

УДК 004.052

**Р. Д. КАРАБЦОВ  
Л. А. ДЕНИСОВА**Омский государственный  
технический университет,  
г. Омск

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ НЕЧЁТКОЙ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА ОПТИМИЗАЦИИ

Рассмотрены вопросы проектирования системы автоматического регулирования (САР), реализованной с использованием нечетких информационных технологий. Исследованы нечеткие регуляторы с различным количеством функций принадлежности, оптимизированные с помощью генетического алгоритма. Осуществлен выбор нечеткой САР, обеспечивающей лучшее регулирование по принятым показателям качества. Модельные исследования САР выполнялись в среде MATLAB/Simulink/Fuzzy logic Toolbox/Global Optimization Toolbox.

**Ключевые слова:** система автоматического регулирования, цифровой регулятор, математическая модель, нечеткая логика, генетический алгоритм.

**Введение.** При проектировании систем автоматического регулирования (САР) технологическими процессами объектов теплоэнергетики необходимо учитывать неопределенность параметров объекта управления и возмущающих факторов, вызванных внешними условиями. Одним из эффективных подходов к усовершенствованию САР, работающих в условиях неопределенности, является стратегия управления, основанная на теории нечетких множеств [1, 2].

Нечеткие системы управления и регулирования (англ. *FCS* — *Fuzzy Control Systems*), относящиеся к классу интеллектуальных систем [1–4], позволяют сохранить работоспособность системы в условиях помех и погрешностей измерений, а также, учитывая изменяющиеся условия протекания процессов, помогают снизить потери, вызванные неэффективным управлением. В работе приведены результаты разработки и исследования нечеткой системы регу-

лирования, структура и параметры которой определялись на основе использования методов математического моделирования и оптимизации.

Для оптимизации нечеткой САР использовались генетические алгоритмы (ГА), позволяющие находить глобальный экстремум многоэкстремальной целевой функции, характеризующей качество работы системы, которая, кроме того, может быть определена только на основании вычислений в процессе функционирования САР [2].

Исследование САР выполнялись в среде MATLAB/Simulink/Fuzzy Logic Toolbox/Global Optimization Toolbox.

**Описание модели нечёткой САР.** В качестве примера нечеткой САР рассмотрена система автоматического регулирования типового объекта автоматизации — давления в паровом коллекторе энергоблока [5]. Исследования САР выполнены в интерактивной среде для научных и инженер-

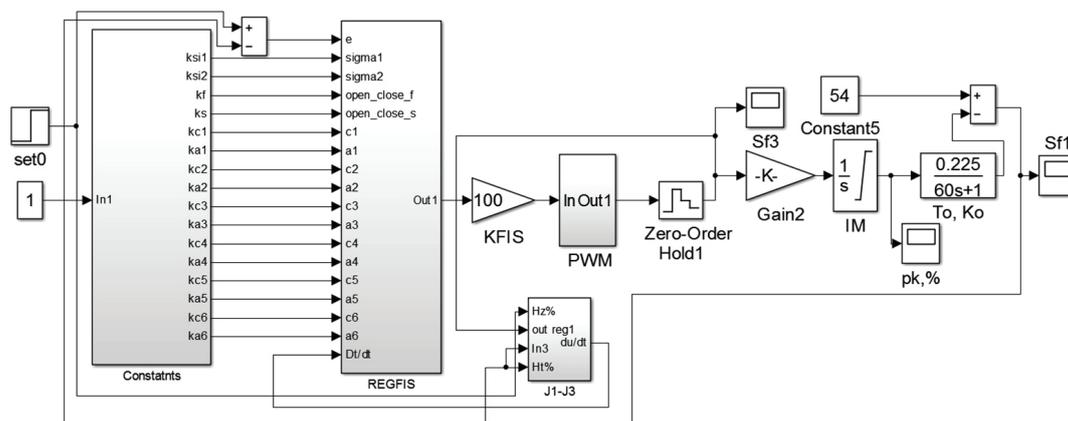


Рис. 1. Математическая модель нечёткой САР с регулятором FC2

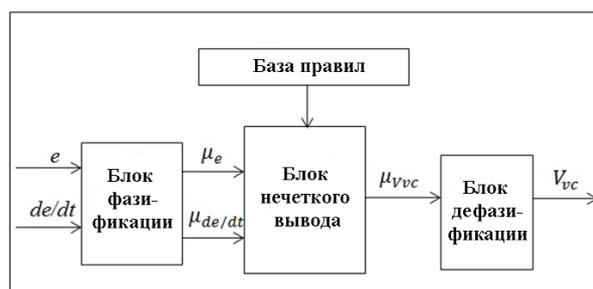


Рис. 2. Структура нечеткого регулятора

ных расчетов MATLAB с пакетами расширения Simulink и Global Optimization Toolbox [1]. Для моделирования и оптимизации нечеткой системы регулирования создана Simulink — модель (рис. 1) и файлы-сценарии, обеспечивающие многократные вызовы модели САР, вычисление показателей качества и обработку данных генетическим алгоритмом.

Модель нечеткой САР содержит модели: цифрового нечеткого регулятора, исполнительного механизма (ИМ) с регулирующим клапаном (РК) и технологического объекта управления и подсистему нечеткого регулирования (REG FIS) [6]. Для учета дискретизации сигналов во времени применен экстраполятор нулевого порядка (Zero-Order Hold). При исследовании рассмотрены четыре варианта реализации нечеткой САР, отличающиеся количеством функций принадлежности (ФП) и параметрами термов для лингвистических переменных нечетких регуляторов.

В рассматриваемых вариантах САР, реализующих нечеткое управление, использованы следующие лингвистические переменные: входные переменные  $e$  (ошибка регулирования) и  $de/dt$  (скорость изменения ошибки регулирования), выходная переменная  $V_{cv}$  (скорость открытия / закрытия РК). Также для всех вариантов нечёткой САР выбраны следующие типы ФП входных переменных: сигмоидная *sigmf* (для боковых термов) и гауссова *gaussmf* (для центральных термов). Для выходной переменной использованы синглтонные функции принадлежности.

На рис. 2 показана обобщенная функциональная структура нечетких регуляторов, которая традиционно включает следующие блоки [7]:

— блок фазификации, преобразующий четкие данные параметров процесса (ошибку регулирования

и скорость ее изменения  $de/dt$ ) в нечеткие величины ( $\mu_e$  и  $\mu_{de/dt}$ );

— блок базы правил, содержащий набор лингвистических правил, отражающих алгоритм работы системы;

— блок нечеткого вывода, который содержит алгоритм получения функций принадлежности выходной величины ( $\mu_{V_{cv}}$ );

— блок дефазификации преобразует функции принадлежности выходной величины в физическую величину ( $V_{cv}$  — скорость изменения управляющего воздействия на исполнительные механизмы).

Рассмотрены варианты нечетких регуляторов со следующими наименованиями (обозначениями): *Fuzzy Control 1 (FC1)*, *Fuzzy Control 2 (FC2)*, *Fuzzy Control 3 (FC3)*, *Fuzzy Control 4 (FC4)*. Данные регуляторы отличаются друг от друга количеством функций принадлежности. Например, в регуляторе *FC1* заданы по три ФП для входных переменных ( $e$ ,  $de/dt$ ) и пять ФП для выходной переменной ( $V_{cv}$ ). В других регуляторах количество функций принадлежности изменялось для входных переменных (рассматривались варианты с 3–5 ФП), для выходной лингвистической переменной количество функций принадлежности оставалось постоянным.

База нечетких правил САР создана как набор логических высказываний, соответствующих логической операции нечеткой импликации.

Диапазон изменения переменной  $e$  (ошибка регулирования) разбивается на термы: *NL* — отрицательная большая, *Z* — малая, *NZ* — отрицательная малая, *PZ* — положительная малая, *ZZ* — отсутствие ошибки, *PL* — положительная большая. Диапазон изменения переменной  $de/dt$  (скорость изменения ошибки регулирования) разбивается на термы: *N* — отрицательная высокая, *NZ* — отрицательная, *Z* — низкая, *PZ* — положительная, *P* — положительная высокая, терму *Z* соответствуют малые значения скорости изменения  $de/dt$ , которые принимаются как характеризующие установившийся процесс.

Диапазон изменения переменной  $V_{cv}$  — скорости перемещения ИМ, разбивается на термы: *NL* — отрицательная высокая, *NM* — отрицательная средняя, *NZ* — отрицательная, *Z* — отсутствие перемещения, *PZ* — положительная, *PM* — положительная средняя, *PL* — положительная высокая. В табл. 1 показана сформированная база нечетких правил для рассматриваемых вариантов нечетких регуляторов.

В дальнейшем из четырех вариантов регуляторов были выбраны только два, потому что, как

База нечётких правил

de/dt e	N отрицательная высокая		NZ отрицательная		Z низкая		PZ положительная		P положительная высокая	
NL отрицательная большая	NL	NL	—	—	NL	NL	—	—	NL	NL
	NL	NL	NM	NM	—	—	NM	NM	NM	NM
NZ отрицательная малая	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	NM	NM	NZ	NZ	—	—	NZ	NZ	NM	NM
Z малая	PM	PM	—	—	Z	Z	—	—	NM	NM
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
ZZ отсутствие перемещения	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	NZ	—	Z	—	—	—	Z	—	NZ
PZ положительная малая	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	PM	PM	PZ	PZ	—	—	PZ	PZ	PM	PM
PL положительная большая	PL	PL	—	—	PL	PL	—	—	PL	PL
	PL	PL	NM	NM	—	—	PM	PM	PL	PL

■ — FC1   ■ — FC2   ■ — FC3   □ — FC

показали исследования, при настройке регуляторов эмпирически использование большого количества функций принадлежности отрицательно сказывается на качестве работы регулятора (в связи со слишком большим количеством параметров настройки). При расчетах наблюдалась следующее. Чем больше ФП имеет каждая лингвистическая переменная, тем чаще вынужден срабатывать регулятор, выполняя, возможно, ненужные действия, так как диапазоны изменения переменных, выбранные на основании экспертных оценок, являются небольшими.

В результате проведенного исследования сделан вывод, что при настройке регуляторов эмпирически, экспертом на основе только собственного опыта, наилучшим регулятором для исследуемой САР является нечеткий регулятор с наименьшим числом функций принадлежности. Варианты нечетких регуляторов с большим количеством ФП в некоторых случаях работают хуже, чем традиционный оптимально настроенный линейный регулятор (например, работающий по пропорционально-интегральному закону), потому что эксперту сложно проводить настройку большого количества параметров, и по этой причине регуляторы плохо настроены.

Принималось во внимание, что даже оптимально настроенные на моделях регуляторы должны иметь возможность настройки в реальных условиях на объекте управления, то есть предпочтительно иметь меньшее количество изменяемых параметров.

В итоге для дальнейшего исследования выбраны нечеткие САР с регуляторами FC1 и FC2, которые оптимизировались с помощью генетического алго-

ритма для увеличения быстродействия и точности управления.

**Описание алгоритма оптимизации нечёткой САР с помощью ГА.** Запуск Simulink-модели САР и вызов генетического алгоритма реализованы с помощью созданного *m*-файла — сценария, работающего с функциями пакета MATLAB / Global/Optimization Toolbox, устанавливающего необходимые опции и осуществляющего контроль выполнения оптимизации.

Поиск минимума критерия качества работы системы выполняется функцией *ga*, а создание структуры опций генетического алгоритма — оператором *gaoptimset*. Генетический алгоритм применяется к математической модели нечёткой САР с регулятором FC2 в среде MATLAB/Simulink/Fuzzy Logic (рис. 1).

Рассмотрим поэтапно работу процедуры оптимизации нечеткой САР, основанной на использовании генетического алгоритма.

*Этап 1.* Вызывается функция *ga*, которая начинает работу генетического алгоритма.

