



УДК 004.42

**Е.Г. Бутурлакина**  
ВКГТУ, г. Усть-Каменогорск

### ОЦЕНКА ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ РАЗНОГО УРОВНЯ

Существует огромное количество вариантов классификации инвестиционных проектов. Необходимость какой бы то ни было классификации возникает тогда, когда количество проектов настолько велико, что невозможно рассмотреть всю совокупность их характеристик.

Тенденции современного производства таковы, что любую деятельность предприятия принято рассматривать в виде проектов. В последнее время даже предприятия с массовым производством переходят на позаказное производство, управляя выполнением заказа как проектом. Если предприятие «живое», то оно изменяется и, следовательно, ведет инвестиционную деятельность. Лучшей формой ее выполнения признана форма проектов. [1]

Таким образом, каждое более или менее крупное предприятие располагает достаточно большим количеством инвестиционных проектов. Для того чтобы иметь возможность подробно рассмотреть все проекты, необходимо классифицировать их по тому признаку, который представляется наиболее целесообразным в каждом конкретном случае.

Мы не будем рассматривать все возможные способы классификации. Остановимся на одном из них, который позволяет определить порядок финансирования проектов.

На рисунке 1 приведены категории классификации проектов, которые позволяют осуществлять финансирование на разных уровнях.



Рисунок 1 - Категории инвестиционных проектов

Отдельную категорию представляют инновационные проекты. Поскольку в Казахста-

не принятая стратегия индустриально-инновационного развития, финансирование таких проектов осуществляется на государственном уровне с помощью АО «Национальный инновационный фонд».

Понятно, что проекты по поддержке производства должны финансироваться самим предприятием, и единственным критерием отбора в данном случае является потребность в тех или иных вложениях для нормального функционирования предприятия. Однако если предприятие работает в соответствии с получаемыми заказами, может возникнуть ситуация, когда производственных мощностей недостаточно для выполнения всех заказов. В таком случае администрации предприятия необходимо сделать выбор, какие заказы выполнять, а от каких можно отказаться.

Проекты, предполагающие расширение производства и увеличение производительности рассматриваются на одном уровне. Этот уровень должен быть выше уровня предприятия, поскольку такие проекты затрагивают интересы всей отрасли. Наиболее удобно рассматривать подобные проекты на уровне кластера предприятий.

Одним из методов, который позволяет рассмотреть все варианты наборов проектов и отобрать максимально эффективные, является сценарный метод. Использование сценарного метода предполагает перебор всех возможных вариантов. В результате перебора необходимо получить оптимальный вариант по заданному критерию оптимальности и при условии соблюдения существующих ограничений.[2]

В математическом виде эта так называемая «задача о ранце» может быть записана следующим образом:

$$Q_1x_1 + Q_2x_2 + \dots + Q_nx_n \rightarrow \max, \quad (1)$$

где  $Q_i$  - эффект от реализации  $i$ -го проекта,

$x_i = 1$ , если  $i$ -й проект реализуется, в противном случае  $x_i = 0$

Ограничение данной модели:

$$S_1x_1 + S_2x_2 + \dots + S_nx_n \leq R, \quad (2)$$

где  $S_i$  – затраты на реализацию  $i$ -го проекта,

$R$  - объем финансирования.

Для решения этой задачи при различных значениях  $R$  эффективным является метод динамического программирования. Для применения метода предварительно строим на плоскости систему координат, одна ось которой соответствует мероприятиям, а вторая - объему финансирования. По оси мероприятий отмечаем номера мероприятий - 1, 2 ... n. Из начала координат проводим две дуги: одна горизонтальная, в точку (1,0), а другая - в точку (1,  $S_1$ ), где  $S_1$  - объем финансирования первого мероприятия. Первая дуга соответствует случаю, когда первое мероприятие не финансируется, а вторая - когда оно финансируется. Из каждой полученной точки ((1,0) и (1,  $S_1$ )) проводим также по две дуги, для второго мероприятия. Получаем уже четыре точки - (2,0), (2,  $S_1$ ), (2,  $S_2$ ) и (2,  $S_1 + S_2$ ), соответствующие четырем возможным вариантам для двух первых мероприятий (если бы оба мероприятия требовали одинакового финансирования, то мы получили бы три точки).

Продолжая таким же образом, получаем сеть, приведенную на рис. 2.

Очевидно, что любой путь в сети из начальной вершины (0,0) в конечные вершины соответствует некоторому набору мероприятий. И наоборот, любому набору мероприятий соответствует вполне определенный путь в сети, соединяющий начальную вершину с конечной. Значение координаты по второй оси равно объему финансирования соответствующего набора мероприятий (или пакета проектов, или портфеля проектов – названия бывают различные). Примем длины горизонтальных дуг равными 0, а длины наклонных -

эффектам от соответствующих мероприятий. В этом случае длина пути, соединяющего начальную вершину с одной из конечных, будет равна суммарному эффекту от соответствующего этому пути множества мероприятий. Следовательно, путь максимальной длины, соединяющий начало координат и точку  $(n, S_1+S_2+\dots+S_n)$ , будет соответствовать множеству мероприятий, дающему максимальный эффект среди всех множеств мероприятий, требующих совокупного финансирования ровно  $S_1+S_2+\dots+S_n$  единиц. Таким образом, мы получаем оптимальные наборы мероприятий при любых объемах финансирования.

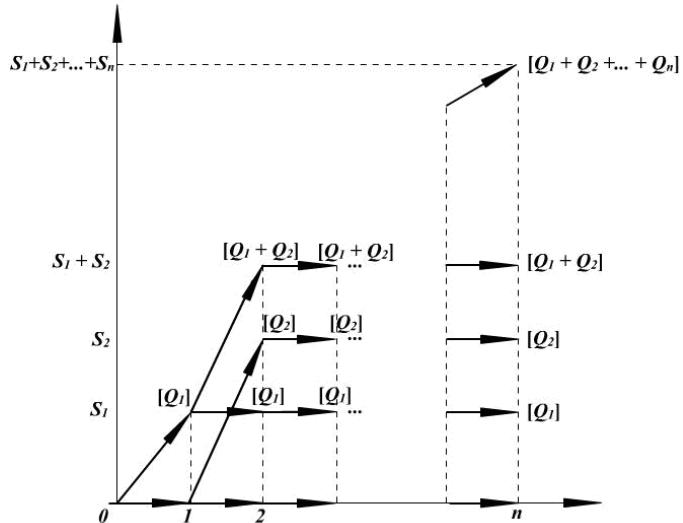


Рисунок 2 - Варианты реализации проектов

Анализируя полученные решения (рис. 2), можно заметить любопытный парадокс, когда при увеличении объема финансирования суммарный эффект от реализации уменьшается. Этот парадокс возникает из-за дискретности задачи. Понятно, что варианты, нарушающие монотонность (парадоксальные варианты) не должны рассматриваться [3].

Еще одним важным критерием может быть риск реализации проектов, под которым понимается вероятность того, что какой-либо проект не будет реализован по тем или иным причинам. Эта вероятность определяется экспертным путем.

Риск  $R$  программы, включающей множество  $Q$  мероприятий, можно оценить по следующей формуле:

$$R(Q) = 1 - \prod_{i \in Q} p_i, \quad (3)$$

где  $p_i$  - вероятность успешной реализации  $i$ -го мероприятия программы.

Величину  $H(Q) = 1 - R(Q)$ , характеризующую вероятность успешной реализации всех мероприятий программы, назовем надежностью программы. Рассмотрим задачу выбора множества мероприятий, которые обеспечивают максимальный эффект при ограниченных ресурсах и риске не более заданной величины. Для решения этой задачи удобными являются так называемые РЭСТ-диаграммы (Риск, Эффективность, Стоимость) [3]. Для построения РЭСТ-диаграммы введем другую шкалу измерения риска, которую назовем логарифмической шкалой (кратко - L-шкалой) риска. L-шкала связана с исходной шкалой  $R(Q)$  соотношением

$$L(Q) = \ln(1-R(Q))^{-1}. \quad (4)$$

Нетрудно видеть, что L-шкала является монотонным нелинейным преобразованием R-школы. Действительно, L является монотонно возрастающей функцией R, причем при  $R = 0$  (нулевой риск) L также равен 0, а при  $R = 1$  (стопроцентный риск)  $L = \infty$ , что соответствует абсолютному или бесконечному риску. Основное достоинство L-школы состоит в том, что L-риск программы, состоящей из множества Q мероприятий, равен сумме L-рисков этих мероприятий, то есть

$$L(Q) = \sum_{i \in Q} l_i, \quad (5)$$

где  $l_i = -\ln(1-q_i)$ ,  $i \in Q$ .

Для построения РЭСТ-диаграммы на плоскости строим систему координат, ось абсцисс которой соответствует L-риску, а ось ординат - затратам. Рассматривается множество всех мероприятий в очередности их номеров (рис. 3).

