



УДК 004

Г.Ж. Абдыкерова  
ВКГТУ, г. Усть-Каменогорск

#### АЛГОРИТМ И МЕТОДЫ ЭКСПЕРТНОЙ ОЦЕНКИ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ

Особенностью инновационных процессов, формируемых в виде инновационных программ и проектов, является то, что они относятся к категории объектов наиболее высокого риска для инвестиций, которые достаточно сложно оценить ввиду отсутствия эффективных методов оценки для них.

Оценить качество проекта на начальной стадии научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок (НИОКР) значительно сложнее из-за неопределенности технических и экономических показателей, но анализ новой разработки именно на этом этапе представляет наибольший интерес.

Оценка инновационного проекта – важная и сложная процедура на стадии НИОКР, но она также представляет собой непрерывный процесс, предполагающий возможность остановки проекта в любой момент в связи с появляющейся дополнительной информацией. Таким образом, это одна из процедур оперативного управления НИОКР. Она должна основываться на четком формальном базисе и включать следующие компоненты:

- выявление факторов, относящихся к проекту;
- оценку проектных предложений по этим факторам с использованием количественной информации или экспертных оценок;
- принятие или отказ от проектных предложений на основе сделанных оценок;
- выявление областей, где нужна дополнительная информация, и выделение ресурсов на ее получение;
- оценку воздействия на проект выделенных новых переменных;
- принятие решения о продолжении или прекращении работы над проектом.

Основные факторы, которые должны быть учтены в процедуре оценки:

- финансовые результаты реализации проекта;
- воздействие данного проекта на другие в рамках портфеля НИОКР предприятия;
- влияние проекта в случае его успеха на экономику предприятия в целом.

На основе набора определенных критериев нами предлагается методика экспертизы инновационных проектов на первоначальной стадии. Методика основана на модели американского ученого Мак-Кинси [1]. При разработке методики был использован методологический подход, основанный на экспертных оценках уровней конкурентоспособности и инновационной привлекательности инновационного проекта. Адекватность используемых критериев относительно комплексного показателя формируется за счет придания каждому критерию весовых коэффициентов и применения аддитивно-мультипликативного метода расчета.

Оценку инновационного проекта, с использованием модели Мак-Кинси, целесообразно осуществлять в три этапа: а) выбор оптимальных критериев; б) определение весовых

коэффициентов; в) позиционирование проектов в матрице.

С точки зрения рынка, инновационные проекты являются объектами двух взаимодействующих его сегментов: науки и бизнеса. Поэтому их целесообразно формализовать как двухмерные объекты: конкурентоспособность (К) и инновационность (I). Особенностью этих показателей является зависимость от множества критериев.

Основные критерии, оказывающие наибольшее влияние на эти показатели, следующие: критерии инновационной привлекательности (соответствие проекта приоритетным направлениям индустриально-инновационной стратегии; актуальность исследования и уникальность продукции, научно-технический уровень проекта, научная новизна предлагаемых в проекте решений, технологический уровень проекта (новая технология), экономическая целесообразность проекта); критерии конкурентоспособности (наличие рынка и возможность коммерциализации предлагаемых результатов проекта; уровень конкурентных преимуществ результатов НИОКР и возможности их длительного сохранения; согласованность с существующими каналами сбыта; патентоспособность, наличие объекта интеллектуальной собственности, наличие научно-технического задела) и т.д.

Для вычисления этих критериев представляется необходимым предложить определенный метод. Наиболее простой способ решения этой задачи связан с определением средних значений оценок экспертов по каждому критерию инновационности и конкурентоспособности. Общие значения критериев инновационности и конкурентоспособности определяются как:

$$I_j = \sum_{i=1}^n x_i f_{ij}, \quad \sum_{i=1}^n x_i = 1, \quad (1)$$

$$K_j = \sum_{k=1}^m y_k g_{kj}, \quad \sum_{k=1}^m y_k = 1, \quad (2)$$

$$I_{\min} \leq I_j \leq I_{\max}, \quad K_{\min} \leq K_j \leq K_{\max}, \quad (3)$$

где  $f_{ij}$  - значение i-го критерия j-го объекта (проекта) для показателя инновационности;  $x_i$  - значение весового коэффициента i-го критерия для показателя инновационности;  $n$  - число критериев для показателя инновационности;  $g_{kj}$  - значение k-го критерия j-го объекта (проекта) для показателя конкурентоспособности;  $y_k$  - значение весового коэффициента k-го фактора для показателя конкурентоспособности;  $m$  - число критериев для показателя конкурентоспособности;  $j = \overline{1, J}$ ,  $J$  - число объектов (проектов);  $I_{\min}, I_{\max}, K_{\min}, K_{\max}$  - минимальные и максимальные значения показателей инновационности и конкурентоспособности.

Модель Мак-Кинси используется при анализе рынков на основе двух показателей (привлекательности отрасли и конкурентоспособности предприятия), в которой область значений показателей делится на 9 секторов [2].

Чтобы в нашем случае позиционировать каждый проект, необходимо определить их показатели I и K, которые являются координатами этих объектов (проектов) в данной матрице. В модели при определении координат используется взвешенное среднее значение факторов (критериев). Значения по каждому фактору рекомендуется оценивать экспертно (от 1 до 5); при наличии нескольких экспертов значения усредняются.

Для формализации упорядочения критериев наиболее подходящим аппаратом являются

ся экспертные оценки, содержащие комплекс логических и математико-статистических процедур, и основанные на знаниях специалистов.

Для определения весовых коэффициентов по каждому критерию и их упорядочения использовался метод ранжирования [3].

При ранжировании исходные ранги преобразуются сначала так, что ранг 1 становится  $n$ -м рангом и т.д., а ранг  $n$  становится рангом 1. По этим преобразованным рангам вычисляются суммы (4).

$$R_J = \sum_{K=1}^M R_{JK}, \quad (4)$$

где  $R_J$  - сумма преобразованных рангов по всем экспертам для  $j$ -го фактора;

$R_{JK}$  - преобразованный ранг, присвоенный  $k$ -м экспертом  $j$ -му фактору;

$M, N$  - число экспертов и критериев, соответственно.

Далее вычисляются веса критериев (5):

$$W_J = R_J \div \sum_{J=1}^N R_J, \quad (5)$$

где  $W_J$  - средний вес критерия по всем экспертам.

Важной компонентой модели Мак-Кинси является матрица суждений, в которой значения элементов основаны не на точных измерениях, а субъективных суждениях (эти матрицы подготавливаются экспертами). Матрица суждений (6):

$$A = (a_{ij}), ij = 1, 2, \dots, J, \quad (6)$$

где  $a_{ij}$  - число, соответствующее значимости объекта (критерии  $P$  и  $K$ ).

«Качество» эксперта при заполнении матрицы суждений определяется через отношение согласованности ( $OS$ ). Значения  $OS \leq 0,1$  считаются приемлемыми [4]. Для матрицы суждений  $A$  требуется найти максимальное собственное значение  $\lambda_{\max}$  и вектор собственных значений  $Z$ , т.е. необходимо решить уравнение (7):

$$A \cdot Z = Z \cdot \lambda_{\max}. \quad (7)$$

Компоненты вектора  $Z$  являются весовыми коэффициентами.

К анкетированию в качестве экспертов были привлечены ученые ВКГТУ и других вузов, специалисты Регионального научно-технологического парка «Алтай», специалисты ВНИИцветмет а также специалисты производственных предприятий г. Усть-Каменогорска. В качественном отношении экспертами являлись руководители, специалисты НИР, менеджеры инноваций.

Анкета составлялась на основе списка двух групп критериев, указанных выше. Общее число анкет составило 22 опросных листа. Экспертам также было предложено при необходимости дополнить предлагаемый список или исключить ненужные критерии из списка.

Ранжирование критериев производилось простым способом – путем присвоения наивысших рангов критерию, представляющему наименьшее значение по их мнению. Важность (ранг) каждого критерия определяется по величине средней оценки и по сумме рангов экспертных оценок.