Задается вектор параметров:  $x = (k_s, k_f, k_{a2}, k_{c2}, k_{a4}, k_{c4}, k_{a6}, k_{c6})$ , где  $k_s$  и  $k_f$  — коэффициенты передачи по скорости ИМ (медленно — *slow*, быстро — *fast*); параметры функций принадлежности:  $k_{a2}, k_{c2}, k_{a4}, k_{c4}, k_{a6}, k_{c6}$ .

На основе экспертных данных определяется диапазон поиска значений входных переменных (нижняя  $l_b$  и верхняя  $u_b$  границы),  $x \in [l_b, u_b]$ .

*Этап 2.* Генетический алгоритм начинает работу с некоторого случайного набора исходных решений, который называется популяцией (*Population Size* — число особей в каждом поколении). Каж-

дый элемент из популяции называется хромосомой и представляет некоторое решение проблемы в первом приближении. Хромосома представляет собой строку символов (в нашем случае — параметров настройки ФП). Хромосомы эволюционируют на протяжении множества итераций, носящих название поколений или генераций (*Generations*). В ходе каждой итерации хромосома оценивается с использованием некоторой меры соответствия (англ. *fitness function*, в нашем случае — критерия качества работы САР). Для создания следующего поколения новые хромосомы, называемые отпрысками, формируются либо путем скрещивания (англ. *crossover*) двух хромосом — родителей из текущей популяции, либо путем случайного изменения — мутации (*mutation*) одной хромосомы.

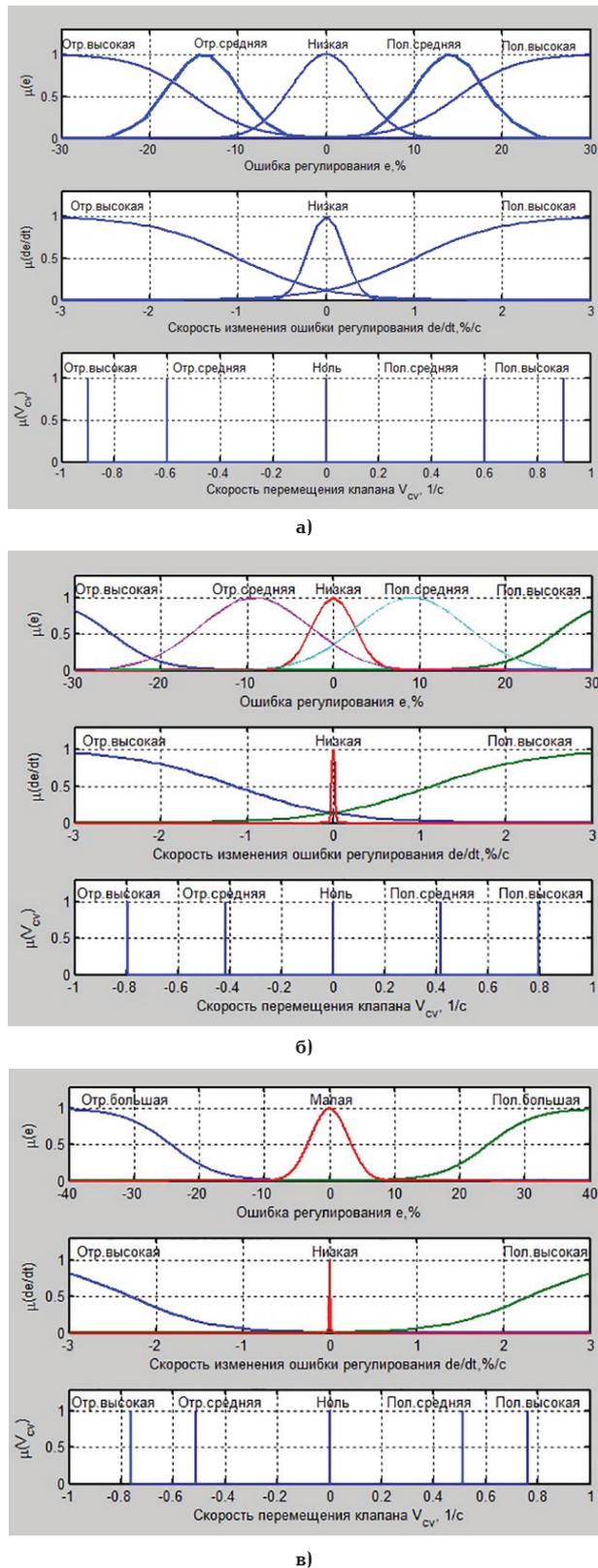
**Этап 3.** Вызывается *m*-функция, реализующая циклический запуск модели САР и многократное вычисление критерия качества ее работы  $J=f(x)$  при различных наборах параметров функций принадлежности, изменяемых в заданных пределах с помощью ГА, который определяет оптимальное значение критерия работы САР  $J = f(x^*)$  при найденных оптимальных параметрах  $x^* = (k_s^*, k_f^*, k_{g1}^*, k_{g2}^*, k_{a2}^*, k_{c2}^*, k_{a4}^*, k_{c4}^*, k_{a6}^*, k_{c6}^*)$ .

**Этап 4.** Происходит проверка завершения работы: все ли особи в поколении были рассмотрены (*Population*), все ли поколения сгенерированы (*Generations*) и завершилось ли время работы (*Time limit*). Использование параметра *Time limit* позволяет предотвратить слишком долгую работу алгоритма. Если алгоритм останавливается из-за этого условия, а оптимизация не завершена, значит, можно улучшить результаты за счет увеличения значения параметра *Time limit* [8].

**Этап 5.** Сохранение результатов оптимизации. Завершение работы.

**Результаты оптимизации нечетких регуляторов.** Принималось во внимание, что нечеткие САР предназначены для работы в условиях неопределенности, когда параметры объекта управления неизвестны и, кроме того, могут изменяться в широком диапазоне.

Для моделирования САР принято, что передаточная функция объекта управления соответствует инерционному звену первого порядка [6]:  $W(s) = K_0 / (T_0 s + 1)$ , где  $K_0$  — коэффициент передачи;  $T_0$  — постоянная времени. На основе имеющейся экспертной информации приняты базовые (исходные) значения параметров объекта управления:  $K_0 = 0,25$  кгс/см<sup>2</sup>/%;  $T_0 = 60$  с. Исследование нечетких регуляторов проводилось при варьировании параметров объекта  $K_0$  и  $T_0$  на  $\pm 30\%$ ,  $\pm 50\%$  и  $\pm 70\%$  от принятых значений. Для определения качества работы каждого из исследуемых регуляторов и выбора структуры нечеткой САР (количества функций принадлежности) использованы традиционные для теории автоматического управления показатели качества [9]: установившаяся ошибка регулирования  $\delta$  и время установления переходного процесса  $t$ . Под установившейся (статической) ошибкой системы  $\delta$  понимается разница между заданным и текущим значениями выходного сигнала в установившемся режиме. Длительность (время установления) переходного процесса  $t$  — это время, необходимое выходному сигналу системы для того, чтобы приблизиться к своему заданному значению. Для определения времени переходного процесса задана требуемая точность ( $\pm 1\%$  от заданного значения регулируемой величины).



**Рис. 3.** Функции принадлежности для термов входных и выходных переменных регуляторов FC1, FC2, полученные: а) по экспертным оценкам; б) после настройки генетическим алгоритмом регулятора FC2; в) после настройки генетическим алгоритмом регулятора FC1

При проведении исследований исходные параметры ФП лингвистических переменных принимались, исходя из экспертных оценок (рис. 3а): пять ФП для входной переменной  $e$ , три ФП для входной

Варьирование коэффициента передачи объекта управления

Наименование регулятора	Исходные параметры $K_0, T_0$		Варьирование параметров											
			$K_0 + 0,3K_0$		$K_0 - 0,3K_0$		$K_0 + 0,7K_0$		$K_0 - 0,7K_0$		$K_0 + 0,5K_0$		$K_0 - 0,5K_0$	
	$\delta, \%$	$t, c$	$\delta, \%$	$t, c$	$\delta, \%$	$t, c$	$\delta, \%$	$t, c$	$\delta, \%$	$t, c$	$\delta, \%$	$t, c$	$\delta, \%$	$t, c$
FC1	0,1	45	0,2	50	0,25	65	0,25	45	1,5	110	0,1	40	1,2	85
FC2	0,05	40	0,2	30	0,15	60	0,05	30	1,2	100	0,05	35	0,9	75

Таблица 3

Варьирование постоянной времени объекта управления

Наименование регулятора	Исходные параметры $K_0, T_0$		Варьирование параметров											
			$T_0 + 0,5T_0$		$T_0 - 0,5T_0$		$T_0 + 0,3T_0$		$T_0 - 0,3T_0$		$T_0 + 0,7T_0$		$T_0 - 0,7T_0$	
	$\delta, \%$	$t, c$	$\delta, \%$	$t, c$	$\delta, \%$	$t, c$	$\delta, \%$	$t, c$	$\delta, \%$	$t, c$	$\delta, \%$	$t, c$	$\delta, \%$	$t, c$
FC1	0,1	45	0,3	75	0,15	45	0,6	60	0,1	40	0,25	70	0,3	30
FC2	0,05	40	0,2	65	0,1	30	0,2	55	0,05	35	0,05	65	0,25	35

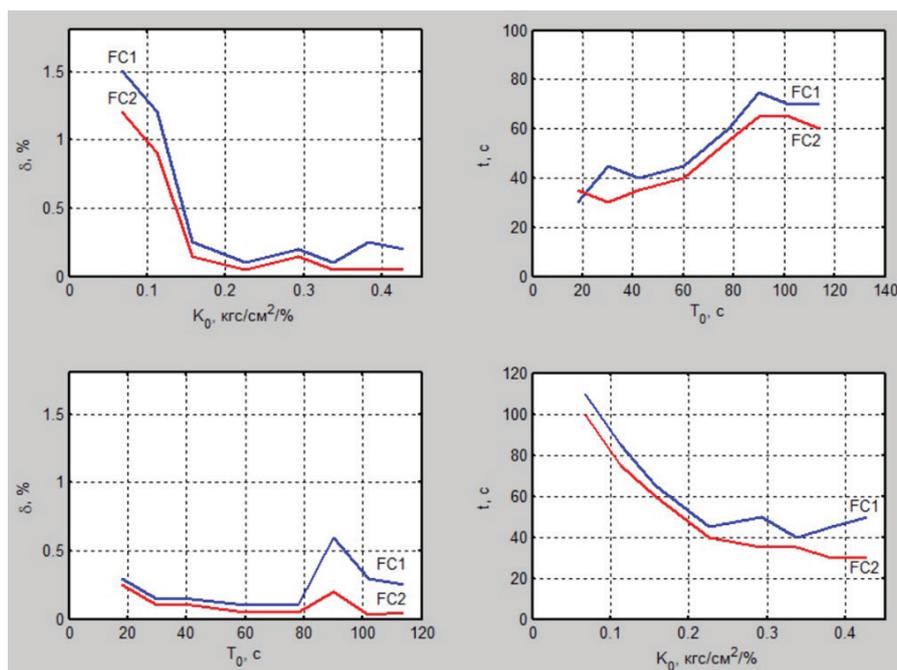


Рис. 4. Зависимости статической ошибки и времени установления при нечетком регулировании от изменения параметров объекта управления

переменной  $de/dt$  и пять ФП для выходной переменной  $V_{cv}$ . После оптимизации с помощью генетического алгоритма рассматриваемых нечетких регуляторов  $FC1$  и  $FC2$  параметры ФП изменялись (рис. 3б и рис. 3в), обеспечивая требуемое качество регулирования.

Результаты сравнения работы оптимально настроенных нечетких регуляторов показали следующее. Как и ожидалось, в обоих случаях (для каждого из двух вариантов  $FC1$  и  $FC2$ ) системы, настроенные генетическим алгоритмом показали лучшие результаты, чем системы, работающие на экспертных

настройках. Установившаяся ошибка  $\delta$  в системах, оптимизированных генетическим алгоритмом, примерно в два раза меньше, чем до оптимизации. Время установления  $t$  уменьшилось примерно на 10 %.