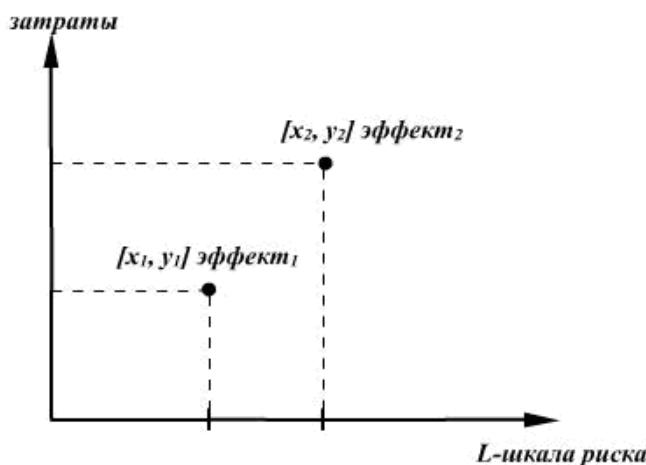


Рисунок 3 - РЭСТ-диаграмма

Наборы проектов обозначаются точками. Они строятся на пересечении значений суммарных затрат по реализации данного набора проектов и суммарного риска всех проектов в составе набора. В скобках указываются координаты точки, из которой данная точка была получена, то есть координаты проекта или набора проектов, который уже был реализован в составе рассматриваемого набора. Также для каждой точки указывается величина эффекта соответствующего ей набора проектов.

Из полученной РЭСТ-диаграммы также исключаются доминируемые точки, то есть проекты, которые дают меньший эффект при больших затратах и риске.

Определение: Точка  $[L_1, S_1]$  доминирует точку  $[L_2, S_2]$ , если:

1) число мероприятий, рассмотренных при построении первой точки, меньше или равно числу мероприятий, рассмотренному при построении второй точки;

2) имеют место условия

$$L_1 \leq L_2; S_1 \leq S_2; A_1 \geq A_2, \quad (6)$$

где L – величина L-риска, S - величина затрат, A - величина эффекта.

Рассмотрим процесс отбора проектов строительства малых электростанций. Данные проекты относятся к проектам роста производства, а, следовательно, рассматриваются на

уровне энергетического кластера. Характеристики проектов представлены в таблице.

*Характеристики инвестиционных проектов (в тыс. долл. США)*

Идентификатор проекта	Название	Затраты	NPV	Риск
ГЭС1	Бартогайская ГЭС	20 000	64 795,95	0,02
ГЭС2	Бодаревская ГЭС	80 000	109 446,71	0,01
ГЭС3	Кербулакская ГЭС (мощность 277000 тыс. кВатт·час)	100 000	76 054,28	0,01
ГЭС4	Кербулакская ГЭС (мощность 3346000 тыс. кВатт·час)	100 000	2 544 308,98	0,01
ГЭС5	ГЭС Кызылкунгей	181 950	118 487,69	0,01
ГЭС6	Майнакская ГЭС	120 000	586 540,67	0,01
ГЭС7	ГЭС Токтышак	37	395 263,92	0,01
ВЭС	Ветроэлектростанция	303 450	1 069 167,59	0,01

Все предложенные проекты заносятся в базу данных (рис.4). Формируется пакет проектов, которому присваивается уникальное имя. В дальнейшем список проектов в пакете может изменяться и дополняться. Проекты ГЭС были занесены в пакет «Электростанции ВКО».

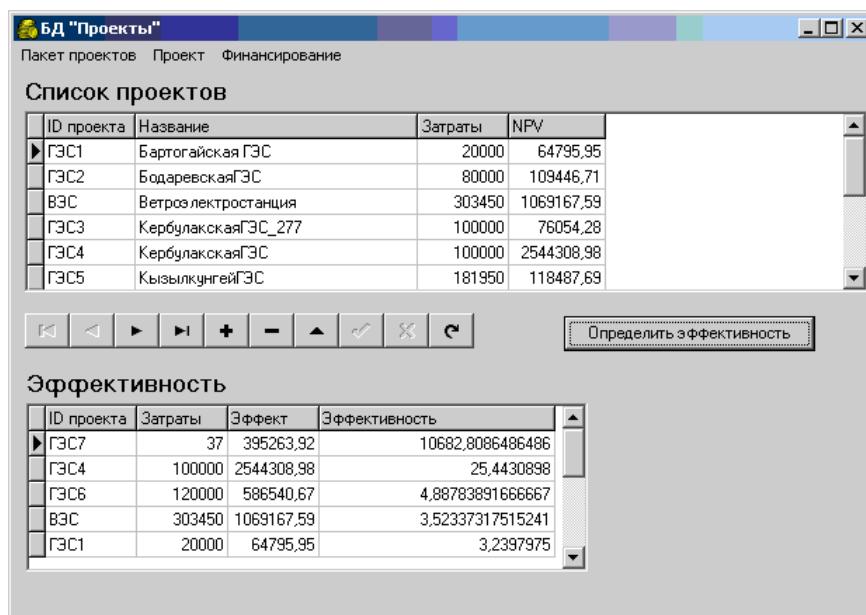


Рисунок 4 – База данных по проектам

В таблице «Эффективность» определена эффективность каждого проекта (отношение ожидаемого эффекта к планируемым затратам). И проекты проранжированы в соответствии с их эффективностью.

Выбрав из пункта меню «Финансирование» пункт «По критерию эффективности», от-

кроем экранную форму, показанную на рис. 5. В таблице «Проекты к реализации» отображены все возможные наборы проектов с указанием соответствующих затрат и ожидаемого эффекта от реализации каждого набора. «Парадоксальные» варианты наборов не отображаются, поэтому из 255 вариантов показаны только 28.

Финансирование по критерию эффективности									
Проекты к реализации									
Затраты	Эффект	Проект 1	Проект 2	Проект 3	Проект 4	Проект 5	Проект 6	Проект 7	Проект 8
905437,00	4964065,79	ГЭС7	ГЭС4	ГЭС6	ВЭС	ГЭС1	ГЭС2	ГЭС3	ГЭС5
885437,00	4899269,84	ГЭС7	ГЭС4	ГЭС6	ВЭС	ГЭС2	ГЭС3	ГЭС5	
805437,00	4888011,51	ГЭС7	ГЭС4	ГЭС6	ВЭС	ГЭС1	ГЭС2	ГЭС5	
723487,00	4845578,10	ГЭС7	ГЭС4	ГЭС6	ВЭС	ГЭС1	ГЭС2	ГЭС3	
703487,00	4780782,15	ГЭС7	ГЭС4	ГЭС6	ВЭС	ГЭС2	ГЭС3		
623487,00	4769523,88	ГЭС7	ГЭС4	ГЭС6	ВЭС	ГЭС1	ГЭС2		
603487,00	4704727,87	ГЭС7	ГЭС4	ГЭС6	ВЭС	ГЭС2			
543487,00	4660077,11	ГЭС7	ГЭС4	ГЭС6	ВЭС	ГЭС1			
523487,00	4595281,16	ГЭС7	ГЭС4	ГЭС6	ВЭС				
523450,00	4200017,24	ГЭС4	ГЭС6	ВЭС					
503487,00	4182983,15	ГЭС7	ГЭС4	ВЭС	ГЭС1	ГЭС2			
483487,00	4118187,20	ГЭС7	ГЭС4	ВЭС	ГЭС2				
423487,00	4073536,44	ГЭС7	ГЭС4	ВЭС	ГЭС1				
403487,00	4008740,49	ГЭС7	ГЭС4	ВЭС					
400037,00	3711614,56	ГЭС7	ГЭС4	ГЭС6	ГЭС2	ГЭС3			
320037,00	3700356,23	ГЭС7	ГЭС4	ГЭС6	ГЭС1	ГЭС2			
300037,00	3635560,28	ГЭС7	ГЭС4	ГЭС6	ГЭС2				
240037,00	3590909,52	ГЭС7	ГЭС4	ГЭС6	ГЭС1				
220037,00	3526113,57	ГЭС7	ГЭС4	ГЭС6					
200000,00	3526113,57	ГЭС7	ГЭС4	ГЭС6					

Рисунок 5 – Варианты проектов для реализации

Пункт меню «Финансирование» - «По критерию риска» позволяет оценить эффективность проектов, учитывая риск реализации, под которым понимается вероятность того, что какой-либо проект не будет реализован по тем или иным причинам. Экранная форма, показанная на рис. 6, содержит результат анализа. В таблице «Проекты к реализации» отображены все возможные наборы проектов с указанием соответствующих затрат и ожидаемого эффекта от реализации каждого набора. «Доминируемые» варианты наборов не отображаются, поэтому из 255 вариантов показаны только 32.