Проверка согласованности экспертных оценок по критериям производилась вычислением коэффициентов вариаций факторов, которые являются аналогами дисперсии (8).

$$S_j = \frac{h}{h-1} \cdot \frac{\left( \sum_{j=1}^k f_{ij} \right)^2 - \sum_{j=1}^k f_{ij}^2}{\left( \sum_{j=1}^k f_{ij} \right)^2}, \quad (8)$$

где  $S_j$  – коэффициент вариации факторов;  $m$  – число экспертов;  $f_{ij}$  – среднее значение для суммарных рангов ряда  $f_{ij}$  - ранга  $i$ -го фактора, присвоенного  $j$ -м экспертом;  $n$  – число критериев.

Поскольку в нашем случае специалисты-эксперты представлены с различных структур и не являются однородными, необходимо контролировать их однородность. Для решения этой задачи по различным критериям, полученным от экспертов, определена конкордация – согласованность их мнений. Коэффициент конкордации  $W$  рассчитывался по формуле, предложенной Кендаллом (9):

$$W = \frac{12 \cdot S}{m^2 \cdot (n^3 - n)}, \quad (9)$$

где  $n$  – число факторов;  $m$  – число экспертов.

В случае, когда какой-либо эксперт не может установить ранговое различие между некоторыми смежными факторами и присваивает им одинаковые ранги, расчет коэффициента конкордации производится по формуле (10):

$$W = \frac{S}{\frac{1}{12} m^2 (n^3 - n) - m \sum_{j=1}^m T_j}, \quad (10)$$

где

$$T_j = \frac{1}{12} \sum_{t_j} (t_{j^3} - t_j), \quad (11)$$

$t_j$  – число одинаковых рангов в  $j$ -м ряду.

Значения суммы квадратов разностей (отклонений)  $S$  рассчитывалось по формуле (12):

$$S = \sum_{i=1}^n \left\{ \sum_{j=1}^m x_{ij} - \frac{1}{2} m(n+1) \right\}^2, \quad (12)$$

где  $x_{ij}$  – ранг  $i$ -го фактора, присвоенный  $j$ -м экспертом;  $m$  – число экспертов;  $n$  – число факторов (критериев).

Значимость коэффициентов  $W$  проверялась для уровня 0,01 (99%) по мощному критерию  $\chi^2$ , минимизирующего ошибку второго рода (принятие неверной гипотезы), при уровне значимости  $\alpha$  – вероятности забраковать справедливую гипотезу (ошибка первого рода) и числе степеней свободы  $f$ .

Значение  $\chi^2$ -статистики вычисляется по формуле (13):

$$\chi^2 = mfW, \quad (13)$$

где  $m$  – число экспертов;  $f$  – число степеней свободы  $f = k - 1$ ;  $W$  – коэффициент конкор-

дации.

При условии, что величина  $\chi^2$ -статистики превышает критическое значение  $\chi^2$  при уровне значимости  $\alpha$  и числе степеней свободы  $f$ , т. е:  $\chi^2 = m f W > \chi_{kp}^2 (\alpha; f)$ , гипотеза о согласованности мнений экспертов не отвергается [5].

Оценки экспертов по каждой группе критериев отличаются по их важности. В таблице приведены значения коэффициентов конкордации по критериям инновационной привлекательности и конкурентоспособности.

#### Значение коэффициента конкордации

Показатели	Критерии инновационной привлекательности	Критерии конкурентоспособности
Средняя сумма рангов	-121	-143
Сумма квадратов разностей отклонений S	26175	40386
W-коэффициент конкордации	0,66	0,58
Sj-коэффициент вариации	0,92	0,93

Полученные значения коэффициентов конкордации для каждой группы критериев (0,66; 0,58) свидетельствуют о согласованности (0,5-0,7 - заметная взаимосвязь) оценок между всеми экспертами.

При анализе результатов экспертных оценок критериев инновационной привлекательности при  $m = 15$ ,  $f = 11$ ,  $\alpha = 0,01$  значение величины  $\chi^2$ -статистики следующее:

$$\chi^2 = 15(12-1) \cdot 0,319534 = 52,72311 > \chi_{kp}^2(0,01; 11) = 24,725.$$

Соответственно значение величины  $\chi^2$ -статистики результатов экспертных оценок критериев конкурентоспособности равно:

$$\chi^2 = 15(12-1) \cdot 0,41265 = 68,08725 > \chi_{kp}^2(0,01; 11) = 24,725.$$

Поскольку значения величины  $\chi^2$ -статистики больше, чем  $\chi_{kp}^2$ , следовательно, гипотеза о согласованности мнений экспертов не отвергается.

Полученные экспертные оценки дают возможность получить весовые коэффициенты для определения дальнейшего позиционирования инновационных проектов в матрице.

На втором этапе были определены весовые коэффициенты, показывающие важность каждого критерия. Для показателя инновационной привлекательности наиболее важным критерием является актуальность исследования и уникальность проекта (отсутствие аналогов), на втором месте - экономическая целесообразность проекта, на третьем - соответствие проекта приоритетным направлениям индустриально-инновационной стратегии, на четвертом - научно-технический уровень проекта, на пятом - технологический уровень проекта (трансферт технологии, новая технология) и т.д.

Для показателя конкурентоспособности: на первом месте - наличие рынка и возможность коммерциализации предлагаемых результатов проекта, на втором - наличие команды квалифицированных специалистов и наличие опыта в реализации проектов, на третьем - уровень конкурентных преимуществ результатов НИОКР и возможности их длительного сохранения, на четвертом - наличие объекта интеллектуальной собственности, на пятом - наличие научно-технического задела и т.д.

На третьем этапе осуществляется позиционирование проектов с использованием модели Мак-Кинси. Для примера были подготовлены два проекта, которые необходимо оценить экспертам по критериям инновационной привлекательности и конкурентоспособности. В качестве экспертов представлены специалисты, занимающиеся НИР в различных областях. Эксперты подготовили по 2 таблицы (для показателей инновационной привлекательности и конкурентоспособности) с оценками каждого проекта по каждому критерию.

С помощью полученных усредненных оценок и весовых коэффициентов получено позиционирование инновационных проектов в матрице Мак-Кинси. На рис. 1 в матрице Мак-Кинси приведено позиционирование данных проектов по полученным оценкам экспертов.

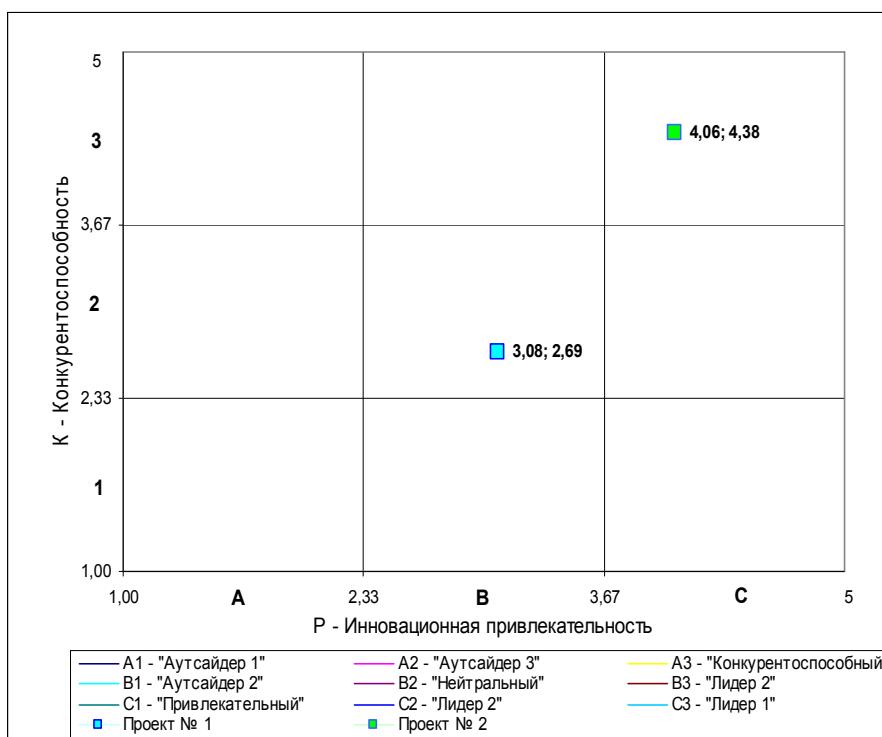


Рисунок 1 - Матрица Мак-Кинси (инновационные проекты, абсолютное позиционирование)

Полученная матрица позволяет позиционировать каждый инновационный проект по указанным критериям показателей инновационной привлекательности и конкурентоспособности в определенный сектор. Границы матрицы являются максимально и минимально возможными значениями – 1 и 5, соответственно [6].