При варьировании параметров объекта управления сравнивалась работа регуляторов  $FC1$  и  $FC2$  (с разным количеством функций принадлежности для входной переменной  $e$ ) с целью выбора структуры регулятора. Следует заметить, что, с одной стороны, выбор регулятора с меньшим количеством функций принадлежности (а значит, и с меньшим количеством настраиваемых параметров) предпо-

читательнее в силу его более простой реализации. Но, с другой стороны, нежелательно значительное ухудшение качества работы САР, особенно снижение точностных показателей.

Результаты модельных исследований нечетких регуляторов представлены в табл. 2 и табл. 3. При варьировании параметров объекта управления сравнивались значения установившейся ошибки  $\delta$  и времени установления  $t$ , полученные в результате исследования нечетких регуляторов, оптимально настроенных на базовые значения параметров объекта (с помощью ГА). Цветом выделены лучшие результаты. Как видно из таблицы, регулятор *FC2* с пятью функциями принадлежности для входной переменной  $e$  работает точнее и быстрее, чем регулятор *FC1* с тремя функциями принадлежности. Кроме того, важным является то, что регулятор *FC2* работает стабильнее, чем *FC1*, при разных параметрах объекта управления.

Для исследуемых вариантов регуляторов при варьировании параметров объекта управления построены соответствующие графики (рис. 4). На графиках видно, что при значительном изменении параметров объекта управления регулятор *FC2* (с пятью ФП для переменной  $e$ ) обеспечивает более точное регулирование, чем *FC1* (с тремя ФП для переменной  $e$ ). При увеличении постоянной времени или уменьшении коэффициента передачи объекта управления на 70 % установившаяся ошибка уменьшается примерно на 25 %. Также при использовании *FC2* в случае увеличения постоянной времени или коэффициента передачи объекта на 70 % время установления сокращается примерно на 10 %.

Анализ результатов позволил определить наиболее предпочтительную структуру регулятора. Сделан вывод, что *FC2* работает эффективнее, чем *FC1*. При выбранной структуре САР значения установившейся ошибки и времени установления наименьшие при изменении параметров объекта управления. Это означает, что увеличение количества функций принадлежности повышает робастность нечеткой САР, то есть нечувствительность к изменению параметров объекта, обусловленным возмущающими воздействиями.

**Заключение.** В результате проведенного исследования сделан вывод, что предлагаемый метод оптимизации на основе генетического алгоритма эффективен для проектирования нечетких систем регулирования. Кроме того, получено, что увеличение количества функций принадлежности повышает нечувствительность системы к изменению параметров объекта управления, а значит, позволяяет обеспечивать высокое качество регулирования

в условиях неопределенности и параметрической нестабильности.

#### Библиографический список

1. Нечеткая логика — математические основы. URL: <http://www.basegroup.ru/library/analysis/fuzzylogic/math/> (дата обращения: 10.09.2017).
2. Кудинов Ю. И., Дорохов И. Н., Пашенко Ф. Ф. Нечеткие регуляторы и системы управления // Проблемы управления. 2004. № 3. С. 24–36.
3. Денисова Л. А. Многокритериальная оптимизация на основе генетических алгоритмов при синтезе систем управления: моногр. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2014. 172 с.
4. Денисова Л. А. Синтез систем регулирования с коррекцией задающего воздействия на основе нечеткого логического вывода // Омский научный вестник. 2009. № 1 (77). С. 184–191.
5. Карабцов Р. Д., Денисова Л. А. Оптимизация нечеткой системы регулирования // Информационные технологии и автоматизация управления: материалы VIII Всерос. науч.-практ. конф. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2016. С. 84–91.
6. Заде Л. А. Роль мягких вычислений и нечеткой логики в понимании, конструировании и развитии информационных/интеллектуальных систем / пер. с англ. И. З. Батыршина // Новости искусственного интеллекта. 2001. № 2-3. С. 7–11.
7. Денисова Л. А., Надточий П. Н., Раскин Е. М. Реализация системы регулирования с нечеткой компенсацией статической ошибки в среде автоматизированного проектирования TEPROL // Автоматизация в промышленности. 2012. № 8. С. 33–38.
8. Методы классической и современной теории автоматического управления. В 5 т. Т. 3. Синтез регуляторов систем автоматического управления / Под ред. К. А. Пупкова, Н. Д. Егупова. М.: Изд-во МГТУ им Н. Э. Баумана, 2004. 616 с. ISBN 5-7038-2191-6 (Т. 3), ISBN 5-7038-2194-0.
9. Дьяконов В. В., Круглов В. И. Математические пакеты расширения MATLAB. Специальный справочник. СПб.: Питер, 2001. 480 с.

**КАРАБЦОВ Роман Дмитриевич**, аспирант кафедры «Автоматизированные системы обработки информации и управления».

Адрес для переписки: bosasin@mail.ru

**ДЕНИСОВА Людмила Альбертовна**, доктор технических наук, доцент (Россия), профессор кафедры «Автоматизированные системы обработки информации и управления».

Адрес для переписки: denisova@asoju.com

Статья поступила в редакцию 07.11.2017 г.

© Р. Д. Карабцов, Л. А. Денисова

## РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМА МАРШРУТИЗАЦИИ В МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ СВЯЗИ

**В работе предлагается алгоритм для маршрутизации в комплексе связи, оптимизирующий процесс передачи информации путем повышения скорости обмена между узлами за счет динамического выбора лучшего набора из промежуточных узлов и интерфейсов между ними. Производится сравнение разработанного алгоритма, основанного на методе быстрого поиска, с известными алгоритмами маршрутизации. Определяется набор требований и компонентов, необходимых для реализации алгоритма маршрутизации, а также производится анализ его эффективности.**

**Ключевые слова:** комплекс связи, алгоритм маршрутизации, оптимизация передачи информации, проектирование алгоритмов.

**Введение.** Повышение требований к комплексам связи, реализованным на аппаратных и программных средствах, интегрированных в единую систему на основе сетевых технологий, предполагает оптимизацию скорости передачи информации между устройствами связи [1–3]. В связи с тем, что устройства связи могут обмениваться информацией как по радиосвязи, спутниковым каналам, так и по сотовым и интернет-сетям, то каждый узел может обладать одним или несколькими интерфейсами связи. Поэтому при выборе каналов связи для передачи информации необходимо определять наиболее высокоскоростные интерфейсы доступных узлов.

Под каналом связи понимается канал обмена информацией между двумя узлами с интерфейсами одного типа. Следует принять во внимание то, что объекты комплекса связи обладают мобильностью, могут перемещаться в пространстве и, кроме того, в комплекс оперативно добавляются и удаляются новые узлы.

Необходимо также учитывать и то, что специфика выделения интерфейса узла для обмена информацией в текущий момент времени заключается в том, что канал связи является динамическим, то есть скорость передачи данных в канале и вероятность отказа интерфейса зависят от поддерживаемого протокола обмена, погодных условий и других внешних воздействий. Применительно к работе комплекса связи под внешними воздействиями понимаются факторы, влияющие на связь (помехи в канале связи, понижение пропускной способности интерфейса, электромагнитные наводки и др.). Чтобы предсказывать изменения в канале связи, вызванные внешними факторами, на каждом интерфейсе считываются текущие данные с помощью имеющихся средств контроля программно-аппаратного комплекса. Необходимо учитывать, что отказ единственного интерфейса,

имеющегося у узла, отсекает данный узел, то есть делает его недоступным для обмена.

В работе ставится задача разработки алгоритма поиска маршрута передачи информации между узлами, обеспечивающего высокую скорость передачи данных и учитывающего возможность изменения положения и добавления или отсекания узлов комплекса связи.

**Постановка задачи.** Так как комплекс связи состоит из большого количества взаимосвязанных устройств (узлов), то формализованно он может быть представлен в виде графа, вершинами которого являются узлы связи, а ребрами — интерфейсы связи между узлами. Каждый узел обладает одним или несколькими интерфейсами связи, пригодными для обмена информацией в текущий момент времени, из множества всех имеющихся интерфейсов. В случае отказа единственного интерфейса узла он становится недоступным для обмена (отсекается). За начальное состояние системы принимается состояние связи (узла-инициатора) информации, которую требуется передать другому известному узлу (узлу-приемнику). Под конечным состоянием системы понимается завершение процесса передачи информации в комплексе связи от узла-инициатора к узлу-приемнику.

Требуется построить маршрут передачи информации между узлами (от инициатора к приемнику), обеспечивающий высокую скорость передачи на основе построения кратчайшего (по времени) пути между узлами связи с учетом ограничений, обусловленных динамическим состоянием доступных интерфейсов обмена.

Пусть имеется набор узлов, которые требуется соединить кратчайшим по времени путем, исключая из рассмотрения отказавшие узлы и учитывая оперативно добавленные интерфейсы. Установим следующие обозначения:  $A = \{a_j\}$  — множество

узлов в комплексе связи;  $a_j, j = \overline{1, N}$  — узел;  $N = |A|$  — количество узлов в комплексе;  $I = \{i_m\}$  — множество интерфейсов узла;  $i_m, m = \overline{1, M}$  — интерфейс узла;  $M = |I|$  — количество интерфейсов узла;  $U_{en} = \{a_j : d_j \geq d_{min}\}$  — множество доступных узлов,  $d_j$  — признак стабильности работы интерфейса, формируемый средствами контроля  $j$ -го узла;  $d_{min}$  — порог стабильной работы интерфейса;  $U_n = \{a_j : d_j < d_{min}\}$  — множество недоступных узлов.

Требуется минимизировать время передачи сообщения от узла-инициатора до узла-приемника:  $T = \sum t_{kj}$ ;  $t_{kj} = t_{kj}^{pr} + t_{kj}^{ix}$ ;  $k = \overline{1, N-1}, k \neq j$ , где  $t_{kj}^{pr}$  — время обработки сообщения в  $j$ -м узле, доступном для коммуникации с  $k$ -м узлом;  $t_{kj}^{ix}$  — время передачи между узлами  $k$  и  $j$ ;  $a_j \in U_{en}$ .

Так как выбор оптимального пути в графе может быть выполнен на основе решения широко известной задачи о кратчайшем пути [4, 5], которое позволяет найти самый короткий путь между двумя точками на графе на основе минимизации суммы весов ребер, составляющих путь, то использование в данной работе алгоритмов кратчайшего пути обоснованно. Следует отметить, что алгоритмы, решающие задачу нахождения кратчайшего пути и осуществляющие поиск в пространстве состояний [2, 6] (англ. *state space search*), базируются на группе математических методов, позволяющих осуществить просмотр возможных конфигураций области поиска или состояний компонент системы с целью поиска оптимального состояния.

**Алгоритм решения задачи.** Для разработки алгоритма решения задачи нахождения кратчайшего пути между узлами рассматривались широко известные методы поиска: алгоритм Дейкстры (алгоритм поиска маршрутов) [4]; алгоритм *A-Star* (алгоритм эвристической маршрутизации) [5], алгоритм *JPS* (англ. *Jump Pointer Search*, алгоритм быстрого поиска) [7]. Основное содержание алгоритма Дейкстры заключается в последовательном построении итерационного маршрута до конечного узла с минимальным временем его достижения. Алгоритм *A-Star* использует поиск по набору «перспективных» узлов, удовлетворяющему ограничениям, для которого находится маршрут с наименьшим временем до конечного узла. Алгоритм *JPS*, разработанный в австралийском центре информационных технологий, является успешной модификацией алгоритма *A-Star* [5], за счет более точного отбора вероятных маршрутов движения и рассмотрения меньшего числа узлов.

Для разработки алгоритма поиска маршрута в комплексе связи введем следующие вспомогательные функции: функцию поиска узла-приемника и функцию достижения результата.