Финансирование по критерию риска									
Проекты к реализации									
Затраты	Эффект	Риск	Проект 1	Проект 2	Проект 3	Проект 4	Проект 5	Проект 6	Проект 7
905437,00	4964065,79	0,09	ГЭС2	ВЭС	ГЭС3	ГЭС4	ГЭС5	ГЭС6	ГЭС7
885437,00	4899269,84	0,07	ГЭС2	ВЭС	ГЭС3	ГЭС4	ГЭС5	ГЭС6	ГЭС7
723487,00	4845578,10	0,08	ГЭС2	ВЭС	ГЭС3	ГЭС4	ГЭС6	ГЭС7	ГЭС1
703487,00	4780782,15	0,06	ГЭС2	ВЭС	ГЭС3	ГЭС4	ГЭС6	ГЭС7	
805437,00	4888011,51	0,08	ГЭС2	ВЭС	ГЭС4	ГЭС5	ГЭС6	ГЭС7	ГЭС1
785437,00	4823215,56	0,06	ГЭС2	ВЭС	ГЭС3	ГЭС4	ГЭС5	ГЭС6	ГЭС7
623487,00	4769523,82	0,07	ГЭС2	ВЭС	ГЭС4	ГЭС6	ГЭС7	ГЭС1	
603487,00	4704727,87	0,05	ГЭС2	ВЭС	ГЭС4	ГЭС6	ГЭС7		
503487,00	4182983,15	0,06	ГЭС2	ВЭС	ГЭС4	ГЭС7	ГЭС1		
483487,00	4118187,20	0,04	ГЭС2	ВЭС	ГЭС4	ГЭС7			
400037,00	3711614,56	0,05	ГЭС2	ГЭС3	ГЭС4	ГЭС6	ГЭС7		
320037,00	3700356,23	0,06	ГЭС2	ГЭС4	ГЭС6	ГЭС7	ГЭС1		
300037,00	3635560,28	0,04	ГЭС2	ГЭС4	ГЭС6	ГЭС7			
200037,00	3113815,56	0,05	ГЭС2	ГЭС4	ГЭС7	ГЭС1			
180037,00	3049019,61	0,03	ГЭС2	ГЭС4	ГЭС7				
80037,00	504710,63	0,02	ГЭС2	ГЭС7					
705437,00	4713768,85	0,05	ВЭС	ГЭС4	ГЭС5	ГЭС6	ГЭС7		
543487,00	4660077,11	0,06	ВЭС	ГЭС4	ГЭС6	ГЭС7	ГЭС1		
523487,00	4595281,16	0,04	ВЭС	ГЭС4	ГЭС6	ГЭС7			

Рисунок 6 – Варианты проектов для реализации

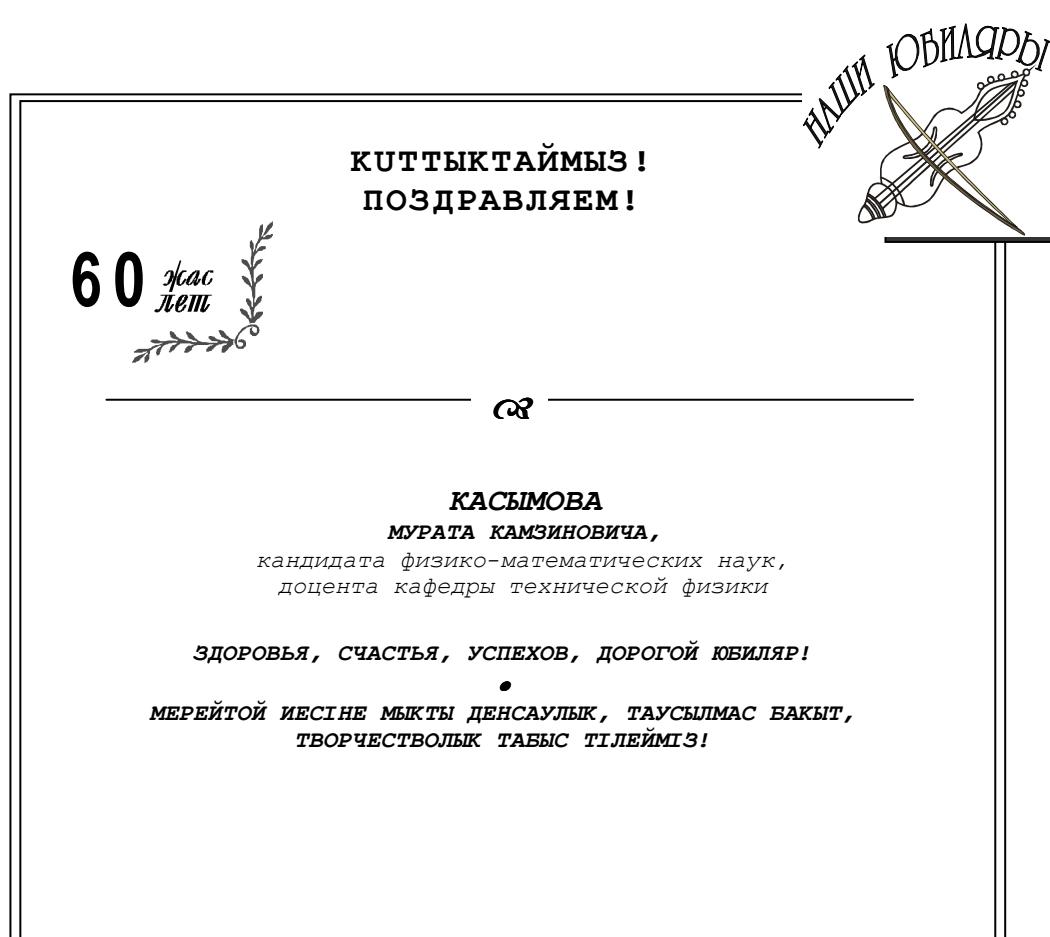
Анализируя полученные обоими способами наборы проектов, можно отобрать такие эффективные решения, которые могут быть реализованы с использованием только собственных средств инвестора. Для других наборов, имея зависимость «затраты - эффект», можно решать и задачи привлечения дополнительных финансовых ресурсов, в частности получения кредита.

Таким образом, данное программное приложение позволяет визуализировать процесс принятия решения о том, какие инвестиционные проекты должны быть приятны к реализации. Приложение может быть использовано для оценки инвестиционных проектов в любой области, поскольку характеристики экономической эффективности и риска являются основными для всех проектов, целью которых является получение прибыли. Классификация проектов, приведенная выше, также может применяться в любом кластере предприятий.

Список литературы

1. Мазур И.И. Управление проектами / И.И. Мазур, В.Д. Шапиро и др: Справочное руководство. - М.: Высшая школа, 2001.
2. Троеглазова Е.Г. Оценка инвестиционных проектов энергетического кластера / Е.Г. Троеглазова, И.А. Квасов // Компьютерные технологии в технике и экономике: Сб. докл. Междунар. науч. конф. - Воронеж: Междунар. ин-т комп'ют. технологий, 2007.
3. Бурков В.Н. Экономико-математические модели управления развитием отраслевого производства / В.Н. Бурков, Г.С. Джавахадзе. - М.: ИПУ РАН, 1997.

Получено 28.04.09





УДК 681.3.06

**Ю.А. Вайс**  
ВКГТУ, г. Усть-Каменогорск

#### СИСТЕМА СТИМУЛИРОВАНИЯ ПЕРСОНАЛА

В основу идеи разрабатываемой методики положено поведение медицинского работника как индивида в рыночных конкурентных условиях, в которых индивид выбирает рациональные цели в соответствии только с его естественными и разумными социальными потребностями, пытается рассчитать путь к удовлетворению своих потребностей и идет этим путем. Данный индивид в работах Н.М. Оскорбина и ряда других авторов [1,2,3] называется «экономическим человеком» (ЭЧ). Экономический человек (разумный экономический человек) (*economic man* (*rational economic man*)) – индивид, использующий свой труд или свои ресурсы в условиях рынка в собственных интересах, который выбирает экономически наиболее оптимальную цель и идет к ней максимально экономически эффективным путем. Это идеальная модель поведения, которая в той или иной мере реализуется в поведении реальных людей. Однако идеальные модели пригодны для исследования общих свойств системы и малоэффективны для количественных оценок в реальных ситуациях. С целью повышения прикладных качеств концепции ЭЧ можно ее дополнить методологией «эконометрического человека», которая опирается на эконометрические методы и занимает в настоящее время господствующее положение во многих подобных исследованиях. Регрессионное уравнение действительно может применяться для проверки разных по содержанию гипотез. В данном случае можно построить для одного и того же периода модель стимулирования трудового вклада отдельных социальных групп, образованных по структурно-административным принципам, например по отделениям больницы и другим структурным подразделениям.

Задача любой социально-экономической структуры состоит в том, чтобы максимально эффективно использовать интересы ЭЧ в своих целях, и зачастую они противоположны целям отдельного ЭЧ. Максимально эффективное использование ресурсов человека возможно тогда, когда известно, какой потенциал кроется в специалистах, что из этого потенциала можно использовать для интересов организации, какие характеристики данного ресурса подлежат коррекции и развитию.