Следует отметить, что названия секторов матрицы Мак-Кинси в нашем случае отличаются от классических [7].

Так, в данной матрице (рис. 1) мы выделили 3 области: 1) «лидеров»; 2) «аутсайдеров», 3) «пограничную».

Проекты, которые при позиционировании попадают в область «лидеров», имеют лучшие или средние по сравнению с остальными значения показателей инновационной при-

влекательности и конкурентоспособности; являются приоритетными – их реализация может быть начата уже сейчас. Проекты, попадающие в три сектора в нижнем левом углу матрицы («аутсайдеры»), имеют низкие значения по многим критериям. Данные проекты являются проблемными – у них гораздо больше слабостей, чем преимуществ.

Три сектора, расположенных вдоль главной диагонали, идущей от нижнего левого к верхнему правому краю матрицы, имеют классическое название «пограничных»: сюда вошли конкурентоспособный сектор (при низкой привлекательности), привлекательный (при низкой конкурентоспособности) и нейтральный. Данные проекты являются перспективными и требуют определенной доработки.

В качестве решения выберем ту альтернативу (проект), нормированные оценки векторов приоритетов которого по значению занимают сектор «Лидер 1». Такой альтернативой является проект № 2, который по оценкам экспертов является приоритетным и готов к реализации.

Проект № 1 занимает нейтральную позицию в матрице, является перспективным, но имеет определенные недостатки, над которыми необходимо поработать.

На основе полученной критериальной модели и оценки весов критериев были сформированы требования и методика экспертизы инновационных проектов, пригодные для использования при оценке проектов в вузах, предприятиях, институтах развития и др.

Список литературы:

1. Ансофф И. Стратегическое управление. – М.: Экономика, 1989. – С. 99-103.
2. Ефремов В.С. Стратегия бизнеса и методы планирования //Экономика и статистика. – 1998. –С. 89-92.
3. Валдайцев С.В. Управление исследованиями, разработками и инновационными проектами / С.В. Валдайцев, О.В. Мотовилов. – СПб.: Экономика, 2004. –С. 68-74.
4. Шелобаев С.И. Математические методы и модели в экономике, финансах, бизнесе: Учеб. пособие для вузов. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2001. – 367 с.
5. Фатхутдинов Р.А. Разработка управленческого решения: Учебник для вузов. -2-е изд., доп. – М.: Бизнес-школа «Интел-Синтез», 1998. – 272 с.
6. Гольдштейн Г.Я. Основы менеджмента. – Таганрог: ТРТУ, 2003.
7. Томпсон А.А. Стратегический менеджмент: Искусство разработки и реализации стратегии: Учебник для вузов /А.А. Томпсон, А.Дж. Стриклед. – М.: Банки и биржи, ЮНИТИ, 1998.-578с.

Получено 25.09.09

---

УДК 004

**Г.Ж. Абыкерова**  
ВКГТУ, г. Усть-Каменогорск

**РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ И АЛГОРИТМА ОЦЕНКИ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ**

Самым важным этапом в анализе инновационного проекта является оценка прогнозируемого денежного потока, т.е. оценка и сравнение объема предполагаемых инвестиций и будущих денежных поступлений [1].

Процесс формирования денежных поступлений (cash flow) от реализации данного проекта представляет собой жизненный цикл инновационного проекта.

Поскольку сравниваемые показатели денежных поступлений относятся к различным

моментам времени, ключевой проблемой здесь является их сопоставимость. Воспринимать ее можно по-разному в зависимости от существующих объективных и субъективных условий: темпа инфляции, размера инвестиций и генерируемых поступлений, горизонта прогнозирования, уровня квалификации аналитика и т.п.

Наглядным инструментом при анализе проектов является графическое представление соответствующего денежного потока (рис. 1).

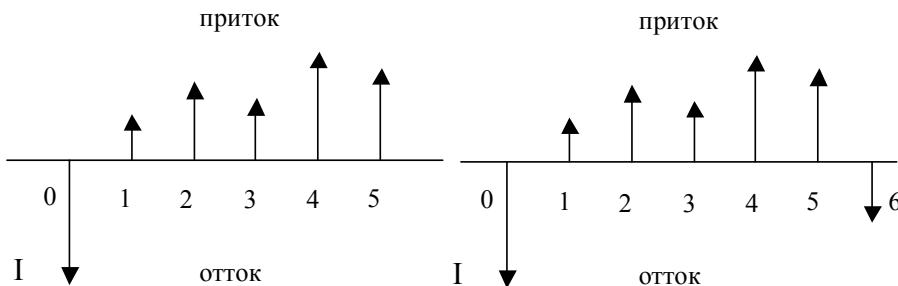


Рисунок 1 - Графическое представление денежного потока: а) обычный (ординарный) денежный поток; б) необычный (неординарный) денежный поток

Денежный поток – движение денежных средств, возникающее в результате реализации инновационного проекта.

В наиболее общем виде инновационный проект Р представляет собой следующую модель [2]:

$$P = \{I_i, S_t, n, r\}, \quad (1)$$

где  $I_i$  - инвестиции в  $i$ -м году;  $i = 1, 2, \dots, m$ ,

$S_t$  - приток (отток) денежных средств в год  $t$ ;  $t = 1, 2, \dots, n$

$n$  - продолжительность проекта,

$r$  - коэффициент дисконтирования.

При анализе инвестиционных проектов следует учитывать ряд положений [3]:

- с каждым инвестиционным проектом принято связывать денежный поток, элементы которого представляют собой либо чистые оттоки, либо чистые притоки денежных средств, иногда в анализе используется не денежный поток, а последовательность прогнозных значений чистой годовой прибыли, генерируемой проектом;

- чаще всего анализ ведется по годам, хотя анализ можно проводить по равным базовым периодам любой продолжительности (месяц, квартал). Необходимо при этом увязать величины элементов денежного потока, процентную ставку и длину периода;

- предполагается, что весь объем инвестиций делается в конце года, предшествующего первому году генерируемого проектом притока денежных средств (инвестиции могут быть сделаны в течение ряда последующих лет);

- приток (отток) денежных средств оценивается на конец очередного года.

Таким образом, полный жизненный цикл инновационного проекта представлен финансовыми потоками: положительными (приток) и отрицательными (отток). Соотношения между ними определяют потенциальную экономическую эффективность всего проекта и его отдельных этапов.

В качестве эффекта на  $i$ -м этапе проекта выступает поток реальных денег  $S_t$  – разность

между притоком  $\Pi_t$  и оттоком  $O_t$  денежных средств от инвестиционной и операционной деятельности в каждом периоде осуществления проекта:

$$S_t = [\Pi_{t1} - O_{t1}] + [\Pi_{t2} - O_{t2}] = S_t + S'_t. \quad (2)$$

Под инновационным проектом мы будем понимать поток капитальных вложений  $I_t$ , заданный на интервале времени  $[t_{oi}, t_{oi} + n]$ , где  $t_{oi}$  - момент начала реализации  $i$ -го инвестиционного проекта, а  $n$  - его продолжительность (фактическая или подлежащая конкретному инвестиционному оцениванию).