Функции поиска узла-приемника позволяет перейти к следующему промежуточному узлу на графе и определяется как  $F_{next} = j, \{j : t_{kj}(j) = \min t_{kj}\}$ , где  $j$  — номер выбираемого промежуточного узла,  $a_j \in U_{en}$ .

Функция достижения результата осуществляет проверку на достижение узла-приемника  $a_n$  и представляется в виде  $F_{end}(a_n) = 1, F_{end}(a_j) = 0, j \neq n$ .

Предлагаемый алгоритм маршрутизации *MJPS* (*Modified Jump Pointer Search*) состоит из следующих этапов, которые выполняются на каждом текущем узле  $a_k$ .

На первом этапе формируются данные о множестве интерфейсов, отсечений между объектами маршрутизируемой сети с помощью функции  $F_{next}$

для набора доступных узлов множества  $U_{en}$ . На основании полученных характеристик множества узлов  $A$  производится ранжирование точек по минимальному времени обработки  $t_{kj}^{pr}$ . В результате получаем набор узлов и интерфейсов для достижения конечной точки  $a_n$  с набором ограничений.

На втором этапе работы алгоритма на узле-инициаторе формируется предварительный маршрут до приемника для последующего сравнения с конечным, где  $a_j$  — узел-инициатор;  $a_n$  — узел-приемник. Предварительный маршрут будет передан вместе с данными.

На третьем этапе алгоритма *MJPS* для рассматриваемого момента времени проводят оценивание скоростных характеристик для множества интерфейсов узла с помощью средств контроля, подключенных к узлу комплекса.

На четвертом этапе моделируются дополнительные узлы, добавление которых в комплекс связи планируется в процессе передачи (мониторинг множества узлов  $U_{en}$ ), поскольку новый узел может обладать более выгодными параметрами.

На пятом этапе производят определение кратчайшего пути по алгоритму *MJPS* для матрицы со значениями рассчитанных скоростей, и результаты заносятся в базу данных. База данных предназначена для хранения текущего выбранного интерфейса сети и принятого решения о выбранном пути. Эти данные нужны для выполнения оптимизации, которую в дальнейшем предполагается производить при реализации машинного обучения алгоритма по сохраненным выборкам.

На шестом этапе выполняется переход от одного узла  $a_k$  к другому  $a_j$ , для которого проверяется появление точек отсечения  $a_j \in U_n$  и при необходимости инициируется новый расчет пути для *MJPS*.

На седьмом этапе проверяется достижение конечного узла и при невыполнении этого условия сверяется информация об отказе промежуточных интерфейсов связи, формируется набор точек отсечения  $D_n$  для возврата на второй этап. При достижении узла (проверка функции  $F_{end}$ ) алгоритм завершает работу, выдает решение и результирующее время работы  $T$ .

При разработке алгоритма маршрутизации производилась оценка возможности использования описанных выше методов в качестве базовых для нахождения кратчайшего пути в комплексе связи. Результаты проведенных численных экспериментов приведены на рис. 1 и рис. 2.

Для сравнения алгоритмов указаны требуемые для решения задачи количество операций  $n$  и затрат по времени на поиск пути  $t$  для заданных точек  $a_1 - a_n$ . Расчеты производились с использованием разработанной математической модели комплекса связи, реализованной на языке C/C++. Выполнено моделирование для набора узлов, имеющего количество элементов от 10 до 1000.

Как видно из рисунков, предлагаемый алгоритм *MJPS* рассматривает меньшее количество точек (выделены на линии движения цветом) по сравнению с двумя другими алгоритмами. Кроме того, алгоритм *MJPS* выполняется за меньшее время, чем приведенные алгоритмы при сравнимых количествах операций.

Построение алгоритма *MJPS* на основе модификации *JPS* предпочтительнее при использовании в динамических системах и позволит сократить издержки на время поиска пути до конечного узла [7, 8].

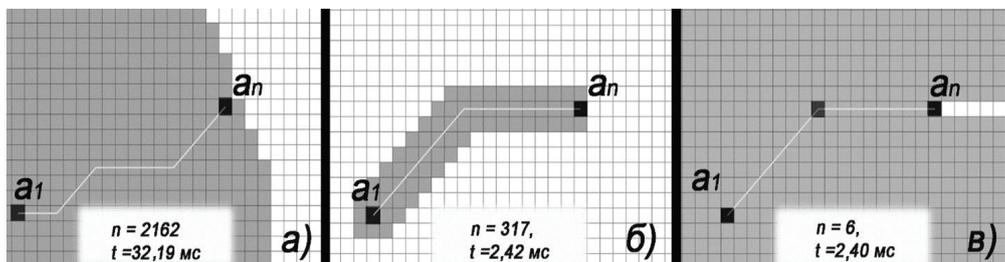


Рис. 1. Нахождение пути между узлами комплекса связи для набора узлов без учета отказа интерфейсов: (а) — на базе алгоритма Дейкстры, (б) — на базе алгоритма A-star, (в) — на базе алгоритма MJPS

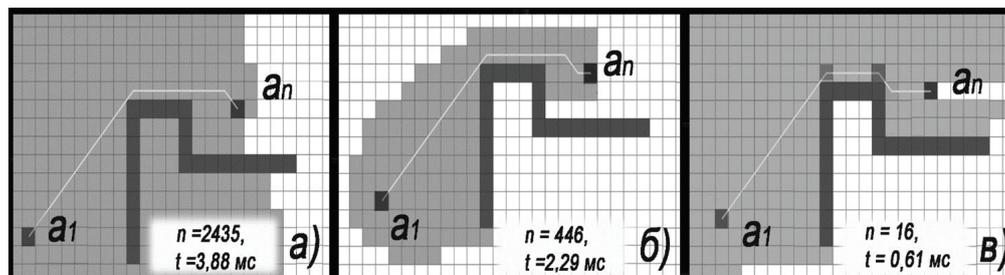


Рис. 2. Нахождение пути между узлами комплекса связи для набора узлов с учетом отказа интерфейсов: (а) — на базе алгоритма Дейкстры, (б) — на базе алгоритма A-star, (в) — на базе алгоритма MJPS

Как показали исследования, алгоритм *MJPS* эффективен при моделировании сложных динамических комплексов, имеющих значительное количество отказавших узлов (точек отсечения), которые встречаются в реальной сети. Следует отметить, что разработанный алгоритм *MJPS* пригоден для моделирования часто встречающихся на практике ситуаций, при которых канал связи обязательно должен пройти через строго определенный узел и его единственный интерфейс [9]. Следует отметить, что с течением времени отказ или снижение скорости интерфейса может приводить к коррекции алгоритмом набора для не посещенных вершин. При этом если информация уже дошла до промежуточного узла, то маршрут может быть пересчитан для текущего узла, поскольку потеря информации или ее повторная отправка занимает длительное время [10].

**Заключение.** В результате выполненных исследований выявлено, что основной особенностью многофункционального комплекса связи является наличие большого числа интерфейсов передачи. Показано, что использование алгоритма быстрого поиска, основанного на использовании метода нахождения кратчайшего пути между узлами комплекса связи, совместно с ранжированием интерфейсов эффективно для применения в случае, если на время передачи информации наложены ограничения. Существует возможность дальнейшей оптимизации за счет применения технологий машинного обучения. Развитие данного алгоритма позволит снизить общие затраты на вычислительную сеть комплекса связи за счет минимизации трафика.

#### Библиографический список

1. Легков К. Е., Донченко А. А. Беспроводные mesh-сети специального назначения // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2009. Т. 3, № 3. С. 36–37.
2. Алгоритмы поиска угроз в пространстве состояний процессов информационного обмена распределенной управляющей системы // Вестник ТГТУ. 2004. Т. 10, № 4А. С. 912–917.

3. Прозоров Д. Е., Метелев А. П., Чистяков А. В. [и др.] Протоколы геомаршрутизации самоорганизующихся мобильных сетей // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2012. Т. 6, № 5. С. 16–19.

4. Скиета С. С. Алгоритмы. Руководство по разработке. 2-е изд. СПб.: БХВ-Петербург, 2017. 720 с. ISBN 978-5-9775-0560-4, 978-1-84800-069-8.

5. Максимова Е. И. Сравнение качества результатов алгоритма «A STAR» и его модификации для дорожной сети при выборе маршрута с учетом направления движения на перекрестке // Вестник науки Сибири. 2014. № 4 (14). С. 117–120.

6. Поиск в пространстве состояний. URL: <https://habrahabr.ru/company/abbyu/blog/217839/> (дата обращения: 20.03.2017).

7. Алгоритм поиска пути Jump Point Search. URL: <https://habrahabr.ru/post/162915/> (дата обращения: 20.03.2017).

8. Реализация алгоритма на JavaScript. URL: <http://qiao.github.io/PathFinding.js/visual/> (дата обращения: 21.03.2017).

9. Панков Д. А., Денисова Л. А. Анализ задач моделирования для пользовательского сегмента системы спутниковой навигации «ГЛОНАСС» // Материалы VIII Всерос науч.-практ. конф. студентов, аспирантов, работников образования и пром.-сти, 26–28 апр. 2016 г. / ОмГТУ. Омск, 2016. С. 65–68.

10. Иванов В. И. Исследование протоколов маршрутизации в негеостационарных спутниковых системах // Т-Comm: телекоммуникации и транспорт. 2012. Т. 6, № 6. С. 19–21.

**ПАНКОВ Денис Анатольевич**, аспирант кафедры «Автоматизированные системы обработки информации и управления».

Адрес для переписки: [pankovDDD@yandex.ru](mailto:pankovDDD@yandex.ru)

**ДЕНИСОВА Людмила Альбертовна**, доктор технических наук, доцент (Россия), профессор кафедры «Автоматизированные системы обработки информации и управления».

Адрес для переписки: [denisova@asoju.com](mailto:denisova@asoju.com)

Статья поступила в редакцию 04.11.2017 г.

© Д. А. Панков, Л. А. Денисова

## МЕТОД РАСПОЗНАВАНИЯ ЭМОЦИЙ ДЕТЕЙ ДОШКОЛЬНОГО ВОЗРАСТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИМИЧЕСКИХ ВЫРАЖЕНИЙ

В статье представлено описание шаблонов для распознавания эмоций, которые представляют собой наборы контрольных точек для определения эмоций детей дошкольного возраста по системе кодирования лицевых движений Пола Экмана с учетом особенностей выражения эмоций через мимику в детском возрасте.

Представлен разработанный алгоритм сопоставления данных по классификации и идентификации эмоций детей. Алгоритм позволит создать программный модуль для оценки уровня эмоционального развития и выразительности ребенка, понять проблемы, которые возникли у дошкольника при прохождении тестирования, для раннего выявления и определения уровня умственных способностей и эмоционального состояния. Алгоритм может быть использован как в специализированных дошкольных учреждениях, так в домашних условиях.

**Ключевые слова:** распознавание эмоций, мимика, выражение эмоций, алгоритм идентификации эмоций, дети дошкольного возраста.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант № 16-47-550894.*

Для психического здоровья детей необходима сбалансированность положительных и отрицательных эмоций, обеспечивающая поддержание душевного равновесия. Нарушение эмоционального баланса способствует возникновению эмоциональных расстройств, приводящих к отклонению в развитии личности ребенка.

В настоящее время многие исследователи большое внимание уделяют вопросам изучения нарушений эмоционального развития детей дошкольного возраста. Данные специальных исследований и официальной статистики свидетельствуют о явном прогрессирующем ухудшении состояния здоровья подрастающего поколения, идет устойчивая тенденция к увеличению числа детей с нарушениями в развитии эмоциональной сферы [1, 2].

Ранняя диагностика нарушений эмоциональной сферы детей чрезвычайно сложна и в то же время крайне необходима для выбора подходящих коррекционных действий в процессе обучения [3].

