systems, Moscow, Akademiya, 2015, 368 p. (in Russian).

3. **Shalyapin O. V., Lopuha A. D., Fedoseeva I.A.** The concept of managing the education system in a modern institution of

- higher education on the basis of a synergistic approach, *Bulletin of the Novosibirsk State Pedagogical University*, 2015, no. 6 (28), pp. 111–120 (in Russian).
4. **Zaruba N. A.** Education Management Adaptive Approach, *Sworl*, 2012, vol. 16, no. 1, pp. 23–29 (in Russian).
  5. **Sapkulova E. V.** The concept of "management by results": features, principles, relevance for the management of educational systems, *Teorija i praktika obrazovaniya v sovremennom mire*, Materials of the International Scientific Conference (St. Petersburg, February 2012), SPb., Renome, 2012, pp. 82–86 (in Russian).
  6. **Troyanskaya S. L.** The basis of the competency-based approach in higher education, Izhevsk, Publishing Center "Udmurtskij universitet", 2016, 176 p. (in Russian).
  7. **Shalaev I. K.** Improving the quality of educational services based on motivational program-targeted management: a monograph, Barnaul, *AltGPA*, 2010, 203 p. (in Russian).
  8. **Karpenko A. P.** Modern search engine optimization algorithms. Nature-inspired algorithms, Moscow, Publishing house *MGTU im. N. Je. Baumana*, 2017, 446 p. (in Russian).
  9. **Kita E.** (ed.). Evolutionary Algorithms, InTech, 2011, 596 p.
  10. **Matrenin P. V.** Development of adaptive algorithms of swarm intelligence in the design and management of technical systems. dis..... Ph.D. of Engineering Sciences: 05.13.01: zashchishchena 19.12.18, Novosibirsk, 2018, 197 p. (in Russian).
  11. **Professional standards.** Communication, information and communication technology, 2019, available at: <http://fgosvo.ru/docs/69/0/2/6>.
  12. **Pryadein V. P.** Psychodiagnostics of personality: selected methods and tests. State educational institution of higher professional education of KMAO, Yugra, Surgut, RIO SurSPU, 2013, 245 p. (in Russian).
  13. **Fetiskin N. P., Kozlov V. V., Manujlov G. M.** Socio-psychological diagnosis of the development of personality and small, Moscow, Institute of Psychotherapy Publishing House, 2002, 339 p. (in Russian).
  14. **Yanukovich S. P., Shut' V. P., Titov T. E.** Analysis of the personal and psychological qualities of students to improve the management of training IT specialists, *E'nergetika, Informatika, Innovacii* — 2019, Proceedings of the IX International Scientific and Technical Conference, Smolensk, Universum, 2019, vol. 2, pp. 370–373 (in Russian).
  15. **Dorigo M., Maniezzo V., Colorni A.** The Ant System: Optimization by a colony of cooperating objects, *IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics*, 1996, Part B, no. 26(1), pp. 29–41.
  16. **Karaboga D.** An idea based on honey bee swarm for numerical optimization, Erciyes University, Engineering Faculty, Computer Engineering Department, 2005, 110 p.
  17. **Yang X. S.** Firefly algorithms for multimodal optimization, *In proceedings of the 5th Symposium on Stochastic Algorithms, Foundations and Applications*, 2009, pp. 169–178.
  18. **Kurejchik V. V., Zhilenkov M. A.** Bee algorithm for solving optimization problems with an explicit objective function, *Informatika, Vychislitel'naya Texnika i Inzhenernoje Obrazovanie*, 2015, no. 1 (21), pp. 1–8 (in Russian).
  19. **Lebedev B. K., Lebedev O. B., Lebedeva E. M.** Homogeneous distribution problem based on adaptive behavior models of an ant colony, *Programmnye Produkty i Sistemy*, 2017, vol. 30, no. 2, pp. 217–226 (in Russian).
  20. **Kurejchik V. V., Zaruba D. V., Zaporozhec D. Yu.** Parametric Optimization Algorithm Based on the Firefly Swarm Behavior Model, *Izvestiya YuFU. Texnicheskie nauki*, 2015, no. 6(167), pp. 6–15 (in Russian).
  21. **Yanukovich S. P.** A method for managing the process of teaching information technology based on swarm intelligence algorithms. *Informatika i Obrazovanie*. 2019. no. 7 (306), pp. 32–41 (in Russian).
  22. **Borisov V. V., Yanukovich S. P., Zaharchenkov K. V., Vaynilovich Ju. V.** A method for managing the process of teaching industrial programming based on swarm intelligence algorithms, *Cloud of Science*, 2020, vol. 7, no. 1, pp. 189–207 (in Russian).
  23. **Yanukovich S. P.** A method for controlling the process of teaching olympiad programming based on swarm intelligence algorithms, *Innovacii*, 2020, no. 1(255), pp. 94–102 (in Russian).
  24. **Yanukovich S. P., Mrochek T. V., Orehovskij D. S.** The program for organizing the management of the training of IT-specialists. Certificate of state registration of a computer program no. 2019662022 Application no. 2019660933, receipt date 5.09.2019, registration date 13.09.2019.
  25. **Yanukovich S. P., Zaharchenkov K. V., Shut' V. P., Titov T. E., Musabirova N. S., Bykova O. O.** The program for assessing the personal characteristics and psychological qualities of IT-specialists. Certificate of state registration of a computer program no.2019661028. Application no.2019660005, receipt date 08.08.2019, registration date 16.08.2019.
  26. **Yanukovich S. P., Zaharchenkov K. V., Vorob'ev M. V., Mirankov A. Ju., Uzjanova Ju. V.** Program for teaching olympiad programming based on swarm intelligence algorithms. Certificate of state registration of computer programs no. 2020612506. Application no. 2020611565, date of receipt 17.02.2020, registration date 25.02.2020.
  27. **Yanukovich S. P., Borisov V. V., Pavlov A. I., Antonov V. V., Gerasimov Ju. R., Grummo M. I.** Program for optimizing the trajectory of training IT-specialists based on swarm intelligence algorithms. Certificate of state registration of computer programs no. 20169660959. Application no. 20169619896, receipt date 08.08.2019, registration date 15.08.2019.