Введенный в рассмотрение интервал реализации  $i$ -го инновационного проекта разбит на произвольные временные такты  $\Delta t$  (день, неделя, месяц, квартал, год), каждый из которых характеризуется своим порядковым номером  $t_{oi}, t_{oi}+1, t_{oi}+2, t_{oi}+n$ .

Результаты оценки проекта будем полагать заданными в виде  $\Pi_t - Z_t, t \in [t_{oi}, t_{oi} + n]$ , где  $\Pi_t$  - поток поступлений в результате реализации инновационного проекта (по описанным выше временными тактам  $t = t_{oi}, t_{oi}+1, \dots, t_{oi}+n$ ), а  $Z_t$  обозначает текущие затраты в ходе реализации  $i$ -го инновационного проекта.

Таким образом, мы традиционно разделяем капитальные вложения  $I_t$  и дополнительные текущие затраты  $Z_t$ , вместе образующие совокупные затраты, которые определяются как  $O_t = I_t + Z_t, t \in [t_{oi}, t_{oi} + n]$ .

В дальнейшем мы результат реализации  $i$ -го инновационного проекта будем также трактовать как текущий доход (чистые денежные поступления)  $S_t$ . Таким образом,  $S_t = \Pi_t - Z_t$ .

На рис. 2 представлен график накопленных чистых денежных поступлений по проекту за весь срок, где  $S_t$  – максимальный денежный отток инвестиционных вложений за период  $t_{oi+n}$ ;  $S'_t$  – максимальный денежный приток чистой прибыли за период  $t_{oi+n}$ ; PB, DPB – точка окупаемости проекта (PB - простой, DPB - дисконтированный периоды окупаемости).

Важнейший показатель, характеризующий инвестиционный процесс – метод чистой текущей стоимости (net present value, NPV), можно определить на любом этапе, начиная с момента  $t_{oi}$  и до конца прогнозируемого срока.

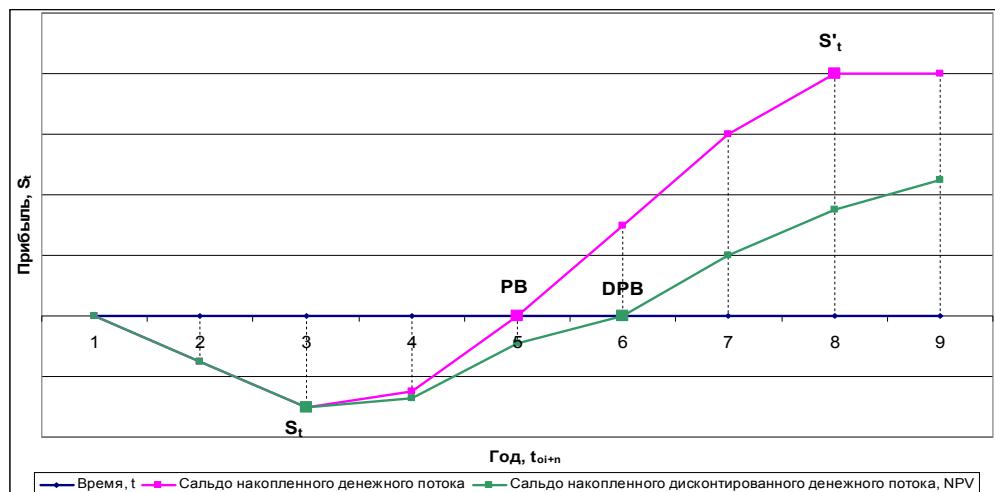


Рисунок 2 – График чистых денежных поступлений от реализации инновационного проекта (по годам)

Таким образом, формула примет следующий вид:

$$NPV_i(\tau) = - \sum_{t=t_{oi}}^{t_{oi}+n_i} \frac{I_t}{(1+r)^{\tau-t}} + \sum_{t=t_{oi}}^T \frac{S_t}{(1+r)^{\tau-t}}. \quad (3)$$

Показатель, обозначенный как  $NPV_i$ , где  $i$  - обозначает номер соответствующего инновационного проекта, а  $\tau$  - момент времени, на который приведены результаты соответствующего оценивания эффективности.

Введенная характеристика определяет влияние модификации инвестиционной программы (характеризующейся  $i$ -м проектом, с уровнем затрат  $I_t$  на интервале  $[t_{oi}, t_{oi}+n]$ ) на величину чистых денежных поступлений, обозначенную как  $S_t$ , начиная с момента  $t_{oi}$  и до конца анализируемого временного горизонта  $n$ .

Таким образом, введенная в рассмотрение характеристика дает оценку как текущих, так и будущих поступлений на любой момент времени  $t \in [t_{oi}, n]$  в результате реализации данного инновационного проекта.

Если же нас интересует оценка уже достигнутого к моменту  $\tau$  финансового результата без учета последующих поступлений, то в этом случае может быть выписана и рассчитана другая модификация введенной характеристики, обозначенная как:

$$\widetilde{NPV}_i(\tau) = - \sum_{t=t_{oi}}^{\tau} \frac{I_t}{(1+r)^{\tau-t}} + \sum_{t=t_{oi}}^{\tau} \frac{S_t}{(1+r)^{\tau-t}}. \quad (4)$$

Указанная оценка может быть полезна при текущем учете влияния данного инвестиционного решения.

Таким образом, введенный показатель  $NPV_i(\tau)$  характеризует приведенную (с уровнем дисконтирования, равным  $r$ ) величину масштаба влияния данного инвестиционного решения на момент времени  $\tau$ .

Рассмотрим другие показатели оценки эффективности инновационного проекта.

Индекс рентабельности инвестиций (PI) с учетом дисконтирования может быть представлен в виде:

$$PI|_{t_{oi}} = \frac{\sum_{t=t_{oi}}^n \frac{S_t}{(1+r)^{t-t_{oi}}}}{\sum_{t=t_{oi}}^{t_{oi}+n_j} \frac{T_t}{(1+r)^{t-t_{oi}}}}. \quad (5)$$

Введенный показатель характеризует (в приведенной форме) результат работы каждой единицы вложенных на интервале  $[t_{oi}, t_{oi} + n]$  средств данного элемента инновационного проекта на последующее развитие событий ( $S_t, t \in [t_{oi}, T]$ ) по сравнению со случаем, когда данное  $i$ -е мероприятие не реализуется.

Если значение  $PI|_{t_{oi}} > 1$ , то на основе общих рекомендаций считается возможным позитивное решение о целесообразности реализации данного проекта.

Однако при стандартном методе инвестиционного оценивания можно определить конечный результат отдачи капиталовложений только на последнем этапе.

Поскольку проблема принятия решения о формировании инвестиционной программы не сводится только к отбору эффективных проектов, а подразумевает целостный охват их роли в обеспечении должных стратегических результатов, необходимо наращивание сис-

темы расчетных показателей, совершенствование методов их использования.

В этой связи представляется весьма целесообразной организация расчетной процедуры вычисления следующей модификации индекса рентабельности, обозначенной как:

$$PI(t) = \frac{\sum_{\tau=t_{oi}}^t \frac{S_\tau}{(1+r)^{1-\tau}}}{I_\tau}, t \in [t_{oi}, n]. \quad (6)$$

На основе данной оценки можно построить временной график отдачи каждой единицы вложенных средств  $I_\tau$  на реализацию данного проекта по времени (рис. 3).

Следовательно, можно определить результативность проекта (отдача на единицу капиталовложений) на любом этапе жизненного цикла проекта. На рис. 3 представлен результат подобного оценивания.