На эти и многие другие вопросы можно ответить, проведя кадровый аудит человеческих ресурсов организации и работая в дальнейшем с результатами данного аудита. Только в этом случае начинается грамотный кадровый менеджмент. Многие методики по кадровому менеджменту трактуют понятие кадрового аудита как оценку соответствия кадрового потенциала организации ее целям и стратегии развития.

В таком случае, чем же кадровый аудит отличается от процедуры аттестации?

Аттестация - кадровые мероприятия, призванные оценить уровень труда, качества лич-

ности требованиям выполняемой деятельности.

Во-первых, начиная процесс аттестации, мы преследуем цель найти несоответствие должностной инструкции, т. е. аттестация - способ признать работника профессионально непригодным, и таким образом иметь законный повод для его увольнения.

Во-вторых, аттестация - процедура неприятная, в силу того, что полностью «совпадающих» с должностной инструкцией работников практически не существует, а есть максимально приближенные, что никак не сказывается положительно на самооценке персонала.

В-третьих, производится оценка тех параметров, которые обозначены должностной инструкцией.

Вместе с тем, аттестация очень важна, она помогает понять насколько далека квалификация наших работников от стандарта высшей школы. По результатам аттестации руководство получает пакет реальных причин «неуспешности» на том или ином направлении работы. Но планировать развитие организации на выявлении соответствия специалистов своим должностям (аттестация), подменяя это понятием «кадровый потенциал», абсолютно невозможно.

Кадровый менеджмент, являясь одним из основных процессов системы менеджмента качества, и должен представлять интегрированную систему, состоящую: из совокупности критериев (показателей) профессиональной и общественной деятельности работников; нормативной базы количественной оценки качества работы по отдельным профессиональным группам и видам деятельности сотрудников; прозрачной методики стимулирования и мотивации сотрудников; информационно-аналитической подсистемы мониторинга и прогнозирования качества кадров. В такой постановке методика будет работать на стратегию развития организации.

ЭЧ рассматривает свою способность выполнять работу как личный человеческий ресурс (ЧР). Работодатель контрактными условиями договаривается с ЭЧ об объеме покупаемого ЧР и оплате приобретаемого ресурса. При этом возможны следующие варианты, которые иллюстрируются рис. 1, где кривая 1 является идеальным вариантом стимулирования труда. Под идеальной системой стимулирования, например оплаты труда, понимается максимально-возможная компенсация трудовых затрат работнику из прибыли после всех обязательных отчислений. В идеальной системе не может быть даже минимальных ущемлений интересов работника.

Второй вариант (кривая 2) демонстрирует явное ущемление экономических интересов работника, что приведет к большой текучести кадров.

Кривая 3 – третий вариант гипотетической кривой стимулирования труда, в котором работодатель чрезмерно завысил оплату труда, что в конечном итоге приведет к его банкротству, если не будет эта система пересмотрена.

Функции  $f_1(C)$ ,  $f_2(C)$  и  $f_3(C)$  - это функции отношения работника к его функциональным обязанностям и степень выполнения планируемых заданий, т.е. функции экономических отношений между работником и работодателем. Как отмечено во многих исследованиях и подтверждено практикой, указанные функции имеют нелинейный характер с явной тенденцией к снижению интенсивности и качества труда с течением времени, независимо от условий контракта. Если в случае 2 эту тенденцию можно объяснить несправедливыми условиями контракта, то в остальных случаях доминирует психология человека. Человек быстро привыкает к условиям труда и постепенно теряет интерес к работе. Поэтому в Японии действует система принудительной смены места и условий работы как

по горизонтали, так и по вертикали.

Функция  $f_4(C)$  является плотностью распределения оплаты труда управленческого персонала в реальных условиях.

Функция  $f_5(C)$  является плотностью распределения оплаты труда управленческого персонала в «оптимальном» случае. Под оптимальностью понимается справедливое распределение фонда стимулирования между работодателем и работником.

Величины  $C_h$  и  $C_v$  являются нижним и верхним нормативными значениями зоны оптимальной оплаты труда.

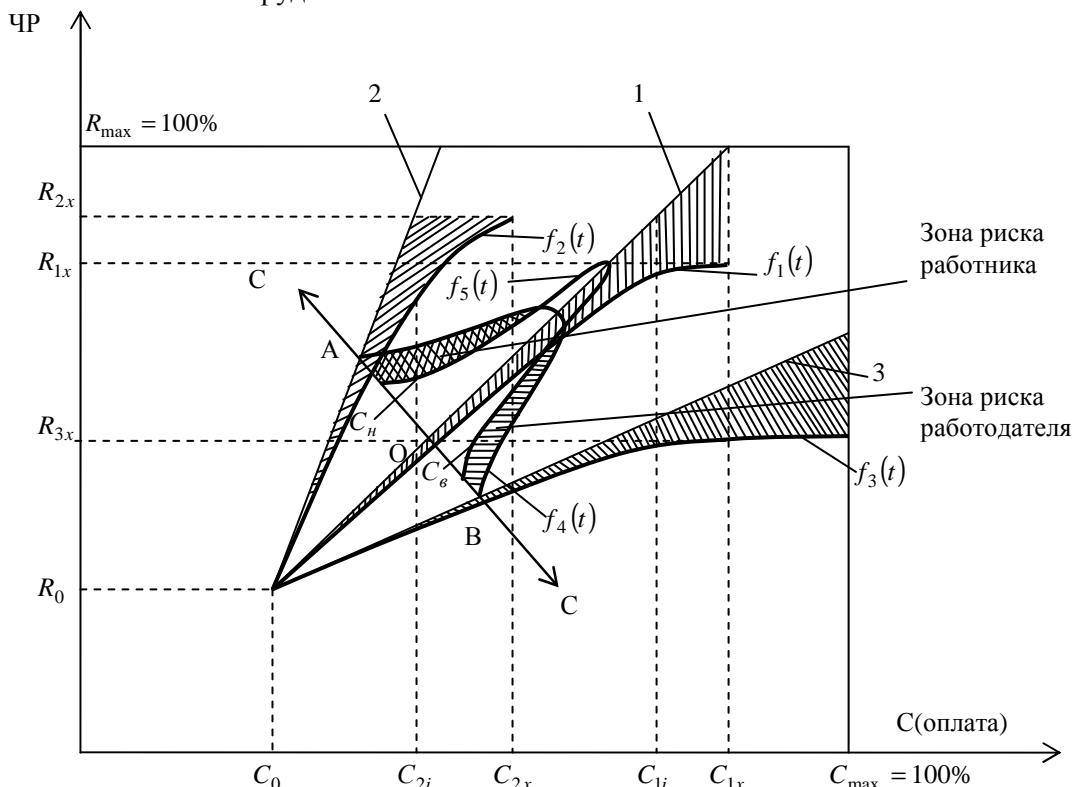


Рисунок 1 – Графическая интерпретация поведения «экономического человека»

Заштрихованная площадь между  $C_h$  и А является вероятным значением риска работодателя, а заштрихованная площадь между  $C_v$  и В является вероятным значением риска работника.

Плотность распределения  $f_5(C)$  на практике может быть найдена как распределение средних выборок некоторого объема при статистических исследованиях в реальной обстановке. Интервалы  $C_h$  –  $C_v$  являются двухсигмовыми отклонениями распределения  $f_5(C)$  от его среднего, соответствующего точке О, лежащей на «идеальной» прямой 1.

Количественные оценки указанных рисков могут быть найдены из выражений

$$Pp = \int_{C_h}^A f_4(C) dC, \quad Ppd = \int_{C_v}^B f_4(C) dC,$$

где Рр – риск работника;

Рд – риск работодателя.

Представленная картина дает статический «срез» рисков в определенный момент времени.

Для вычисления указанных рисков необходимо, используя регрессионный анализ и экспериментально-статистические наблюдения, построить модели  $f_1(C)$ ,  $f_2(C)$ ,  $f_3(C)$ ,  $f_4(C)$  и  $f_5(C)$ . Идеальная функция – прямая 1 строится по некоторым нормативным данным либо по отраслевой статистике.

Кривые  $f_1(C)$  и  $f_2(C)$  и  $f_3(C)$  в общем виде можно аппроксимировать полиномом некоторой степени:

$$f_1(C) = a_0 + a_1 C + a_2 C^2 + \dots + a_n C^n$$

Данные коэффициенты могут быть получены из статистических наблюдений в конкретных условиях, что можно реализовать при помощи программного продукта STATISTICA.

#### Список литературы

1. Камероу Дж. Ваш психологический тип и стиль работы / Дж. Камероу, Н. Баргер, Л. Кирби /Пер. с англ. А. Багрянцевой. – М.: Изд-во Института Психотерапии, 2001. – 224 с.
2. Князевская Н.В. Принятие рисковых решений в экономике и бизнесе / Н.В. Князевская, В.С. Князевский. – М.: Контур, 1998. – 160 с.
3. Грачева М.В. Анализ проектных рисков. – М.: Финстатинформ, 1999. – 216 с.