Автоматическое распознавание эмоций с использованием мимических выражений, позы и жестов, речи и интеллектуальной обработки текста получили большое внимание в последние годы [4–6]. Несмотря на то, что было проведено значительное количество исследований по распознаванию эмоций у взрослых, распознавание эмоций и особенности их внешнего выражения у детей изучены недостаточно. Решение проблемы автоматического распознавания эмоций человека включает несколько основных этапов:

1. Задача обнаружения и захвата лица требует определения, присутствует ли лицо на изображении. Если лицо обнаружено, необходимо получить размер лица и его координаты положения на изображении.

2. Задача распознавания и описания особенностей лица требует определения органов (глаза, брови, рот и т.д.) и их форм на лице.

3. Задача классификации подразумевает определение вида эмоции на основе информации об особенностях лица на изображении.

В настоящее время задача обнаружения лица изучена достаточно хорошо — это популярная область исследований в компьютерном зрении и одно из самых успешных применений анализа изображений [7–10].

Определение эмоции как базовой (основной) можно выделить по следующим признакам (критериям) [11]:

- базовая эмоция может проявляться самостоятельно и имеет вполне определенную структуру;

- базовые эмоции выражаются одинаково в любой точке планеты и не зависят от культурных, ментальных и социальных различий;

- большую часть из остальных (сложных) эмоций можно представить как суперпозицию базовых.

По результатам экспериментов П. Экман и У. Фризен выделяли семь универсальных (базовых или основных) эмоций: радость, печаль, страх, удивление, гнев, отвращение, презрение [12–13].



Рис. 1. Страх в выражениях лиц детей старшего дошкольного возраста

Эти эмоции «кодируются» на человеческом лице определенными произвольными движениями лицевых мимических мышц — выделяют три области, способные двигаться независимо друг от друга:

- брови и лоб;
- глаза, веки и переносица;
- нижняя часть лица: щеки, рот, большая часть носа и подбородок.

В связи с этим постоянным индикатором психических состояний будет выступать комплекс признаков мимики. Придерживаясь этого принципа, В. А. Лабунская создала схему описания мимики шести эмоциональных состояний (радости, гнева, страха, страдания, удивления, отвращения) на основе выделения универсальных признаков для определенной эмоции, специфических признаков для определенной эмоции, специфических признаков для каждого состояния, неспецифических, которые приобретают значение только в контексте с другими признаками [14].

Распознавание эмоций у детей может быть очень сложным из-за ряда причин:

1) особенности в мимике: быстрая смена эмоций и настроений, экспрессивное выражение чувств и неумение контролировать внешнее проявление эмоций;

2) недостаток характерных признаков: отсутствие достаточно подробного описания схем мимического выражения эмоций у детей.

На основании анализа трудов отечественных и зарубежных психологов [2, 15–17] был сделан вывод, что к четырем годам ребенок должен уметь узнавать и выражать с помощью мимики и пантомимики следующие эмоциональные состояния: радость, грусть, гнев, страх. К пяти годам интенсивное развитие любознательности способствует развитию удивления, радости открытий, поэтому дети среднего дошкольного возраста уже лучше распознают и умеют выразить эмоцию удивления. В это период начинает формироваться чувство долга. Моральное сознание, являясь основанием этого чувства, способствует пониманию ребенком предъявляемых ему требований, которые он соотносит со своими поступками и поступками окружающих сверстников и взрослых. Наиболее ярко чувство долга демонстрируется детьми 6–7 лет. Ребенок начинает оценивать себя и учиться относиться критически к своим поступкам. Особенностью старшего дошкольного периода является способность ребенка распознавать и выражать эмоции обиды и вины.

Таким образом, можно выделить следующие наборы базовых эмоции для детей трех возрастных категорий периода дошкольного детства:

— младший школьный возраст (3–4 года) — радость, печаль, гнев и страх;

— средний дошкольный возраст (4–5 лет) — радость, печаль, гнев, страх и удивление;

— старший дошкольный возраст (5–7 лет) — радость, печаль, гнев, страх, удивление, вина и обида.

Следовательно, задача определения эмоций детей дошкольного возраста сводится к подготовке классификатора мимических выражений определенных эмоций для последующего распознавания.

В результате анализа фотографий детей каждой возрастной категории была выявлена еще одна особенность в мимическом проявлении. Дети 3–4 лет выражают эмоцию страха очень ярко, и мимическая структура такого выражения больше похожа на выражение очень сильного удивления детей постарше и взрослых (рис. 1).

Эта особенность связана с родственностью мимики эмоций страха и удивления, а также психологической составляющей детского восприятия окружающего мира: младших дошкольников пугает все новое и неизвестное. Поэтому в ситуациях, когда ребенок 3–4 лет сталкивается с чем-то новым, то реагирует на эту ситуацию страхом. В дальнейшем, с развитием познавательной деятельности,

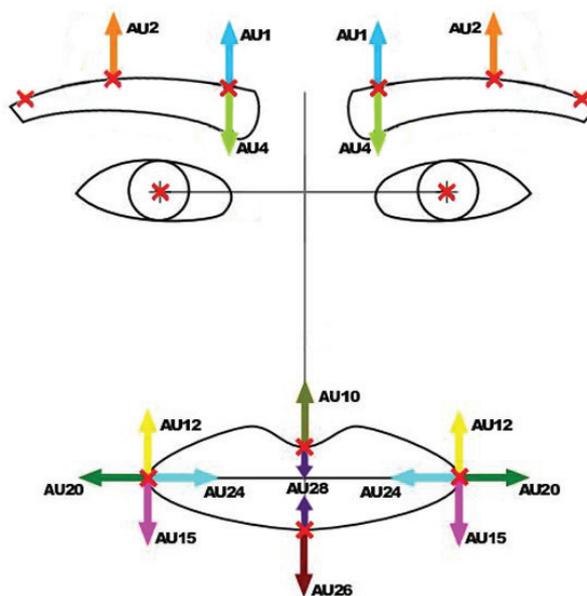


Рис. 2. Схема расположения двигательных единиц и контрольных точек



Рис. 3. Контрольные точки с изображениями базовых эмоций (дети 3–4 лет)



Рис. 4. Контрольные точки с изображениями базовых эмоций (дети 5 лет)



Рис. 5. Контрольные точки с изображениями базовых эмоций (дети 6–7 лет)

ребенок начинает понимать разницу между этими двумя эмоциями. Другая особенность взаимосвязи эмоции страха и удивления в том, что к возрасту 5–6 лет мимическая структура выражения страха ребенка 3–4 лет становится выражением удивления, тогда как страх выражается на лице более сдержанно в области рта.

Как упоминалось выше, каждой базовой эмоции соответствует определенная мимическая схема. Наиболее информативными признаками на такой схеме выступают формы бровей и губ. Следовательно, необходимо определить расположение контрольных точек на лице, по которым возможно зафиксировать динамику изменения мимики.

На первом этапе определения контрольных точек были проанализированы двигательные единицы областей бровей и губ по Системе кодирования лицевых движений Пола Экмана [12]. Для зоны бровей были отобраны следующие двигательные единицы:

— AU1 — поднятие верхней части брови, в которой задействована работа лобной мышцы;

— AU2 — поднятие наружной части брови (ответственная лобная/медиальная часть);

— AU4 — опускание бровей, задействован комплекс мышц: опускающая надпереносье, опускающая бровь, сдвигающая брови.

Для области рта выбраны:

— AU10 — поднятие верхней губы (мышца, поднимающая верхнюю губу);

— AU12 — поднятие уголков губ (большая скуловая мышца);

— AU15 — опускание уголков губ (большая скуловая мышца);

— AU20 — оттягивание губ (мышца смена);

— AU24 — сужение губ (круговая мышца рта);

— AU26 — поднятие/опускание нижней челюсти (жевательная мышца);

— AU28 — сжатие губ (круговая мышца рта).

Отбор производился по признаку наличия у двигательной единицы мышечной основы для совершения действия.

На втором этапе были расставлены контрольные точки на схематической модели лица (рис. 2): по три

Классификаторы для детей дошкольного возраста

Эмоция	Правило движения AU		
	3–4 года	5 лет	6–7 лет
	Классификатор I	Классификатор II	Классификатор III
Радость	10 + 20 + 26	10 + 20 + 26	10 + 20 + 26
Печаль	4 + 15/20	4 + 15/20	4 + 15 + 20
Страх	1 + 2 + 10 + 24 + 26	1 + 2 + 26 + 24	1 + 2 + 26 + 24
Гнев	4 + 24/ 4 + 10 + 26	4 + 24/ 4 + 10 + 26	4 + 24/ 4 + 10 + 26
Удивление		1 + 2 + 10 + 24 + 26	1 + 2 + 10 + 24 + 26
Обида			4 + 28
Вина			28

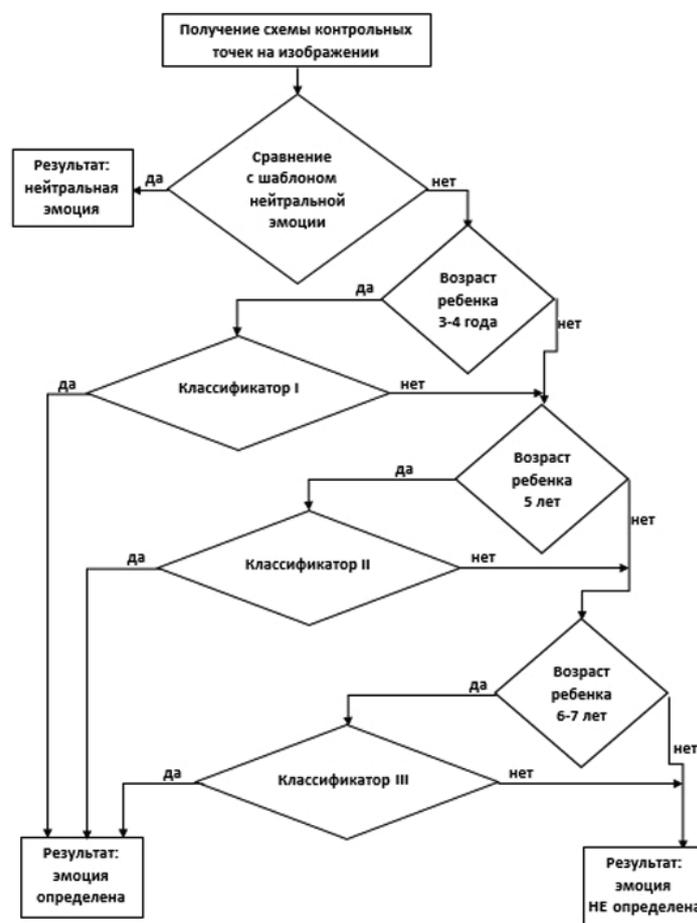


Рис. 6. Алгоритм сопоставления данных для идентификации эмоций

точки на каждой брови, по одной точке на зрачок глаза, пять точек по контуру губ. На рис. 2 ключевые точки обозначены крестиками, а стрелками — направления, в котором они должны двигаться, чтобы активировать двигательные единицы.

Чтобы проследить динамику изменения контрольных точек при смене выражения на лице, в зависимости от испытываемой эмоции, были проанализированы фотографии детей младшего, среднего и старшего дошкольного возраста, выражающие базовые эмоции. Затем на фотографиях были проставлены контрольные точки (рис. 3–5).

Следующим шагом были сформированы мимические схемы расположения контрольных точек базовых эмоций для детей каждой возрастной категории [18].

На основании относительного взаимного расположения контрольных точек можно определить, какая эмоция представлена на изображении. Для этого необходимо создать систематизированный перечень характерных признаков базовых эмоций для каждой возрастной категории детей: младший, средний и старший дошкольные возраста (табл. 1).

Основным признаком для определенной эмоции может служить правило изменения двигательных единиц, а дополнительным признаком выступит характер общей картины расположения контрольных точек. Дополнительным признаком для эмоции вины будет служить отсутствие точек зрачков глаз.