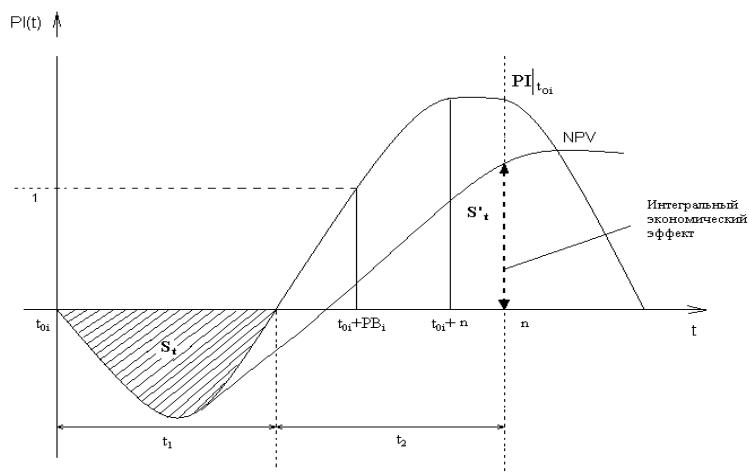


Рисунок 3 – Графическая интерпретация экономической эффективности инновационного проекта

Он характеризует динамику отдачи вложенных средств сначала на интервале  $[t_{oi}, t_{oi}+PB_i]$ , когда приведенные расходы все еще превышают приведенные доходы, а затем и на заключительном интервале  $[t_{oi}+PB_i, T]$ , когда и обеспечивается планируемый финансовый эффект от реализации данного инвестиционного решения.

Таким образом, во-первых, наглядно демонстрируется соответствующая времененная зависимость, во-вторых, определяется дисконтированное время окупаемости данного инвестиционного предложения и, наконец, в-третьих, появляется возможность сопоставления разновременных инвестиционных предложений и выбора наиболее эффективных из них с точки зрения преследуемой цели финансово-экономического анализа.

На рис. 3 на основе значения  $n_i$  обозначен момент времени  $t_{oi}+n_i$ , когда осуществляется выход достигнутых финансовых результатов на запланированный уровень  $PI|_{t_{oi}}$  в соответствии с расчетной формулой (6).

Целостная система показателей, позволяющая оценить результат реализации данного инвестиционного предложения, выражена в терминах масштаба проекта, удельной отдачи вложенного капитала  $PI_i(t)$ , времени самоокупаемости  $PB_i$  и времени достижения за-

планированных результатов инвестирования  $T_i$ , а также объема капитальных затрат с учетом их распределения по времени  $I_t$ .

Расчет всех приведенных выше показателей осуществляется с учетом дисконтирования. Если требуются их значения без учета дисконтирования, то соответствующее значение показателя дисконтирования  $r$  полагается равным нулю.

Приведенные расчетные формулы позволяют более полно анализировать каждый отдельно взятый проект, последовательно улучшать любую конкретную инвестиционную программу, если для этого имеются какие-либо управлочные (инвестиционные) возможности.

Дальнейшее развитие представленного подхода позволяет модифицировать и уточнять стратегическую составляющую финансово-экономического оценивания на корпоративном уровне.

Однако для полноты проведенного анализа необходимо также рассмотреть еще один аспект оценивания - эффективность формируемых инвестиционных решений.

Он заключается в оценке темпа доходности вложенного капитала и характеризуется инвестиционным показателем внутренней нормой доходности (Internal rate of return, IRR), который выявляет ту норму дисконта  $r$ , при которой величина приведенных эффектов равна величине приведенных капитальных вложений. Проект эффективен, если IRR равен или больше требуемой инвестором нормы дохода на капитал.

С помощью этого показателя требуется оценить эффективность работы (темпер доходности) вложенного капитала  $I_t$  с точки зрения изменения динамики поступлений текущих доходов  $S_t$ ,  $t \in [t_{oi}, n]$ .

Однако при расчете IRR могут возникнуть как определенные технические сложности, так и ошибочная трактовка полученных результатов. Поэтому следует привести более точные рекомендации по проведению соответствующих вычислений.

Необходимо точно оценить период жизненного цикла  $i$ -го инновационного проекта, обозначенного выше как  $n$ , поскольку неточность в указанном оценивании прямо повлияет на значение расчетного показателя.

Отметим, что если  $i$ -й проект будет эффективно работать и за пределами временного участка  $[t_{oi}+n]$ , то это может привести к снижению расчетного  $IRR_i$  по сравнению с реально достигаемым.

С другой стороны, увеличение  $n$  за пределы реального вклада  $i$ -го инвестиционного решения заведомо (при условии  $IRR > d$ ) приведет к снижению расчетного показателя  $IRR_i$ , что может повлиять на принятие решения о его реализации.

Как известно, значение  $IRR_i$  определяется как корень уравнения:

$$\sum_{t=t_{oi}}^{t_{oi+n_i}} \frac{I_t}{(1+r)^{\tau-t_i}} = \sum_{t=t_{oi}}^{t_{oi+n_i}} \frac{S_t}{(1+r)^{t-t_{oi}}}, \quad (7)$$

причем  $IRR=r$ .

Отметим, что  $IRR_i$  равняется уровню дисконта, при котором время окупаемости инвестиционного проекта совпадает с  $n$ , т. е.  $DPB_i = n_i$ .

Таким образом, внутренняя норма доходности равняется значению коэффициента дисконтирования, при котором капитальные вложения, приведенные на момент начала реализации данного инновационного проекта, равняются приведенному на тот же момент времени будущему финансовому эффекту (дополнительным поступлениям).

Указанная величина в определенном смысле характеризует темп доходности вложен-

ного капитала, поскольку ее расчет в случае депозитного вклада действительно совпадает с его ставкой, однако в специальной литературе показано, что IRR (ВНД) является всего лишь ориентиром сопоставления темпов доходности различных инвестиционных решений, но не характеризует ее достижения в общем случае инвестиционного проектирования [4].

Это же касается и сопоставления эффективности использования заемного капитала для реализации данного инвестиционного решения. Если плата за капитал (проценты) ниже вычисленного значения IRR, это в общем случае не гарантирует эффективной (прибыльной) работы вложенного капитала, что, в частности, декларируется и в методических рекомендациях [2].

Однако, несмотря на приведенные недостатки, показатель IRR активно используется в инвестиционном анализе как приближенная оценка темпа доходности капитала, позволяющая, во-первых, сопоставлять разные инвестиционные предложения (ранжировать их по темпу доходности), во-вторых, формировать структуру «задействования» располагаемых объектов «свободного» капитала и, наконец, определять целесообразность привлечения заемных финансовых средств на основе сопоставления их стоимости с расчетными данными.

Показатель – срок окупаемости инновационного проекта PBi (payback period), характеризующий период возмещения вложенных средств, изображен на рис. 2 с учетом дисконтирования.

Таким образом, мы выделили четыре базовых показателя инвестиционного оценивания: чистую приведенную стоимость (NPV), характеризующую масштаб оцениваемой инвестиционной деятельности; индекс доходности (PI), характеризующий отдачу на единицу капиталовложений, в том числе и в ходе реализации соответствующей инвестиционной деятельности ( $PI_i(t)$ ); показатель, характеризующий темп доходности вложенного капитала IRR, а также показатель срока окупаемости инновационного проекта (PBi), характеризующий период возмещения вложенных средств.

На основе их совместного применения можно достаточно полно проанализировать экономическую эффективность инновационного проекта.

Объем необходимых капитальных вложений, приведенных к моменту начала реализации данного инновационного проекта, представлен как:

$$I_{io} = \sum_{t=t_{oi}}^{t_{oi}+n_i} \frac{I_t}{(1+r)^{t-t_{oi}}}, \quad (8)$$

то соответствующее значение может быть рассчитано и на основе описанных выше показателей эффективности, так как:

$$PI_i = \frac{NPV}{I_o} + 1. \quad (9)$$

Таким образом, к моменту времени выполнения проекта  $t_{oi}+n_i$  выполняется достижение заданного уровня инвестиционного эффекта, т.е.  $NPV_i$ ,  $PI_i$ , и  $IRR_i$ .