Получено 12.05.09

---

УДК 330

**Г.М. Мутанов, С.А. Нурбаева, И.Ю. Быкова**  
ВКГТУ, г. Усть-Каменогорск

#### ГРАФОВАЯ МОДЕЛЬ КОМПОЗИТНОГО ДОКУМЕНТООБОРОТА

В современном обществе идет процесс интенсификации вычислительных и информационных технологий во всех отраслях деятельности. Внедрение электронного документооборота является актуальной задачей современного общества. Внедрение систем электронного документооборота (СЭД) позволяет сделать процесс движения документов управляемым и контролируемым, что обеспечивает более качественные услуги управления.

При решении задач электронного документооборота большое значение имеет использование формальных моделей в проектировании, разработке и внедрении СЭД. Применение формальных моделей позволяет специалистам оперировать измеримыми объектами, к которым может быть применен апробированный математический аппарат.

Теория графов позволяет отразить связность формальной модели, наглядным образом представить установленные связи между участниками документооборота. Аппарат графов дает возможность описывать взаимодействия участников и документов с помощью матрицы инцидентности.

При применении теории графов и теории автоматов к формальной модели документооборота, появляется возможность представить документооборот в виде автоматов, свя-

занных графами. Каждый автомат представляет собой поведенческую единицу системы документооборота, которая обладает своим поведением. Результаты работы автоматов поступают на вход другим поведенческим элементам системы документооборота, которые также реализованы автоматами. Связность и направленность передачи выходных результатов в качестве входных алфавитов определяется графиком документооборота.

Для моделирования документооборота будем использовать формальную модель композитного документооборота. В этой модели процесс документооборота может быть представлен в виде трех конечных множеств и связей элементов этих множеств между собой. Математическая нотация представлена в виде тройки

$$\mathcal{D} = \{\{Y\}, \{\mathcal{D}\}, \{\Phi\}\},$$

где  $\mathcal{D}$  – формальная модель документооборота;

$\{Y\}$  – множество участников;

$\{\mathcal{D}\}$  – множество действий;

$\{\Phi\}$  – множество состояний документов.

Нотация означает следующее: «Документооборот – это множество действий, производимых множеством участников над множеством состояний документов». Множество  $\{Y\}$  определяется как конечное множество ролей, которые могут быть назначены фактическим участникам документооборота. Множество  $\{\mathcal{D}\}$  определяется как конечное множество действий, выполнение которых допустимо в пределах рассматриваемой системы документооборота. Множество форм  $\{\Phi\}$  – конечное множество состояний, которые могут принимать документы после произведения над ними действий из множества  $\{\mathcal{D}\}$  участником из множества  $\{Y\}$ .

Представим процесс документооборота в виде графовой модели.

Таким образом, формально процесс документооборота может быть представлен в виде трех конечных множеств и связей элементов этих множеств между собой. Математическая нотация этого процесса может быть представлена в виде тройки:

- $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$  – множество участников документооборота,

где  $y_1$  – инвестиционные компании «Гленкор интэрнешнл»;

$y_2 \dots y_{n1}$  – подразделение предприятия АО «Казцинк»;

$y_{n1+1} \dots y_{n2}$  – поставщики оборудования и материалов;

$y_{n2+1} \dots y_{n3}$  – обслуживающие производственные процессы организации;

$y_{n3+1} \dots y_{n4}$  – государственные и муниципальные учреждения;

$y_{n4+1} \dots y_{n5}$  – потребители концентраты;

$y_{n5+1} \dots y_n$  – внутренние подразделения предприятия;

- $\Phi$  – множество состояний документов  $\Phi = \{\phi_1, \dots, \phi_2\}$ ,

где  $\phi_1, \dots, \phi_{\alpha 1}$  – подготовительные стадии проекта документов;

$\phi_{\alpha 1+1}, \dots, \phi_{\alpha 2}$  – стадии утверждения документов;

$\phi_{\alpha 2+1}, \dots, \phi_{\alpha 3}$  – стадии исполнения документов;

$\phi_{\alpha 4+1}, \dots, \phi_{\alpha n}$  - стадия контроля и отчетности об исполнении.

- $\mathcal{D} = \{d_1, \dots, d_\delta\}$  - множество действий и документации:

где  $d_1, \dots, d_{\delta 1}$  - подготовка проекта документов;

$d_{\delta 1+1}, \dots, d_{\delta 2}$  - визирование документов;

$d_{\delta 2+1}, \dots, d_{\delta 3}$  - подписание документов;

$d_{\delta 3+1}, \dots, d_{\delta 4}$  - регистрация документов;

$d_{\delta 4+1}, \dots, d_{\delta 5}$  - исполнение документов;

$d_{\delta 5+1}, \dots, d_\delta$  - сдача документов в архив.

Множество  $Y$  определяется как конечное множество ролей, которые могут быть назначены фактическим участникам документооборота.  $\mathcal{D}$  определяется как конечное множество действий, выполнение которых допустимо в пределах рассматриваемой системы документооборота.  $\Phi$  – конечное множество состояний, которые могут принимать документы после произведения действий из множества  $\mathcal{D}$  участником из множества  $Y$ .

Для задания множества вершин графа будем использовать множество возможных состояний документов  $\Phi$ . Ребра графа зададим с помощью множества действий  $\mathcal{D}$ . Установим это соответствие таким образом, чтобы выполнялись следующие правила:

- одной вершине графа соответствует один и только один элемент множества  $\Phi$ ;
- одному ребру графа соответствует один и только один элемент множества  $\mathcal{D}$ ;
- одному элементу множества  $\Phi$  соответствует одна и только одна вершина графа;
- одному элементу множества  $\mathcal{D}$  соответствует одно и только одно ребро графа.

Такое тождественное отображение множеств состояний  $\Phi$  в множество вершин  $v$  и множества состояний  $\mathcal{D}$  в множество ребер можно математически определить следующим образом: для любого  $i$  справедливо утверждение  $v(i) = \Phi(i)$  и  $e(i) = \mathcal{D}(i)$ , где  $i \in I, I = 1, 2, 3, \dots, n$ . То есть определяются две парных грамматики: первая грамматика – для установления перевода  $\Phi$  в  $v$ , вторая грамматика – для установления перевода  $\mathcal{D}$  в  $e$ .

Таким образом, связи между вершинами тождественно соответствуют связям состояний моделируемого документооборота. В графе документооборота вершины графа соединяют ребра в том и только в том случае, если соответствующие вершинам состояния связаны действием, соответствующим ребру, то есть

$$e = \begin{cases} e(i), & \text{если\_ребро\_существует} \\ 0, & \text{если\_ребро\_отсутствует} \end{cases}.$$

Направленность ребер устанавливается таким образом, чтобы отображать логику последовательности смены состояний документооборота. Вершина  $i$  является входящей вершиной для вершины  $j$  через ребро  $k$  в том и только в том случае, если состояние  $i$  сменяется на состояние  $j$  после совершения действия  $k$ . Таким образом, состояниям  $y_1, y_2, \dots, y_n$  сопоставляются вершины графа  $v_1, v_2, \dots, v_n$ , и каждая пара вершин  $v_i$  и  $v_j$  соединена дугой  $e_{ij}$ , идущей от  $v_i$  к  $v_j$  в том и только в том случае, когда состояние  $v_i$  яв-

ляется входным состоянием для  $v_j$ .

Взаимосвязь между вершинами графа  $v_i$  может быть описана в виде матрицы смежности. Опишем состояние процесса документооборота Зыряновского горнорудного обогатительного комплекса АО «Казцинк» в виде матриц смежности с вершинами (отделами и подразделениями предприятия), участвующими в процессе документооборота.

Матрица смежности для общего документооборота по комплексу будет иметь вид:

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 \\ 1 & 0 \end{pmatrix},$$

где  $a_{1j}$  ( $j = \overline{1,23}$ ) – исходящий поток документов из управления ЗГОК.

$a_{2j}$  ( $j = \overline{1,23}$ ) – исходящий поток документов из канцелярии Малевского рудника.

$a_{3j}$  ( $j = \overline{1,23}$ ) – исходящий поток документов из канцелярии Греховского рудника.

$a_{4j}$  ( $j = \overline{1,23}$ ) – исходящий поток документов из канцелярии обогатительной фабрики.

$a_{5j}$  ( $j = \overline{1,23}$ ) – исходящий поток документов из общего отдела ТОО «КазцинкТранс».

$a_{6j}$  ( $j = \overline{1,23}$ ) – исходящий поток документов из общего отдела ТОО «Казцинк ШСУ».

$a_{7j}$  ( $j = \overline{1,23}$ ) – исходящий поток документов из общего отдела ВГСО.

$a_{8j}$  ( $j = \overline{1,23}$ ) – исходящий поток документов из общего отдела ТОО «ЖДК».

$a_{9j}$  ( $j = \overline{1,23}$ ) – исходящий поток документов из общего отдела ТОО «Пицца Блюз».

$a_{10j}$  ( $j = \overline{1,23}$ ) – исходящий поток документов из общего отдела центральной лаборатории.