Для сопоставления изображений для идентификации эмоции предполагается наличие первоначального изображения лица с нейтральным, спокойным выражением, на котором определяется расположение контрольных точек. Схема расположения этих точек образует шаблон.

При получении следующего изображения и определении контрольных точек на нем проводится сравнение полученной схемы с шаблоном. Если схемы совпадают — можно сделать вывод, что эмоция нейтральная. Если фиксируются изменения в расположении контрольных точек, тогда запускается проверка этих изменений на соответствие характерным признакам. При совпадении выводится результат в виде определения конкретной эмоции.

На рис. 6 представлена расширенная схема алгоритма процесса сопоставления данных, с учетом разделения данных по возрастным категориям для сравнения с определенным набором правил (классификатор) для данной категории, что позволяет повысить точность определения эмоции ребенка.

Получение первоначального изображения с нейтральным выражением лица также решает проблему индивидуальных особенностей строения лица.

Таким образом, разработанные классификаторы эмоций детей дошкольного возраста и алгоритм идентификации позволят в последующем реализовать процесс автоматического распознавания эмоций в компьютерной системе диагностики уровня развития детей дошкольного возраста с ОВЗ.

#### Библиографический список

1. Борисова И. В. Реализация процесса сопровождения детей с задержкой психического развития в процессе инклюзии в условиях дошкольного образовательного учреждения // Молодой ученый. 2015. № 21 (101). С. 769–772.
2. Жавнерко А. П. Психологическая модель исследования понимания эмоций детьми старшего дошкольного и младшего школьного возраста // Молодой ученый. 2016. № 4 (108). С. 685–687.
3. Батенькина О. В., Ткаченко О. Н. Системы компьютерной диагностики уровня развития детей дошкольного возраста с ОВЗ // Воспитание и обучение детей младшего возраста. 2017. № 6. С. 202–203.
4. Tao Xiang, Shaogang Gong. Video behavior profiling for anomaly detection // IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence archive. 2008. Vol. 30, no. 5. P. 893–908.
5. Заболеева-Зотова А. В. Развитие системы автоматизированного определения эмоций и возможные сферы применения // Открытое образование. 2011. № 2. С. 59–62.

6. Кашапова Л. Х., Бойко А. А., Спиридонов И. Н. Разработка алгоритма оценки эмоционального состояния по изображению лица с использованием локальных бинарных шаблонов // Биомедицинская радиоэлектроника. 2011. № 10. С. 105–109.

7. Cuiping Z., Guangda S. Human face recognition: a survey // Journal of Image and Graphics. 2000. № 11. P. 103–111.

8. Sujun Z. Facial expression recognition algorithm based on active shape model and gabor wavelet // Journal of Henan University (Natural Science). 2010. № 9. P. 40–45.

9. Fanelli G., Yao A., Noel Pierre-Luc [et al.]. Hough forest-based facial expression recognition from video sequences // European conference on computer vision. ECCV 2010: Trends and topics in computer vision. 2012. Vol. 1. P. 195–206. DOI: 10.1007/978-3-642-35749-7\_15.

10. Dahmane M., Meunier J. Emotion recognition using dynamic grid-based HoG features // Ninth IEEE International conference on automatic face & gesture recognition and workshops. FG 2011. 2011. P. 884–888. DOI: 10.1109/FG.2011.5771368.

11. Ekman P. Strong evidence for universals in facial expressions // Psychol. Bull., 1994. № 115 (2). P. 268–287.

12. Ekman P., Friesen W. V., Hager J. C. Facial action coding system: the manual // Research nexus division of network information research corporation publ. Salt Lake City, 2002. 197 p. ISBN 0-931835-0-11.

13. Chandrani S., Washef A., Soma M. [et al.]. Facial expressions: a cross-cultural study. Emotion recognition: a pattern analysis approach. Wiley Publ., 2015. P. 69–86.

14. Лабунская В. А. Анализ процесса опознания эмоциональных состояний по выражению лица // Вопросы психологии познания людьми друг друга и самопознания. Краснодар, 1977. С. 145–153.

15. Диагностика эмоционально-личностного развития дошкольников 3–7 лет / Сост. Н. Д. Денисова. Волгоград: Учитель, 2013. С. 184–191.

16. Изард К. Е. Психология эмоций: пер. с англ. СПб.: Питер, 2007. 464 с.

17. Гоулман Д. Деструктивные эмоции. Как с ними справиться? // пер. с англ. О. Г. Белосоева. Мн.: Попурри, 2005. 672 с.

18. Барабанщиков В. А., Малкова Т. Н. Зависимость точности идентификации экспрессии лица от локализации мимических проявлений // Вопросы психологии. 1988. № 5. С. 131–140.

**БАТЕНЬКИНА Оксана Васильевна**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Дизайн и технологии медиаиндустрии».

**ИНОЗЕМЦЕВА Ксения Викторовна**, магистрант гр. ИСТм-151 факультета «Элитное образование и магистратура».

Адрес для переписки: oks-bat@mail.ru

Статья поступила в редакцию 02.10.2017 г.

© О. В. Батенькина, К. В. Иноземцева

## ПРИМЕНЕНИЕ ЛОГИСТИЧЕСКОГО ПОДХОДА В ПРОГНОЗИРОВАНИИ РЕАЛИЗАЦИИ ИНВЕСТИЦИОННОГО ПРОЕКТА

**В данной статье рассматривается применение логистического подхода в прогнозировании реализации инвестиционного проекта. Указывается роль логистики в финансовой деятельности фирмы и влияние логистики на прогнозирование результатов фирмы и получение дальнейшей прибыли. Также описывается, как с помощью пакетов прикладных программ можно произвести расчеты показателей логистической системы и спрогнозировать результаты финансовой деятельности фирмы.**

**Ключевые слова:** информационная логистика, инвестиционный процесс, инвестиции, логистическая система, тренд временной выгоды, логистический подход.

В настоящее время в управления инвестиционным процессом существует потребность в прогнозировании будущих денежных потоков, возникающих при реализации выбранного проекта инвестирования. Большая роль в прогнозировании отведена логистике, которая позволяет определить максимальный положительный результат от реализации проекта с учетом минимальных издержек.

Инвестиционный процесс запускается для решения задач развития организации и создания благоприятных условий для развития бизнеса [1]. В инвестиционной деятельности значимым является прогнозирование будущих финансовых показателей деятельности, и логистика играет в этом ключевую роль.

Логистика как сфера деятельности сейчас активно развивается, и, в зависимости от направления деятельности, взятого на рассмотрение, логистику можно трактовать по-разному. Но все определения можно объединить в две большие группы: определения, связывающие логистику с потоками информации и материалов, и определения, связывающие логистику с наукой и поиском новых решений оптимизации потоков информации и материалов [2]. В табл. 1 представлены определения логистики в зависимости от рассматриваемого направления деятельности.

Обобщая все изложенные понятия, можно сказать, что в управлении инвестиционным процессом логистика — это способ управления с учетом издержек материальными и информационными потоками в пространстве-времени от первоисточника до конечного потребителя.

Для достижения высоких результатов в экономической сфере необходимо внедрение принципов логистики в деятельность всех предприятий [3]. В. В. Волгин отмечает, что логистике приходится ре-

шать задачи, опираясь на такие инструменты, как логика, интуиция и знания [4]. Поэтому задача системной организации процессов должна решаться людьми разной направленности [5]. Такой всесторонний глубокий анализ задачи обеспечит в перспективе грамотную логистическую работу подразделений предприятий и предприятий в целом [6].

В настоящее время в России действует документ № ВК 477 [7], содержащий рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов. В нем выделены два этапа оценки эффективности инвестиционного проекта: общая оценка проекта и оценка, затрагивающая участие в проекте других структур, например, предприятия-проектостроителя.

Целью такой оценки является заключение о том, возможно ли на данном этапе отказаться от прибыли и вложить инвестиции в проект для дальнейшего получения прибыли. Принцип оценки отображен на рис. 1.

Для всесторонней оценки проекта инвестирования используют следующие основные принципы:

1. Принцип альтернативности. Касается разнообразия путей использования ресурсов и путей достижения поставленных проектных целей. Из имеющихся проектных решений выбирается лучшее.
2. Принцип обусловленности. Применяется для стоимостной оценки входящей и выходящей информации, измеряется в денежном эквиваленте. Происходит моделирование потоков продуктов или услуг и ресурсов в виде денежных потоков.
3. Принцип сравнения «с проектом» и «без проекта». Позволяет проанализировать ситуации, которые могут сложиться в будущем, если проект будет запущен и, наоборот, если не реализовывать проект. Учитываются будущие денежные потоки прибыли для обеих ситуаций.

Определения логистики в зависимости от рассматриваемого направления деятельности

Автор	Определение	Вид деятельности
Волгин В. В.	Действия, оптимизирующие все процессы производства, распределения, перевозок и сбыта.	Перевозки
Тулембаева А. Н.	Научно-практическое направление хозяйствования, заключающееся в эффективном управлении материальными и связанными с ними информационными и финансовыми потоками в сферах производства и обращения.	Производство и обращение
Гаджинский А. М.	Теория и практика управления материальными и связанными с ними информационными потоками.	Производство
Дроздов П. А.	Междисциплинарное научное направление, непосредственно связанное с поиском новых возможностей повышения эффективности материальных потоков.	Наука
Ельдештейн Ю. М.	Наука об организации, планировании, контроле и регулировании движения материальных и информационных потоков в пространстве и во времени от их первичного источника до конечного потребителя.	Наука
Анфилатов В. С., Емельянов А. А., Кукушкин А. А.	Наука управления материальными потоками от первичного источника до конечного потребителя с минимальными издержками, связанными с товародвижением и относящимся к нему потоком информации.	Наука, перевозки



Рис. 1. Блок-схема процесса оценки эффективности инвестиционного проекта

4. Принцип учета рисков ситуаций и неопределенности. Учитывает состояние внешней среды и его влияние на эффективность и внутреннюю среду проекта [8].

С понятием логистики тесно связано понятие логистической системы, которое тоже можно трактовать по-разному. В отечественной литературе

наиболее распространено следующее определение логистической системы: «адаптивная система с обратной связью, выполняющая те или иные логистические функции и операции, состоящая, как правило, из нескольких подсистем и имеющая развитые связи с внешней средой» [9].

Любое предприятие, компанию, производство можно рассматривать как логистическую систему, целью которой является доставка товаров и услуг запрашиваемого качества в пункт потребления в достаточном количестве и при заданных издержках [10].

Любой логистической системе присущи следующие свойства [11]:

- сложность — определяется большим числом входящих в логистическую систему элементов и сложностью их взаимодействия друг с другом, сложностью организационного управления и выполняемых системой функций, а также зависимостью от воздействия внешних факторов;
- иерархичность — элементы более низкого уровня подчиняются элементам более высокого уровня;
- эмерджентность — предполагает работу всех элементов как единого целого;
- структурированность — логистическая система должна обладать определенной организационной структурой, в которую входят реализующие цель системы объекты и субъекты.

Все эти свойства определяют логистическую систему как систему в целом.

Предположим, что инвестор правильно определился с выбором субъекта инвестирования и объемом инвестиций и ему теперь необходимо определить результат от будущей реализации инвестиционного проекта, которая предполагает изъятие средств из производства. В результате такого действия может произойти:

- сокращение производства;
- выпуск новых видов продукции и/или услуг;
- улучшение условий трудящихся.

Рассмотрим упрощенную модель процесса реализации инвестиционного проекта (ПРИП) и, в частности, его процессы, возникающие при освоении изъятых из производства средств. Введем допущение, что в более сложных ситуациях или применимо к непроизводственным субъектам экономист в дальнейшем будет производить расчеты вручную или с помощью специальных программ.