Таким образом, приведенный выше алгоритм оценки инновационного проекта позволяет совершенствовать существующие процедуры анализа проекта, как для коммерческих, так и стратегически обусловленных целей.

1. Валдайцев С.В. Управление исследованиями, разработками и инновационными проектами /С.В. Валдайцев, О.В. Мотовилов. - СПб.: Экономика, 2004. -С. 68-74.
2. Шелобаев С.И. Математические методы и модели в экономике, финансах, бизнесе: Учеб. пособие для вузов. - М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2001. - 367 с.
3. Фатхутдинов Р.А. Разработка управленческого решения: Учебник для вузов. -2-е изд., доп. - М.: Бизнес-школа «Интел-Синтез», 1998. - 272 с.
4. Беренс В. Руководство по оценке инвестиционных проектов /В.Беренс, П. Хавранек. - М.: «Инфра», 1995.

Получено 16.09.09

---

УДК 631.552

**Д.К. Абулхаиров**  
ВКГТУ, г. Усть-Каменогорск

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЦ ЭФФЕКТИВНОГО ПРИМЕНЕНИЯ АГРЕГАТОВ НА КОСОВИЦЕ ТРАВ

При исследовании систем критерии их оценки должны описывать по возможности все важнейшие аспекты и цели, при этом число необходимых критериев должно быть минимально. Однако с позиций системного анализа для различных уровней системы может быть поставлено несколько целей.

К критериям оценки эффективности работы машин и машинно-тракторных агрегатов относят расход ГСМ, материалоёмкость, затраты труда, эксплуатационные затраты, капитальные вложения, приведенные затраты и др.

Основная задача производственных процессов заключается в создании благоприятных условий для протекания биологических процессов в развитии растений для повышения их урожайности. Поэтому для наиболее полной оценки необходимо, чтобы критерий экономической эффективности учитывал, помимо упомянутых составляющих, изменение урожайности при применении различных средств механизации. Этому требованию в полной мере отвечает принятый стандартной методикой оценки эффективности сельскохозяйственной техники критерий комплексных затрат [1, 2].

Комплексные затраты на производство работ рассчитываем по формуле:

$$C_k = \sum_s \sum_i \sum_{\varphi} C_{si\varphi} \cdot N_{si\varphi} + \sum_j \alpha_j \cdot B_j \cdot N_j + C_L \varepsilon + (1 + \delta) \sum_j \frac{B_j N_j}{T_j} + \Pi_{si\varphi} \rightarrow \min, \quad (1)$$

где  $C_{si\varphi}$  - затраты на использование  $\varphi$ -агрегата на  $i$ -работе в  $s$ -расчетный период;  $N_{si\varphi}$  - количество  $\varphi$ -агрегатов, используемых на  $i$ -работе в  $s$ -расчетный период;  $\alpha_j$  - коэффициент отчисления на реновацию по  $j$ -машине;  $B_j$  - балансовая цена  $j$ -машины;  $T_j$  - срок службы  $j$ -машины (лет);  $\delta$  - ставка корпоративного подоходного налога,  $\delta = 0,1$ ;  $N_j$  - количество  $j$ - машин, необходимых для выполнения годового объема работ;  $\varepsilon$  - доля рабочего времени на данной работе в общем времени работы механизатора;  $\Pi_{si\varphi}$  - стоимость потерь продукции по технологическим операциям.

$$N_j = \sum_{\max S} \sum_i \sum_{\varphi} K_{i\varphi j} \cdot N_{is\varphi}, \quad (2)$$

где  $K_{ij\varphi}$  - число машин в составе  $\varphi$ -агрегата на  $i$ -работе.

Затраты на использование  $\varphi$ -агрегата за  $s$ -расчетный период  $C_{si\varphi}$  (тенге) определим по формуле:

$$C_{si\varphi} = \left( \sum_j P_j \cdot K_{ij\varphi} + Z_{i\varphi} + \Gamma_{i\varphi} + \Phi_{i\varphi} \right) W_{\varphi si\varphi} \cdot D_s, \quad (3)$$

где  $P_j$  - затраты на ТО, текущий и капитальный ремонт по  $j$ -машине  $\varphi$ -агрегата на  $i$ -работе, тенге/га;  $Z_{i\varphi}$  - затраты на оплату труда на  $i$ -работе по  $\varphi$ -агрегату, тенге/га;  $\Gamma_{i\varphi}$  - затраты на горюче-смазочные материалы  $\varphi$ -агрегата на  $i$ -работе, тенге/га;  $\Phi_{i\varphi}$  - прямые затраты на основные и вспомогательные материалы (удобрения, семена, гербициды и пр.), тенге/га;  $W_{\varphi si\varphi}$  - производительность  $\varphi$ -агрегата на  $i$ -работе, га/ч;

Затраты на трудовые ресурсы, необходимые для выполнения годового объема работ находим по формуле:

$$C_L = N_L L_L \quad (4)$$

где  $N_L$  - количество механизаторов, необходимое для выполнения годового объема работ, чел.;  $L_L$  - затраты на содержание одного человека, тенге/чел.

Расчеты выполняем при следующих условиях:

1) каждая  $i$ -работка выполняется технологически согласованно с другими работами в  $s$ -расчетных периодах в полном объеме:

$$F_j = \sum_{\varphi s} W_{si\varphi} X_{si\varphi} k_{cmsi\varphi}, \quad (5)$$

где  $X_{si\varphi}$  - количество  $\varphi$ -агрегатов на выполнение  $i$ -работы в  $s$ -период;

2) число машин на выполнение годового объема по заготовке сена определяется по напряженному  $s$ -периоду:

$$X_j \geq \sum_i \sum_{\varphi} k_{ij\varphi} X_{si\varphi}, \quad (6)$$

где  $k = 1, 2 \dots k$ ;

3) потребность в механизаторах определяется по напряженному расчетному периоду одновременно работающих механизаторов:

$$N_L = \sum_i \sum_{\varphi} L_{si\varphi} \cdot k_{cmsi\varphi} \cdot X_{si\varphi}, \quad (7)$$

где  $L_{si\varphi}$  - число персонала, обслуживающего  $\varphi$ -агрегат в  $s$ -период на  $i$ -работе;

4) неотрицательность и целочисленность переменных:

$$X_{i\varphi s}, X_j, X_L \geq 0, \text{ целые} \quad (8)$$

$i=1 \dots n; \varphi=1 \dots n; s=1 \dots n.$

Анализ затрат применяемых технологий заготовки рассыпного и прессованного сена показывает, что они находятся на одном уровне. Вместе с тем расчеты показывают, что при расстоянии перевозки сена больше 35 км затраты на перевозку рассыпного будут выше, чем прессованного. Однако производительность машин на подборе прессованного сена существенно ниже, чем рассыпного. В связи с этим технология заготовки прессованного сена может быть рекомендована при расстоянии перевозки более 35 км.

Расчеты, выполненные по формулам 1 – 8, позволили определить границы эффективного использования агрегатов на косовице трав (рис. 1). Из рисунка 1 видно, что применение прицепных косилок в агрегате с тракторами МТЗ-80 экономически оправдано при урожайности трав ниже 16 ц/га. При урожайности выше 16 ц/га более эффективны агрегаты с прицепными валковыми жатками ЖВП-9.1. Уборочные агрегаты с навесными жатками на зерноуборочных комбайнах 3-го класса не эффективны на косовице трав в условиях Северного Казахстана при любой урожайности. Это объясняется более высокими затратами на приобретение, обслуживание и ремонт жатвенного агрегата.

Более интенсивное возрастание комплексных затрат агрегата с прицепной жаткой при понижении урожайности объясняется увеличением доли потерь из-за повышенного среза (около 15 см) по сравнению с прицепными косилками (около 5 см).