$a_{11j}$  ( $j = \overline{1,23}$ ) – исходящий поток документов из общего отдела НМУ «Здоровье».

$a_{12j}$  ( $j = \overline{1,23}$ ) – исходящий поток документов из общего отдела энергоцеха.

$a_{13j}$  ( $j = \overline{1,23}$ ) – исходящий поток документов из общего отдела ТОО «Казцинк Айна».

$a_{14j}$  ( $j = \overline{1,23}$ ) – исходящий поток документов из общего отдела ЗРГТИ.

- $a_{15j}$  ( $j = \overline{1,23}$ ) – исходящий поток документов из общего отдела Рем сервиса.  
 $a_{16j}$  ( $j = \overline{1,23}$ ) – исходящий поток документов из общего отдела УИТ.  
 $a_{17j}$  ( $j = \overline{1,23}$ ) – исходящий поток документов из общего отдела ЦРСО.  
 $a_{18j}$  ( $j = \overline{1,23}$ ) – исходящий поток документов из общего отдела ТОО «Промтепло».  
 $a_{19j}$  ( $j = \overline{1,23}$ ) – исходящий поток документов из общего отдела ТОО «Осирис».  
 $a_{20j}$  ( $j = \overline{1,23}$ ) – исходящий поток документов из общего отдела ТОО «Каз спец НРП».  
 $a_{21j}$  ( $j = \overline{1,23}$ ) – исходящий поток документов из общего отдела ТОО «Казцинк Тех».  
 $a_{22j}$  ( $j = \overline{1,23}$ ) – исходящий поток документов из общего отдела ТОО «Казцинк Геос».  
 $a_{23j}$  ( $j = \overline{1,23}$ ) – исходящий поток документов из общего отдела ТОО «Казцинк Маш».
- $a_{i1}$  ( $i = \overline{1,23}$ ) – входящий поток документов в управление ЗГОК.  
 $a_{i2}$  ( $i = \overline{1,23}$ ) – входящий поток документов в канцелярию Малевского рудника.  
 $a_{i3}$  ( $i = \overline{1,23}$ ) – входящий поток документов в канцелярию Греховского рудника.  
 $a_{i4}$  ( $i = \overline{1,23}$ ) – входящий поток документов в канцелярию обогатительной фабрики.  
 $a_{i5}$  ( $i = \overline{1,23}$ ) – входящий поток документов в общий отдел ТОО «Казцинк Транс».  
 $a_{i6}$  ( $i = \overline{1,23}$ ) – входящий поток документов в общий отдел ТОО «Казцинк ШСУ».  
 $a_{i7}$  ( $i = \overline{1,23}$ ) – входящий поток документов в общий отдел ВГСО.  
 $a_{i8}$  ( $i = \overline{1,23}$ ) – входящий поток документов в общий отдел ТОО «ЖДК».  
 $a_{i9}$  ( $i = \overline{1,23}$ ) – входящий поток документов в общий отдел ТОО «Пицца Блюз».  
 $a_{i10}$  ( $i = \overline{1,23}$ ) – входящий поток документов в общий отдел центральной лаборатории.  
 $a_{i11}$  ( $i = \overline{1,23}$ ) – входящий поток документов в общий отдел НМУ «Здоровье».  
 $a_{i12}$  ( $i = \overline{1,23}$ ) – входящий поток документов в общий отдел энергоцеха.  
 $a_{i13}$  ( $i = \overline{1,23}$ ) – входящий поток документов в общий отдел ТОО «Казцинк Айна».  
 $a_{i14}$  ( $i = \overline{1,23}$ ) – входящий поток документов в общий отдел ЗРГТИ.  
 $a_{i15}$  ( $i = \overline{1,23}$ ) – входящий поток документов в общий отдел Рем сервиса.  
 $a_{i16}$  ( $i = \overline{1,23}$ ) – входящий поток документов в общий отдел УИТ.  
 $a_{i17}$  ( $i = \overline{1,23}$ ) – входящий поток документов в общий отдел ЦРСО.  
 $a_{i18}$  ( $i = \overline{1,23}$ ) – входящий поток документов в общий отдел ТОО «Промтепло».  
 $a_{i19}$  ( $i = \overline{1,23}$ ) – входящий поток документов в общий отдел ТОО «Осирис».  
 $a_{i20}$  ( $i = \overline{1,23}$ ) – входящий поток документов в общий отдел ТОО «Каз спец НРП».  
 $a_{i21}$  ( $i = \overline{1,23}$ ) – входящий поток документов в общий отдел ТОО «Казцинк Тех».  
 $a_{i22}$  ( $i = \overline{1,23}$ ) – входящий поток документов в общий отдел ТОО «Казцинк Геос».  
 $a_{i23}$  ( $i = \overline{1,23}$ ) – входящий поток документов в общий отдел ТОО «Казцинк Маш».

Любая организация, реализуя процесс документооборота, вступает в экономические отношения, как и структурные бизнес-единицы единой экономической системы. Как внутренний, так и внешний бизнес-процесс характеризуется своими организационными

особенностями ведения документации.

Опишем особенность построения графовой модели внешней системы документооборота на примере ЗГОК АО «Казцинк» в виде следующей матрицы смежности:

$$B = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix},$$

где  $b_{1j}$  ( $j = \overline{1,13}$ ) – исходящий поток документов из управления ЗГОК АО «Казцинк».

$b_{2j}$  ( $j = \overline{1,13}$ ) – входящий поток документов от «Гленкор интернешнл» в управление ЗГОК.

$b_{3j}$  ( $j = \overline{1,13}$ ) – входящий поток документов от подразделений АО «Казцинк».

$b_{4j}$  ( $j = \overline{1,13}$ ) – входящий поток документов от потребителей.

$b_{5j}$  ( $j = \overline{1,13}$ ) – входящий поток документов от отдела реализации продукции.

$b_{6j}$  ( $j = \overline{1,13}$ ) – входящий поток документов от центрального управления.

$b_{7j}$  ( $j = \overline{1,13}$ ) – входящий поток документов от поставщиков.

$b_{8j}$  ( $j = \overline{1,13}$ ) – входящий поток документов от торговых представителей.

$b_{9j}$  ( $j = \overline{1,13}$ ) – входящий поток документов от дочерних предприятий.

$b_{10j}$  ( $j = \overline{1,13}$ ) – входящий поток документов из государственных учреждений и международных обществ.

$b_{11j}$  ( $j = \overline{1,13}$ ) – входящий поток документов от подрядчиков.

$b_{12j}$  ( $j = \overline{1,13}$ ) – входящий поток документов от отдела капитального строительства.

$b_{13j}$  ( $j = \overline{1,13}$ ) – входящий поток документов от субподрядчиков.

$b_{11}$  ( $i = \overline{1,13}$ ) – входящий поток документов в управление ЗГОК.

$b_{12}$  ( $i = \overline{1,13}$ ) – исходящий поток документов в «Гленкор интернешнл» из управления ЗГОК.

$b_{13}$  ( $i = \overline{1,13}$ ) – исходящий поток документов в подразделения АО «Казцинк».

$b_{14}$  ( $i = \overline{1,13}$ ) – исходящий поток документов к потребителям.

- $b_{i5}$  ( $i = \overline{1,13}$ ) – исходящий поток документов в отдел реализации.  
 $b_{i6}$  ( $i = \overline{1,13}$ ) – исходящий поток документов в центральное управление.  
 $b_{i7}$  ( $i = \overline{1,13}$ ) – исходящий поток документов к поставщикам.  
 $b_{i8}$  ( $i = \overline{1,13}$ ) – исходящий поток документов в торговые представительства.  
 $b_{i9}$  ( $i = \overline{1,13}$ ) – исходящий поток документов в дочерние предприятия.  
 $b_{i10}$  ( $i = \overline{1,13}$ ) – исходящий поток документов в государственные учреждения и международные общества.

- $b_{i11}$  ( $i = \overline{1,13}$ ) – исходящий поток документов к подрядчикам.  
 $b_{i12}$  ( $i = \overline{1,13}$ ) – исходящий поток документов в отдел капитального строительства.  
 $b_{i13}$  ( $i = \overline{1,13}$ ) – исходящий поток документов к субподрядчикам.

Полученные матрицы определяют графовую модель документооборота рассматриваемого процесса. Совокупность этих матриц задает все возможные сценарии движения документов в процессе, описывает все возможные состояния документов и определяет возможных участников. В нашей модели матрица смежности отражает отношения состояний, элементами которой являются действия, приводящие к смене состояний.

Получено 22.04.09

УДК 681.2 (075.8): 681.5(075.8): 006.91(075.8)

**А. П. Парамзин**  
ВКГТУ, г. Усть-Каменогорск

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ  
С АКТИВНЫМ КОРРЕКТОРОМ**

В статье [1] обоснована правомочность замены класса систем аддитивной коррекции мультиплексной погрешности по входу одной обобщённой системой с прямой параллельной единичной передачей. Структурная схема такой системы приведена на рис. 1. Обоснование было выполнено с привлечением аппарата переходных функций, причём для единственного (хотя и приближённого к реальному) набора значений параметров систем.