Введем следующие исходные данные, необходимые для проведения расчетов:

$t$  — время, за которое окупится инвестиционный проект;

$\tau$  — промежуток времени, за который можно измерить финансовые показатели фирмы-инвестора;  $t$  измеряется в  $\tau$ ;

$a_1$  — уровень производства фирмы-инвестора на начальном этапе инвестиционного проекта;

$f(t)$  — интенсивность поступающего денежного потока;

$a_2$  — уровень производства, которого необходимо достигнуть за время  $t_p$ ;

$x(t)$  — реальная интенсивность поступающего денежного потока.

Для прогнозирования реализации инвестиционного проекта требуется найти:

— основные тренды результатов деятельности фирмы-инвестора;

— меру устойчивости и набор параметров работы по реализации проекта инвестирования фирмы-инвестора, при котором работа фирмы-инвестора будет наиболее стабильной;

— время  $t_p$ , за которое производство достигнет уровня  $a_2$ ;

— критерий качества управления ПРИП во время его реализации и с его помощью проводить минимизацию потерь, включая упущенную выгоду;

— минимальный размер инвестиций, который позволит оптимально вести ПРИП.

В деятельности фирмы-инвестора можно выделить следующие основные тренды переходного процесса, представляющие собой логистические параметризованные кривые [12]:

- тренд спада производства;
- тренд наращивания темпов производства;
- тренд временной выгоды.

Параметрами в данном случае будут измеряемые характеристики фирмы, получающей инвестиции. На графике параметры представляют собой

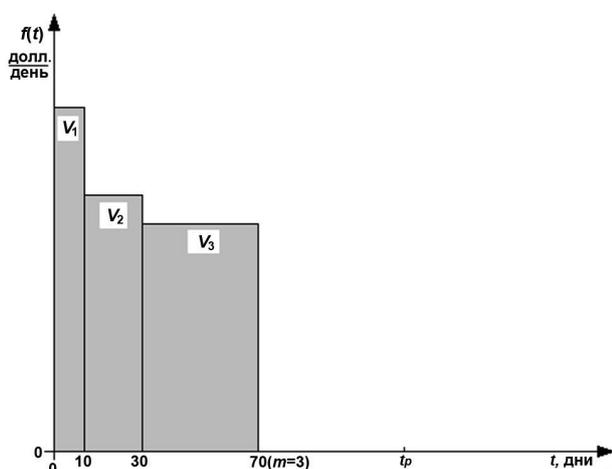


Рис. 2. Распределение инвестиционных сумм во времени

асимптоты, между которыми находятся логистические кривые.

Допустим, что:

—  $V_p$  — объем инвестиций (сумма инвестиций), которые поступают равными долями на каждом промежутке времени  $\tau$ ;

—  $\frac{V_p}{\tau}$  — скорость (постоянная) поступления инвестиций на каждом промежутке времени  $\tau$ .

Тогда распределение инвестиционных сумм можно представить в виде двумерного графика, на оси абсцисс которого находятся дни, на оси ординат — ден. ед./день (рис. 2).

Рассмотрим основные тренды в деятельности фирмы-инвестора.

Изменение объемов производства можно представить в виде двумерного графика (рис. 3).

В. С. Анфилов для определения тренда спада, тренда роста и тренда временной выгоды производственной фирмы вводит следующие формулы [13].

Для тренда спада формула имеет вид:

$$\frac{A_1(k-1)M_1}{t_p} - \frac{A_1k(M_1 - M_0)}{t_p} \approx b_0(A_1M_1 - A_1kM_0),$$

где  $A_1$  — объем выпуска «старой» продукции в единицу времени до начала реорганизации производственного процесса;  $t_p$  — время, за которое необходимо произвести реорганизацию производства;  $M_1$  — количество рабочих мест до начала реорганизации производства;  $M_0$  — количество рабочих мест после реорганизации производства;  $b_0 \approx 1/t_p, \text{ день}^{-1}$  — величина, характеризующая интенсивность сокращения рабочих мест, выпускающих «старую» продукцию.

Если в процессе реорганизации производства инвестиции направляются на сокращение мест, выпускающих «старую» продукцию и производство новой продукции, то целесообразно говорить о тренде роста переходного процесса в деятельности фирмы. При такой реорганизации число рабочих мест, выпускающих «старую» продукцию, станет равно  $M_0$ , число рабочих мест, выпускающих «новую» продукцию, достигнет  $M_2$  и их производительность будет равна  $A_2$ . Для выпуска «новой» продукции может быть необходимо задействовать  $M_s$  фирм-субподрядчиков, производительность которых будет равна  $A_s$ .

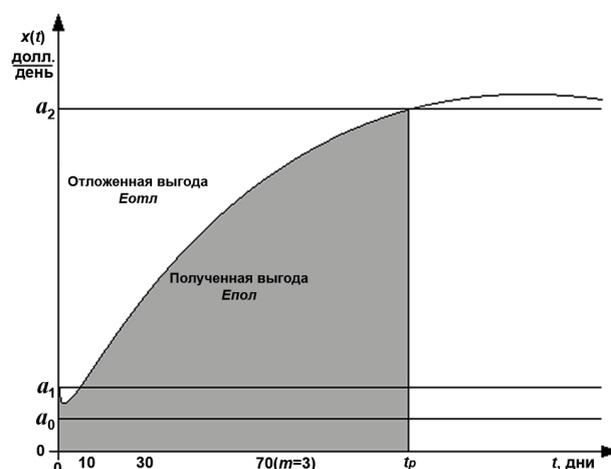


Рис. 3. Изменение объемов производства со временем

Тренд роста можно записать следующим образом:

$$x_2(t) = A(t)M(t) + B(t)N(t) = (a_2 - a_0) \left[ 1 - e^{-b_1 t} \right],$$

где  $A(t)$  — функция (неизвестная) изменения в  $k$  раз производительности одного нового рабочего места;  $M(t)$  — функция (неизвестная) изменения числа рабочих мест, выпускающих «новую» продукцию;  $B(t)$  — производительность фирмы-субподрядчика;  $N(t)$  — производительность фирмы-субподрядчика;  $a_2$  — объем выпуска «новой» продукции в единицу времени после привлечения фирм-субподрядчиков, реорганизации производственного процесса и создания  $M_2$  рабочих мест;  $a_0$  — объем выпуска «старой» продукции в единицу времени после реорганизации производственного процесса и изменения числа рабочих мест с  $M_1$  до  $M_0$ ;  $b_1 \approx \left[ t_p \left( 1 - \frac{A_1 k M_0}{A_2 M_2 + A_s M_s} \right) \right]^{-1}$ , день<sup>-1</sup> — величина, характеризующая интенсивность создания рабочих мест, выпускающих «новую» продукцию. Если были реорганизованы все рабочие места, то  $M_0 = 0$  и  $b_1 \approx 1/t_p$ .

Формулы можно применить для расчета тренда роста и тренда спада в ИТ-сфере.

Рассмотрим деятельность отдела по работе с клиентами консалтинговой фирмы. Для того чтобы охарактеризовать тренд спада, введем предположение, что до запуска процесса реорганизации отдела по работе с клиентами консалтинговой фирмы были следующие показатели:

—  $a_1$  — среднее количество предоставляемой отделом по работе с клиентами услуги по поиску и привлечению клиентов в единицу времени до реорганизации;

—  $a_2$  — среднее количество предоставляемой отделом по работе с клиентами услуги по продаже продукции и консалтинговых услуг клиентам в единицу времени до реорганизации;

—  $a_3$  — среднее количество предоставляемой отделом по работе с клиентами услуги по обработке запросов клиентов в единицу времени до реорганизации;

—  $a_4$  — среднее количество предоставляемой отделом по работе с клиентами услуги по информированию клиентов в единицу времени до реорганизации;

—  $a_5$  — среднее количество предоставляемой отделом по работе с клиентами услуги по организации мероприятий в единицу времени до реорганизации;

—  $M(t) = M_1 = 5$  — количество услуг, оказываемых отделом по работе с клиентами до реорганизации деятельности фирмы.

Следовательно, общее количество всех предоставляемых отделом по работе с клиентами услуг до реорганизации фирмы можно выразить следующим образом:

$$A_1 = \sum_{i=1}^{M_1} a_i,$$

где  $a_i$  — среднее количество предоставляемой отделом по работе с клиентами  $i$ -й услуги в единицу времени до реорганизации;  $i = \overline{1, M_1} = \overline{1, 5}$ .

В процессе реорганизации предполагается за время  $t_p$  уменьшить число предоставляемых от-

делом по работе с клиентами «не прибыльных» услуг с количества  $M_1$  до количества  $M_0$  и увеличение продаж оставшихся услуг в  $k$  раз.

Тогда про тренд спада можно сказать следующее: если не сокращать количество «не прибыльных» услуг и не увеличивать продажу оставшихся, то прибыль величиной  $x(t)$  будет уменьшаться по экспоненциальному закону по формуле  $x_1(t)$ , т. е. инвестиции будут вкладываться не в увеличение производительности отдела по работе с клиентами. Если предположить, что  $a_1$  — сколько раз в среднем предоставляется любая услуга в единицу, то функция тренда спада будет выглядеть следующим образом:

$$x_1(t) = a(t)M(t) = a_1 k M_0 + (a_1 \sum_{i=1}^{M_1} M_i - a_1 k M_0) e^{-b_0 t},$$

где  $a_1 k M_0$  — количество оказываемых услуг после сокращения их числа до уровня  $M_0$ ;  $a_1 \sum_{i=1}^{M_1} M_i$  — количество предоставляемых отделом услуг до реорганизации отдела;  $b_0 \approx 1/t_p$ , день<sup>-1</sup> — величина, характеризующая интенсивность сокращения услуг отдела.

Если в процессе реорганизации отдела по работе с клиентами инвестиции направляются на освоение новых направлений деятельности, то целесообразно говорить о тренде роста переходного процесса в деятельности отдела.

При такой реорганизации число предоставляемых отделом услуг до реорганизации равно  $M_0$ , число «новых» услуг станет равно  $M_2$ , и их производительность будет равна  $A_2$ .

Тренд роста можно записать следующим образом:

$$x_2(t) = a(t)M(t) = A_2 M_2 + (M_0 + A_2 M_2) e^{-b_1 t},$$

где  $M_0 = A_1 \sum_{i=1}^5 M_i$  — число предоставляемых отделом услуг после реорганизации отдела;  $A_2 M_2$  — количество оказываемых «новых» услуг после

реорганизации отдела;  $b_1 \approx \left[ t_p \left( 1 - \frac{A_1 k M_0}{A_2 M_2} \right) \right]^{-1}$ , день<sup>-1</sup> — величина, характеризующая интенсивность освоения новых направлений деятельности. Если «старые» услуги полностью заменили «новыми», то  $M_0 = 0$  и  $b_1 \approx 1/t_p$ .

Тренд временной выгоды хорошо подходит для описания выгоды от вложенных в проект средств и в первом приближении имеет вид:

$$x_3(t) = b_2 \cdot t \cdot e^{-b_1 t},$$

где  $b_2$  — это коэффициент, характеризующий скорость получения финансовых результатов.

В процессе освоения выделенных средств можно получить двойную выгоду за счет разных способов их использования.

В процессе реорганизации высвободившиеся средства можно:

- выдать в кредит на период  $T$  под проценты;
- положить на депозитный счет в банк для получения прибыли;
- пустить на осуществление мелких сделок.