$C_k$ , тыс.тенге

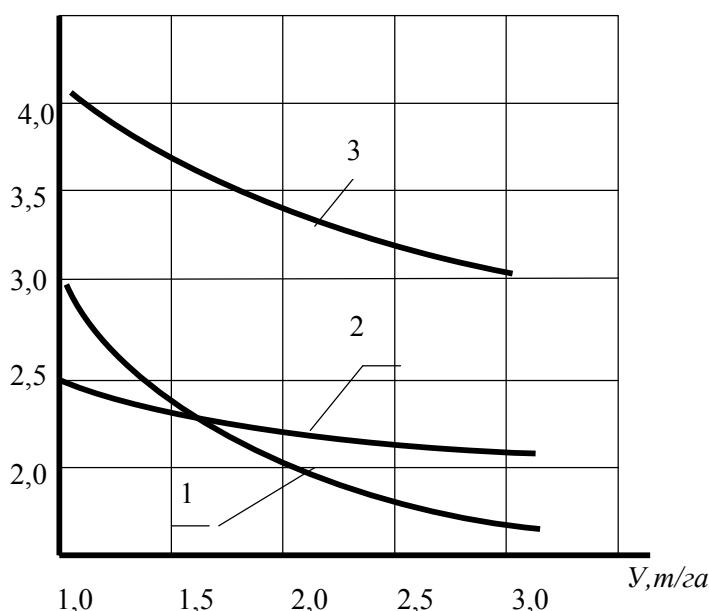


Рисунок 1 - Границы эффективного применения агрегатов на косовице трав:  
 1 – МТЗ-80+ЖВП – 9.1; 2 – МТЗ-80+КП-Ф6, МТЗ-80+ГП-Ф16; 3 – Енисей -1200+ЖВР-10

#### Список литературы

- Сергеев М.П. Методика оценки экономической эффективности использования сельскохозяйственной техники / М.П. Сергеев, В.Д. Саклаков, Г.А. Окунев: Материалы конф. ЦелинНИИМЭСХ. – Кустанай, 1974. – Вып.2.
- Окунев Г.Н. Универсальный комплекс машин для уборки зерновых культур, трав на сено и семена / Г.Н. Окунев, Д.К. Абулхаиров // Тез. докл. НТС МСХ РСФСР. – Челябинск, 1991.

Получено 7.09.09

УДК 637.53

А.Л. Касенов

г. Семей, СГУ

#### МАТЕМАТИЧЕСКАЯ И ФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛИ ТЕПЛО- И МАССООБМЕНА ПРИ КОНВЕКТИВНОЙ СУШКЕ

Математическая модель тепломассообмена, описывающая конвективную сушку, учитывает два одновременно происходящих процесса. Внешний перенос массы, энергии и импульса в окружающую среду определяют уравнения нестационарного гидродинамического, температурного и диффузного пограничного слоя, а также уравнения изменения состояния окружающей среды в сушильной камере при соответствующих начальных и граничных условиях. Внутренний перенос массы и энергии описывается дифференциальными уравнениями нестационарного теплового поля и влажности материала, изменения состояния материала, перемещения высушиваемого материала в объеме аппарата и соответствующими начальными и граничными условиями. Необходимо, однако, отметить, что аналитические и численные методы до сих пор не дают возможности решить эту математическую задачу полностью и поэтому следует перейти к определенным упрощениям с учетом конкретных условий процесса. В настоящее время часто применяют следующие упрощения:

- вместо уравнений пограничного слоя пользуются критериальными соотношениями, которые характеризуют тепло- и массообмен между сушимым материалом и сушильной средой;
- вместо дифференциальных уравнений, которые описывают тепло- и массообмен внутри сушимого материала, применяют также полуэмпирические методы для описания скорости тепломассопереноса на участие ее уменьшения.

Из новейших численных методов, которые используются на ЭВМ, самыми подходящими являются приемы, при которых для описания происходящих явлений исходят из общих уравнений баланса массы, энергии и импульса и их упрощения согласно сформулированной физической модели и характеру процесса. По этому способу создана упрощенная физическая модель конвективной сушки и разработан численный метод, позволяющий быстро и для практики достаточно точно решать проблемы тепломассопереноса самого широкого масштаба (рис. 1). Это способ контакта между двумя фазами является перспективным с точки зрения высокой интенсивности тепломассообмена и используется при различных способах сушки. Расчет процесса сушки основан на балансе массы и энергии отдельного элемента (рис. 1) с соблюдением следующих основных упрощающих предпосылок:

- порозность  $\varepsilon$  - величина постоянная, отдельные частицы материала взаимно неподвижны;
- поток влажного теплового потока через материал одноразмерный направлен по оси Z: в определенном поперечном сечении (перпендикулярно к Z) для теплового потока, текущего в порах (каналах) справедлива интегральная величина скорости, температуры, влажности и давления.

Температура и влажность на поверхности материала считаются одинаковыми с интегральными средними величинами в поперечном сечении материала (перпендикулярно в оси Z).

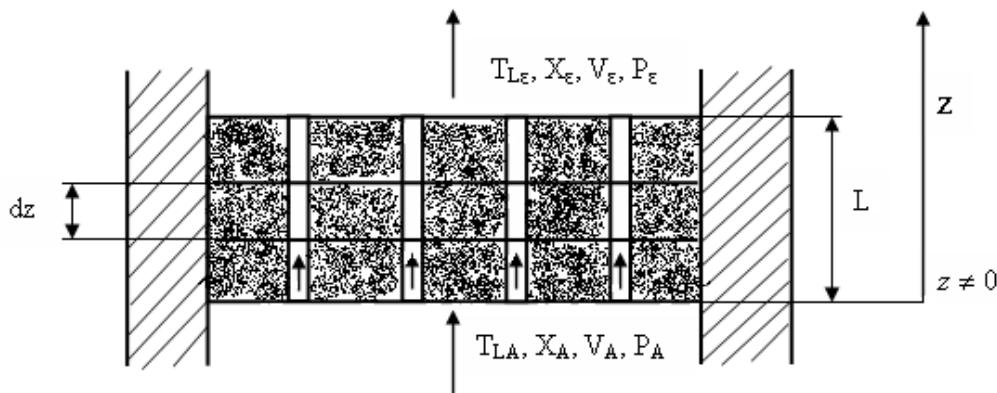


Рисунок 1- Схема процесса

Система балансовых уравнений приводится далее и предназначена для расчета основных переменных величин:

- уравнение скорости сушки

$$\frac{\partial U}{\partial \tau} = -\beta_x \cdot S_M [X_M(T_M) - X] X,$$

где  $S_M$  – удельная поверхность материала,  $\text{м}^2/\text{кг}$ ;  $\beta_x$  – коэффициент массопередачи,  $\text{кг}/\text{с}\cdot\text{м}^2$ ;  $T_M$  – температура материала, К;  $X$  – коэффициент Филоненко;

- баланс влажности

$$\frac{\partial x}{\partial z} = -\frac{[1-\varepsilon]\rho_4}{\varepsilon \cdot \rho_3 \cdot V} \frac{\partial U}{\partial \tau},$$

где  $\varepsilon$  – порозность (доля пустот);  $\rho$  – плотность,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $\tau$  – время, с;  $U$  – удельная влажность материала,  $\text{кг}/\text{кг}$ ;  $V$  – скорость сушильного агента,  $\text{м}/\text{с}$ ;

- давление

$$\frac{\partial P}{\partial z} = -\frac{\xi \cdot \rho_3 V^2 [1-\varepsilon]}{2d_h \cdot \varepsilon},$$

где  $P$  – давление, Па;  $d$  – диаметр, м;

- баланс энталпии материала

$$\frac{\partial T_M}{\partial \tau} = \frac{1}{c_4 + uc_1} \left\{ [\Delta l(T_M) + e(u)] \frac{\partial u}{\partial \tau} + \alpha S_M [T_L - T_M] \right\},$$

где  $c$  – удельная теплоемкость,  $\text{Дж}/\text{кг}\cdot\text{К}$ ;  $e$  – удельная энергия связи,  $\text{Дж}/\text{кг}\cdot\text{К}$ ;  $l$  – удельная теплота превращения  $\text{Дж}/\text{кг}$ ;  $\alpha$  – коэффициент теплопроводности,  $\text{Вт}/\text{м}^2\cdot\text{К}$ ;  $T_L$  – температура газа, К;