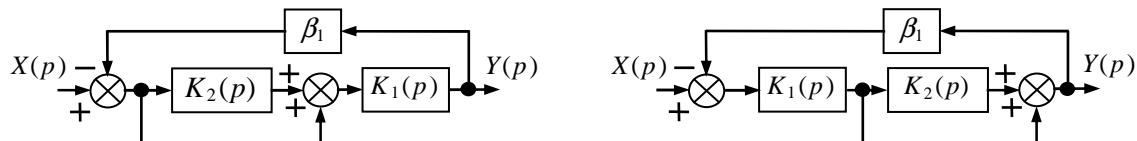


Рисунок 1 - Структура автоматической системы с прямой параллельной единичной передачей:  $X(p)$  – входное воздействие,  $Y(p)$  – выходная переменная,  $K_1(p)$  – передаточная функция основного канала;  $K_2(p)$  – передаточные функции дополнительного канала;  $\beta_1$  – безынерционный делитель,  $p$  – оператор Лапласа

Целью данной статьи является исследование поведения системы (рис. 1) во временной области, а именно её реакции на единичное ступенчатое управляющее воздействие ( $X(t) = 1(t)$ ,  $t \geq 0$ ) при постоянной нагрузке.

Присвоим соединению  $1+K_2(p)$  структурной схемы рис.1 название «активный корректор», что позволяет существенно расширить его область применения, в частности для коррекции систем с общей отрицательной обратной связью. Кроме этого, принцип суперпозиции, справедливый для линейных систем, допускает смену местоположений основного и дополнительного каналов.

Общая теория систем рассматриваемого класса, которую развивает автор статьи в своих работах, требует, чтобы свойства каналов систем со структурой (рис. 1) были эквивалентны либо свойствам инерционных звеньев, либо звеньев, скорректированных оптимально по Боде. С учётом этого представим:  $K_1(p) = K_{10}/B_1(p)$ ,  $K_2(p) = K_{20}/B_2(p)$ , где  $K_{10}$  и  $K_{20}$  – статические коэффициенты передачи (усиления);  $B_1(p)$  и  $B_2(p)$  – полиномы оператора  $p$ . С целью упрощения опустим оператор  $p$  и обозначим:  $K_1 = K_{10}/B_1$ ,  $K_2 = K_{20}/B_2$ ,  $X$ ,  $Y$ , тогда передаточная функция системы (рис. 1) примет вид

$$\frac{Y}{X} = \frac{K_1(K_2 + 1)}{1 + \beta_1 K_1(K_2 + 1)} = \frac{K_{10}(B_2 + K_{20})}{B_1 B_2 + \beta_1 K_{10}(B_2 + K_{20})}. \quad (1)$$

Наилучшие показатели качества, как это доказано в [2], достигаются при условии, если:

$$B_1(p) = (\tau p + 1)(\tau_3 p + 1); \quad B_2(p) = (\tau_1 p + 1)(\tau_2 p + 1), \quad (2)$$

где  $\tau, \tau_1, \tau_2, \tau_3$  – постоянные времена.

После ввода весовых коэффициентов  $n_1 = \tau_1/\tau$ ,  $n_2 = \tau_2/\tau$ ,  $n_3 = \tau_3/\tau$  запишем:

$$B_1(p) = (\tau p + 1)(n_3 \tau p + 1); \quad B_2(p) = (n_1 \tau p + 1)(n_2 \tau p + 1). \quad (3)$$

Переход в частотную область осуществим путём замены оператора  $p$  на  $j\omega$ , тогда:

$$A_1(j\omega) = (1 + j\omega\tau)(1 + j\omega n_3\tau); \quad A_2(j\omega) = (1 + j\omega n_1\tau)(1 + j\omega n_2\tau). \quad (4)$$

Оптимальный синтез системы основан на выборе соотношений статических коэффициентов передачи и асимптотических частот каналов при условии максимального использования их усиительных и частотных свойств с учётом необходимых запасов устойчивости.

Как было доказано, если  $\tau = \tau_1 = \tau_2 = \tau_3$  (т. е.  $n_1 = n_2 = n_3 = 1$ ), то система находится на границе устойчивости при

$$\beta_1 K_{10} / K_{20} = 4 \text{ или } 20\lg\beta_1 K_{10} - 20\lg K_{20} \approx 12 \text{ дБ}, \quad (5)$$

а для приемлемых запасов устойчивости должно выполняться соотношение

$$\beta_1 K_{10} / K_{20} \geq 10 \text{ или } 20\lg\beta_1 K_{10} - 20\lg K_{20} \geq 20 \text{ дБ}. \quad (6)$$

Если за верхнюю границу диапазона рабочих частот каналов условно принять  $f_0 = 1 \text{ Гц}$  ( $\omega_0 = 2\pi f_0 \approx 6,283 \text{ рад/с}$ ); статические коэффициенты усиления задать  $\beta_1 K_{10} = 100$ ,  $K_{20} = 10$  и ввести обозначения:  $20\lg(\beta_1 K_1) = A_1(\omega) = A_1$ ,  $20\lg(K_2) = A_2(\omega) = A_2$ , тогда амплитудно-частотные характеристики каналов будут выглядеть как на рис. 2, а переходная функция системы – как на рис. 3 при условии  $Y(\infty) / X(\infty) = 10$ .

Далее исследование системы с помощью переходной функции производится по прямым показателям качества, к которым относятся:

- перерегулирование  $\{\sigma = (h_{\max} - h_{\text{уст}})/h_{\text{уст}}\}$ , характеризующее степень удаления системы от границы устойчивости; где  $h_{\max}$  – максимальное значение переходной функции;  $h_{\text{уст}} = Y(\infty) / X(\infty)$  – установленвшееся значение переходной функции;
- колебательность – допустимое число колебаний переходной функции относительно установленвшегося значения;

- время регулирования ( $t_p$ ) – время до первого пересечения переходной функцией установленного значения;
- длительность переходного процесса ( $t_{\text{пп}}$ ) – промежуток времени, по истечении которого выполняется неравенство  $|h(t) - h_{\text{уст}}| \leq \Delta$ , где  $\Delta = 0,05 h_{\text{уст}}$ .

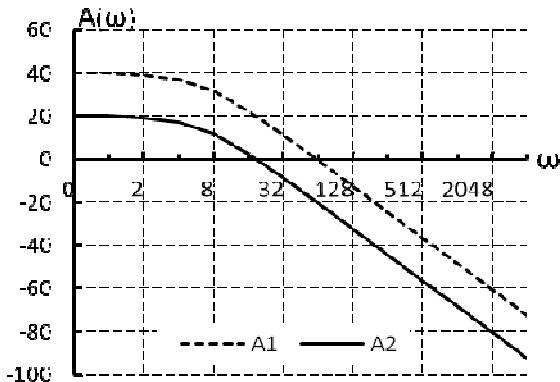


Рисунок 2 - Амплитудно-частотные характеристики каналов

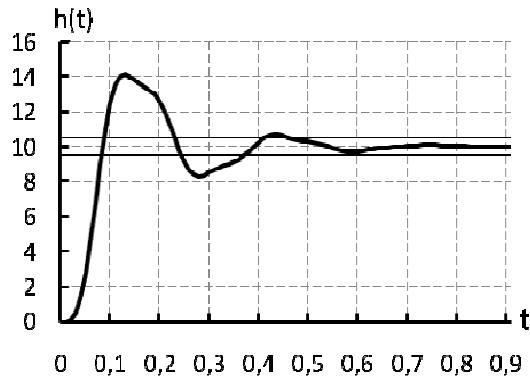


Рисунок 3 - Переходная функция

Сводный перечень характеристик переходной функции (рис. 3) таков:

- $\sigma = [(h_{\text{макс}} - h_{\text{уст}})/h_{\text{уст}}] \cdot 100\% = [(14-10)/10] \cdot 100\% \approx 40\%$ ;
- колебательность = 3 колебания;
- $t_p \approx 0,085$  с;
- $t_{\text{пп}} \approx 0,47$  с.

Увеличим статические коэффициенты усиления каналов, сохранив неизменными асимптотические частоты и запас устойчивости по модулю. Сохранение асимптотических частот вполне объяснимо, так как их значения ограничены аппаратными ресурсами каналов. Тогда амплитудно-частотные характеристики каналов будут выглядеть как на рис. 4, а переходная функция системы – как на рис. 5.