Используя таким образом выделенные средства, инвестор перекладывает часть ответственности за освоение инвестиций на другую организацию, которая обязуется выплатить не только пуценные

Расчет тренда временной выгоды для пассивного использования процентов от выручки

t, дни	Вариант 1		
	Выручка, $S_n$	$\frac{S_n - S_{n-1}}{T}$	Тренд, $x_3(t)$
60	87,7	1,5	0,4
120	152,6	1,1	0,6
180	200,8	0,8	0,6
240	236,4	0,6	0,6
300	262,8	0,4	0,6
360	282,4	0,3	0,5
420	296,9	0,2	0,4
480	307,6	0,2	0,4
540	315,6	0,1	0,3
600	321,5	0,1	0,3

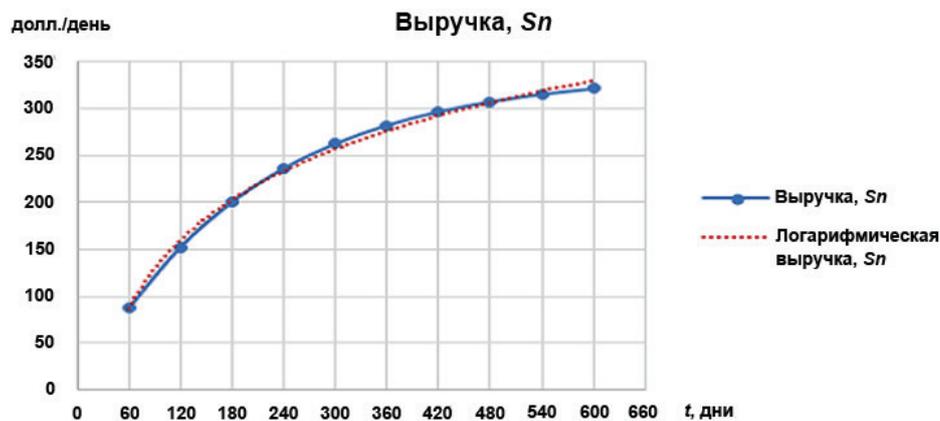


Рис. 4. Распределение выручки для пассивного варианта использования средств

в оборот деньги, но и проценты, т.е. для инвестора прибыль.

На промежутке времени  $(0, \tau)$  инвестор на реорганизацию выделяет сумму  $V_p$ , которая может осваиваться разными темпами:

- выделенная сумма  $V_p$  может сразу, в течение одного дня, быть освоена;
- выделенная сумма  $V_p$  может равномерно осваиваться на всем промежутке времени;
- выделенная сумма  $V_p$  сначала может осваиваться быстро и со временем снижать темпы освоения.

На практике наиболее часто встречается третий вариант освоения выделенных средств  $V_p$ .

Если интенсивность освоения инвестиций равна  $b_1$ , то формула для тренда временной выгоды выглядит следующим образом:

$$v(t) = V_p \cdot b_1 \cdot e^{-b_1 t}.$$

Тогда сумма инвестиций равна

$$V_p = \int_0^{\infty} v(t) dt,$$

и высвободившиеся в процессе реорганизации средства равны

$$s(t) = V_p \cdot e^{-b_1 t}.$$

Для наиболее эффективного управления инвестиционным процессом необходимо правильно определить начальное использование инвестиций, а также использование высвободившихся в процессе освоения денежных средств [14].

Предположим, что высвободившиеся в процессе реорганизации средства выдаются в кредит некой организации под проценты на период  $T$ . Проценты, которые будут получены за день использования кредитных денег, могут быть отнесены к финансовым результатам фирмы и не использоваться в дальнейших кредитах или могут быть использованы повторно для выдачи кредита под проценты. Определим тренд временной выгоды для обоих вариантов использования процентов.

Для выполнения расчетов можно воспользоваться любым прикладным пакетом, поддерживающим математические вычисления. Наиболее доступным и удобным вариантом является решение фирмы

Расчет тренда временной выгоды для активного использования процентов от выручки

t, дни	Вариант 2		
	Выручка, S	$\frac{S_n - S_{n-1}}{T}$	Тренд, $x_3(t)$
60	87,7	1,5	2,6
120	163	1,3	2,2
180	230,4	1,1	1,9
240	293,3	1	1,6
300	354,5	1	1,3
360	416	1	1,2
420	479,7	1,1	1
480	547,2	1,1	0,9
540	620	1,2	0,7
600	699,2	1,3	0,7

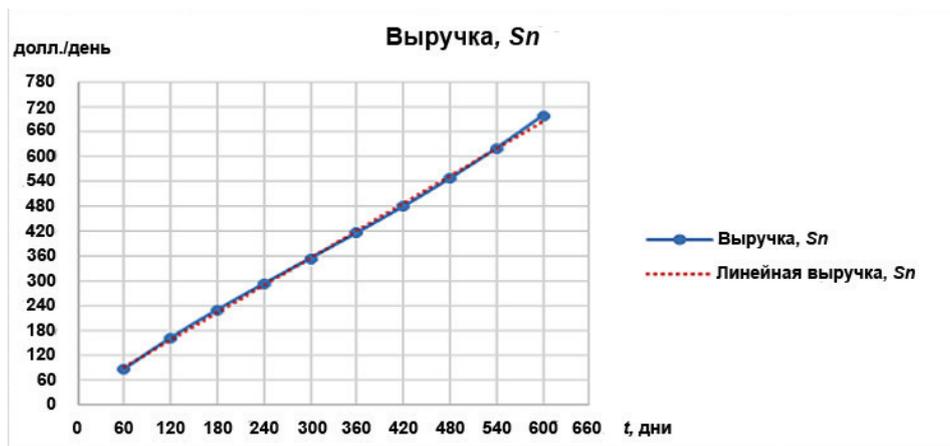


Рис. 5. Распределение выручки для активного варианта использования средств

Microsoft «Microsoft Excel» [15]. Эта программа позволяет работать с табличными данными, анализировать их, производить вычисления, а также представлять результаты анализа в графическом виде.

В табл. 2 представлены вычисления для первого варианта использования высвободившихся в процессе реорганизации средств.

Если по данным из ячеек с периодом и прибылью построить точечный график (рис. 4) и добавить логарифмическую линию тренда, то можно увидеть, что линия хорошо описывает точечное распределение. Другими словами, прибыль, получаемая от выручки за использование высвободившихся средств, будет высокой в первый период использования, потом ее уровень стабилизируется и не будет расти. Поэтому вариант пассивного использования высвободившихся средств, когда процент от выручки относится к финансовым результатам и не участвует в дальнейших финансовых операциях, подходит для непродолжительных по времени проектов.

Для второго варианта использования высвободившихся средств, расчет для которого представлен в табл. 3, ситуация складывается несколько иначе. Если по данным из ячеек с периодом

и прибылью построить точечный график (рис. 5) и добавить прямую линию тренда, то можно увидеть, что линия хорошо описывает точечное распределение.

Другими словами, прибыль, получаемая от выручки за использование высвободившихся средств, будет постоянно расти, т.к. процент от выручки активно используется в дальнейших финансовых операциях фирмы. Поэтому вариант активного использования высвободившихся средств, когда процент от выручки участвует в дальнейших финансовых операциях, подходит для продолжительных проектов.

Таким образом, чтобы получить максимальную прибыль от инвестиций, необходимо применить логистический подход к прогнозированию результата вложений, так как он поможет правильно определить использование денежных средств и в разы увеличить прибыль компании.

#### Библиографический список

1. Никандрова Л. Ю. Инвестиционный процесс в Российской Федерации. URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/>

investitsionnyu-protsess-v-rossiyskoy-federatsii (дата обращения: 15.09.2017).

2. Ельдештейн Ю. М. Логистика. Красноярск: Изд-во Красноярского гос. аграр. ун-та, 2006. 506 с.

3. Тулембаева А. Н. Логистика. 3-е изд., испр. и доп. Алматы: Триумф «Т», 2008. 360 с.

4. Волгин В. В. Склад: логистика, управление, анализ. 10-е изд., перераб. и доп. М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2009. 736 с.

5. Гаджинский А. М. Логистика. 20-е изд. М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2012. 484 с.

6. Дроздов П. А. Основы логистики. Минск, 2008. 211 с.

7. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов (вторая ред., испр. и доп.; утв. Минэкономки РФ, Минфином РФ и Госстроем РФ от 21 июня 1999 г., № ВК 477). URL: <https://invest32.ru/images/support/legislation/VK-477.pdf> (дата обращения: 13.09.2017).

8. Подшиваленко Г. П., Лахмет Н. И., Макарова М. В. [и др.]. Инвестиции. 3-е изд., перераб. и доп. М.: КНОРУС, 2006. 200 с.

9. Правдина Н. В. Логистика. Ульяновск: Изд-во УлГТУ, 2013. 168 с. ISBN 978-5-9795-1305-8.

10. Канке А. А., Кошечая И. П. Логистика. М.: Форум: Инфра-М, 2005. 352 с.

11. Логистика и управление цепями поставок. Теория и практика. Основы логистики / Под ред. Б. А. Аникина, Т. А. Родкиной. М.: Проспект, 2013. 344 с.

12. Алимов В. В. Методы управления инвестиционным процессом в реальном секторе экономики // Вестник РМАТ. 2016. № 1 (4). С. 41–45.

13. Анфилатов В. С., Емельянов А. А., Кукушкин А. А. Системный анализ в управлении / под ред. А. А. Емельянова. М.: Финансы и статистика, 2009. 368 с. ISBN 5-279-02435-X.

14. Алесинская Т. В. Основы логистики. Общие вопросы логистического управления. Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2005. 121 с.

15. Конорева А. В., Гусева Г. С. Использование математических статистических функций Excel в экономике // Вестник Омского государственного университета. Сер. Экономика. 2009. № 3. С. 126–127. URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/ispolzovanie-matematicheskikh-i-statisticheskikh-funktsiy-excel-v-ekonomike> (дата обращения: 15.09.2017).

**ТКАЧЕНКО Анастасия Леонидовна**, магистрант гр. ПИМ-161 факультета «Элитное образование и магистратура» Омского государственного технического университета (ОмГТУ); специалист отдела программных разработок ГК «Сатори Консалтинг», г. Омск.

Адрес переписки: [tanaleo@mail.ru](mailto:tanaleo@mail.ru)

**ШЕВЕЛЕВА Ольга Геннадьевна**, старший преподаватель кафедры «Математические методы и информационные технологии в экономике» ОмГТУ.

Адрес переписки: [osh\\_a@mail.ru](mailto:osh_a@mail.ru)

**БОЯРКИН Геннадий Николаевич**, доктор экономических наук, профессор (Россия), заведующий кафедрой «Математические методы и информационные технологии в экономике» ОмГТУ.

Адрес переписки: [boyargn@yandex.ru](mailto:boyargn@yandex.ru)

Статья поступила в редакцию 02.10.2017 г.

© А. Л. Ткаченко, О. Г. Шевелева, Г. Н. Бояркин

## Книжная полка

**Мясоедова, Т. М. 3D-моделирование в САПР AutoCAD : учеб. пособие / Т. М. Мясоедова. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2017. – 1 о<sup>э</sup>эл. опт. диск (CD-ROM).**

Представлены теоретические основы 3D-моделирования в системе AutoCAD, создания плоских изображений на базе объемных моделей. Рассмотрены вопросы визуализации 3D-моделей. Практическая часть пособия включает лабораторные работы по моделированию в среде AutoCAD. Предназначено для студентов бакалавриата заочной и дистанционной форм обучения, изучающих дисциплину «Инженерная и компьютерная графика», а также для слушателей курсов.

**Стружкин, Н. П. Базы данных. Проектирование. Практикум : учеб. пособие / Н. П. Стружкин, В. В. Годин. – М. : Юрайт, 2017. – 292 с. – ISBN 978-5-534-00739-8.**

В учебном пособии рассматривается практическое применение теоретических основ разработки и реализации баз данных. Данное издание является практикумом к учебнику авторов «Базы данных: проектирование». Книга позволяет приобрести практические навыки создания модели базы данных, готовой к внедрению в информационную систему в качестве физической базы данных. В учебном пособии методические материалы представляются набором тестовых заданий, примером заданий для наработки практических навыков и закрепления теоретических знаний, а также творческих заданий по закреплению сведений об особенностях построения и работы баз данных. Содержание учебного пособия соответствует актуальным требованиям Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования.

Для студентов высших учебных заведений технического и информационного профилей, аспирантов, преподавателей, а также практических работников, ориентированных на создание и внедрение информационных систем, разработчиков баз данных.