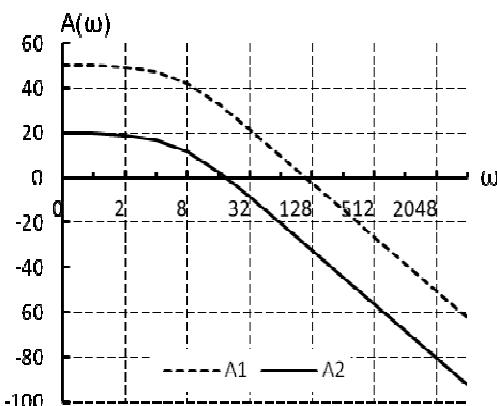


Рисунок 4 - Амплитудно-частотные характеристики каналов

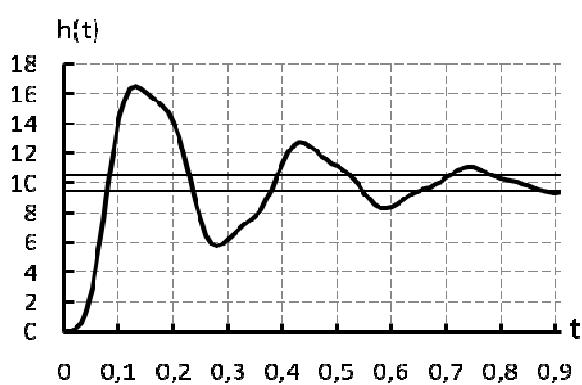


Рисунок 5 - Переходная функция

Сводный перечень характеристик переходной функции (рис. 5) таков:

- $\sigma = [(h_{\max} - h_{\text{уст}})/h_{\text{уст}}] \cdot 100\% = [(16,5-10)/10] \cdot 100\% \approx 65\%$ ;
- колебательность = 5 колебаний;
- $t_p \approx 0,08$  с;
- $t_{\text{пп}} \approx 0,95$  с.

Известно, что с увеличением статического коэффициента усиления рассматриваемой системы (петлевого усиления или глубины обратной связи) улучшаются показатели качества в установившемся режиме. В переходном же режиме наблюдается диаметрально противоположная зависимость.

Увеличим запас устойчивости системы по модулю на 10 дБ за счёт дополнительных аппаратных ресурсов основного канала. Тогда при  $f_0 = 1$  Гц;  $\beta_1 K_{10} = 316$  ( $20\lg\beta_1 K_{10} = 50$ );  $K_{20} = 10$  ( $20\lg K_{20} = 20$ ) амплитудно-частотные характеристики каналов будут выглядеть как на рис. 6, а переходная функция системы – как на рис. 7.

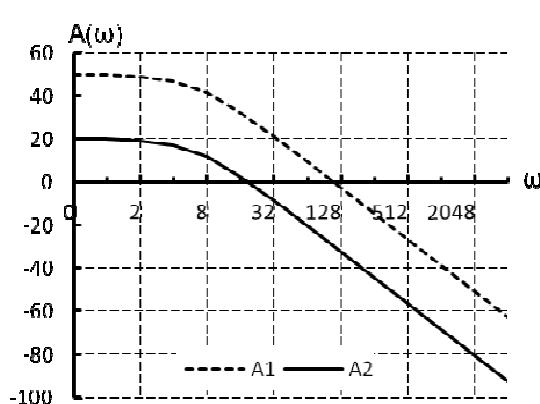


Рисунок 6 - Амплитудно-частотные характеристики каналов

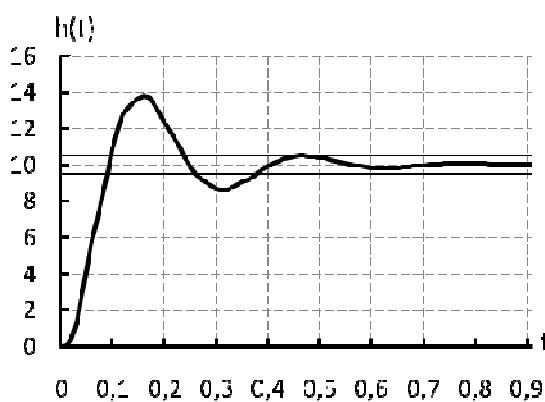


Рисунок 7 - Переходная функция

Сводный перечень характеристик переходной функции (рис. 7) таков:

- $\sigma = [(h_{\max} - h_{\text{уст}})/h_{\text{уст}}] \cdot 100\% = [(13,7-10)/10] \cdot 100\% \approx 37\%$ ;
- колебательность = 2 колебания;
- $t_p \approx 0,092$  с;
- $t_{\text{пп}} \approx 0,46$  с.

Как видно из рис. 6 и 7 привлечение дополнительных аппаратных затрат не привело к существенному улучшению качества системы в переходном режиме, хотя в установившемся режиме качество улучшается пропорционально этим затратам.

В общей теории систем аддитивной коррекции мультиплексивной погрешности по входу автор подчёркивает многоцелевое назначение активного корректора для:

- непосредственно коррекции системы и обеспечения её устойчивости;
- уменьшения частотных и фазовых искажений;
- улучшения показателей качества в установившемся режиме, то есть для уменьшения статической ошибки.

Второе и третье назначения активного корректора позволяют выбирать место включения его в структуру системы. Технологичнее разместить активный корректор на входе системы, как показано на левой структурной схеме (рис. 1). В этом случае можно применить маломощные компоненты.

Пусть ставится задача снизить статическую ошибку регулирования. Тогда при неиз-

менных параметрах основного канала, а именно:  $f_0 = 1$  Гц,  $\beta_1 K_{10} = 100$  и  $n_3 = 1$ , неизменном запасе устойчивости системы по модулю в 8 дБ можно изменить параметры дополнительного канала, например  $K_{20} = 50$ . Но при этом требуется увеличить постоянные времени дополнительного канала до значения  $n_1 = n_2 = 2,77$  (это доказано в цитируемой статье). Хотя частотные свойства активного корректора стали хуже, но решена поставленная задача, при этом амплитудно-частотные характеристики каналов будут выглядеть как на рис. 8, а переходная функция системы – как на рис. 9.

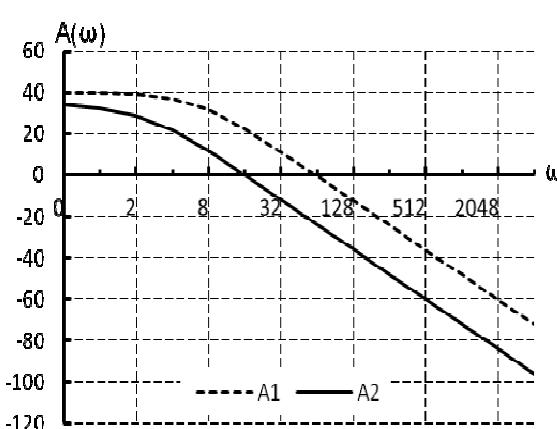


Рисунок 8 - Амплитудно-частотные характеристики каналов

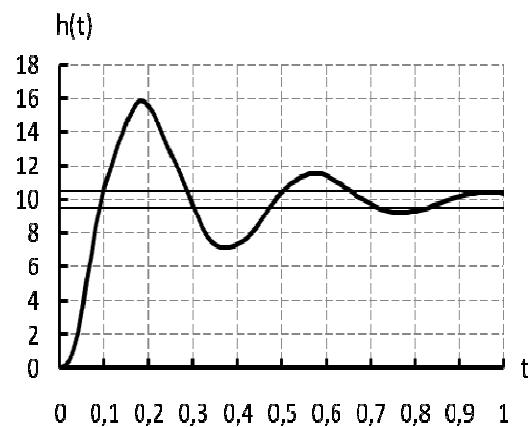


Рисунок 9 - Переходная функция

Сводный перечень характеристик переходной функции рис. 9 таков:

- $\sigma = [(h_{\max} - h_{\text{уст}})/h_{\text{уст}}] \cdot 100\% = [(15,9 - 10)/10] \cdot 100\% \approx 59\%$ ;
- колебательность = 4 колебания;
- $t_p \approx 0,095$  с;
- $t_{\text{пп}} \approx 0,83$  с.

Исследование показало, что переходные процессы в системе с активным корректором преимущественно колебательные. Такой результат является следствием того, что основное предназначение структуры – максимизация глубины обратной связи (петлевого усиления) с целью повышения точности и быстродействия, а также минимизации чувствительности к возмущающим воздействиям. Системы подобного типа, как правило, условно устойчивые и высокого порядка. Для расширения функциональных возможностей систем рассматриваемого класса требуется выполнить дополнительные структурные преобразования, что будет являться целью дальнейших исследований.

#### Список литературы

1. Парамзин А.П. Оценка влияния малого параметра на качество переходного процесса одного класса автоматических систем / А.П. Парамзин, С.Ж. Рахметуллина // Вестник ВКГТУ. – 2008. – № 4. – Усть-Каменогорск, 2008.
2. Парамзин А.П. Оптимизация частотных характеристик в замкнутых системах аддитивной коррекции погрешностей по входу / А.П. Парамзин, В.М. Сергеев // Проблемы технического прогресса и экологии в строительстве и других отраслях экономики Казахстана: Сб. науч. тр.– Усть-Каменогорск: ВКТУ, 1998.

Получено 6.05.09