- общий баланс энталпии

$$\frac{\partial T_L}{\partial \tau} = -\frac{[1-\varepsilon]\rho_4}{\varepsilon \cdot \rho_3 \cdot V} \left\{ \frac{c_4 + uc_1}{c_3 + xc_2} \cdot \frac{\partial T_L}{\partial \tau} - \frac{\bar{c}_1 [T_M - 273] - e(u)}{c_3 + xc_2} \cdot \frac{\partial U}{\partial \tau} \right\} - \frac{\bar{c}_2 [T_L - 273] - \Delta l_0}{c_3 + xc_2} \cdot \frac{\partial x}{\partial z}.$$

Изменение скорости теплового потока можно определить непосредственно по интегральному уравнению неразрывности  $Y = \frac{Y_A P_{3A}}{P_3}$ . Интегрирование уравнений в конкретном случае проводилось по методу сеток с погонным шагом  $\Delta Z$  и временным шагом

$\Delta\tau$  со взаимодействиями в каждом шаге при соблюдении зависимостей изменения физико-химических свойств от переменных величин.

С учетом практических требований указанный метод вычисления применяется к различным способам сушки: сушке влажного материала в кипящих слоях вихревого потока теплоносителя, конвективной обдувкой. Все указанные способы по физической структуре процесса соответствуют модели, приведенной на рисунке 1. В качестве примера приведены некоторые результаты, полученные при сушке сырья коллоидно-капиллярного пористого материала в вихревом потоке. В рассматриваемой схеме предполагается турбулентное перемещение частиц материала. В результате средние значения температуры и влажности материала, определяемые в данный момент в объеме аппарата, зависят только от времени. Досушка продуктов значительно сокращает время, необходимое для требуемого перемешивания продукта, причем рассчитанное время не является прямо пропорциональным толщине слоя в рассматриваемом диапазоне. Полученные зависимости можно использовать для вычисления определяющих размеров и эксплуатационных параметров соответствующих установок.

Список литературы

1. Лыков А.В. Теория сушки. – М.: Энергия, 1968. – 470 с.
2. Гинзбург А.С. Основы теории и техники сушки пищевых продуктов. – М.: Пищевая промышленность, 1973. – 596 с.

Получено 28.08.09

---

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

**А. П. Парамзин, С.Ж. Рахметуллина**  
ВКГТУ, г. Усть-Каменогорск

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАГРУЗКИ НА ДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДВУХКАНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ**

Структурная схема исследуемой автоматической двухканальной системы представлена на рис. 1.

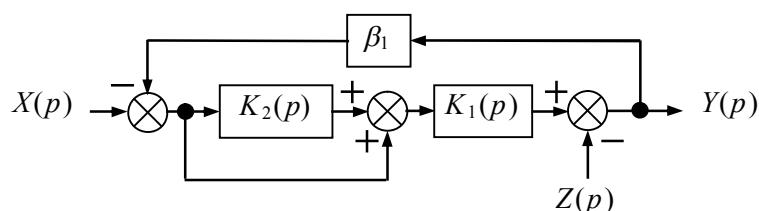


Рисунок 1 - Структура автоматической двухканальной системы:  $X(p)$  – входное (управляющее) воздействие;  $Z(p)$  – приведённая к выходу системы нагрузка;  $Y(p)$  – выходная (регулируемая) переменная;  $K_1(p)$  – передаточная функция основного канала;  $K_2(p)$  – передаточная функция дополнительного канала;  $\beta_1$  – безынерционный делитель (обратная связь),  $p$  – оператор Лапласа.

Система с такой структурой, названная автором обобщённой, по своим свойствам адекватна системам с обратной связью, имеющим структуру, изображенную на рисунке 1.

кватна целому классу систем аддитивной коррекции мультиплексивной погрешности по входу. Это доказано, в частности, в работах [1, 2]. Доминирующим критерием синтеза систем со структурой (рис.1) является максимизация глубины обратной связи в заданном диапазоне частот при максимальном использовании аппаратных затрат с целью повышения точности и быстродействия систем, а также минимизации частотных, фазовых искажений и чувствительности к помехам. Другим показателям качества, в частности, переходному процессу, отводилась второстепенная роль.

Только в одной из последних работ [3] автор предпринял первую попытку исследовать прямые показатели качества. В ней исследована реакция системы (рис. 1) на единичное ступенчатое управляющее воздействие  $\{x(t) = 1(t), t \geq 0\}$  при постоянной нагрузке (конкретно  $z(t) = 0$ ).

*Примечание:*  $\div$  для обозначения изображений переменных используются прописные буквы, а для обозначения оригиналов переменных – строчные.

В данной работе исследуется реакция системы на ступенчатое изменение приведенной к выходу нагрузки, то есть  $z(t) = 1(t)$  при  $t \geq 0$ .

Запишем передаточные функции системы (рис. 1) по управлению

$$W_{Y/X}(p) = \frac{K_1(p)[K_2(p)+1]}{1 + \beta_1 K_1(p)[K_2(p)+1]} \quad (1)$$

и нагрузке

$$W_{Y/Z}(p) = -\frac{1}{1 + \beta_1 K_1(p)[K_2(p)+1]}. \quad (2)$$

Согласно рекомендациям методики синтеза обобщённой структуры примем:

$$K_1(p) = \frac{K_{10}}{(\tau p + 1)(\tau_3 p + 1)}; \quad K_2(p) = \frac{K_{20}}{(\tau_1 p + 1)(\tau_2 p + 1)}, \quad (3)$$

где  $\tau, \tau_1, \tau_2, \tau_3$  – постоянные времени;

$K_{10}$  и  $K_{20}$  – статические коэффициенты передачи (усиления),

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

$$K_1(p) = \frac{K_{10}}{(\tau p + 1)(n_3 \tau p + 1)}; \quad K_2(p) = \frac{K_{20}}{(n_1 \tau p + 1)(n_2 \tau p + 1)}. \quad (4)$$

Считаем, что до момента скачкообразного изменения нагрузки регулируемая величина имела установившееся значение  $Y_0$ , которое в соответствии с теоремой о конечном значении оригинала и с учётом (1) и (4) равно

$$Y_0 = \frac{K_1(0)[K_2(0)+1]}{1 + \beta_1 K_1(0)[K_2(0)+1]}; \quad X_0 = \frac{K_{10}(K_{20}+1)}{1 + \beta_1 K_{10}(K_{20}+1)} X_0. \quad (5)$$

Зададим произвольно значение передаточной функции (1) в статическом режиме  $W_{Y/X}(0) = 10$  (что никоим образом не исказит результаты дальнейших исследований) и при  $\{x(t) = 1(t), t \geq 0\}$ , и соответствующей настройке цепи отрицательной обратной связи обеспечим в установившемся режиме до момента приложения скачка нагрузки

$$Y_0 = W_{Y/X}(0)X_0 = 10 \cdot 1 = 10, \quad (6)$$

тогда изображение регулируемой величины относительно нагрузки примет вид

$$Y(p) = Y_0 - \frac{1}{1 + \beta_1 K_1(p)[K_2(p)+1]} Z(p). \quad (7)$$

Изменение начального значения  $y(t)$  в момент приложения скачка нагрузки  $\{z(t) = 1(t), t \geq 0\}$  (при нулевых начальных условиях) в соответствии с теоремой о начальном значении оригинала будет равно

$$\Delta y(0) = -z(0) = -1. \quad (8)$$

Конечное установившееся значение  $y(t)$  после переходного процесса при наличии нагрузки будет

$$y(\infty) = 10 - \frac{1}{1 + \beta_1 K_{10} (K_{20} + 1)}. \quad (9)$$

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

– перерегулирование  $\{\sigma = (y_{\max} - y_{\text{уст}})/y_{\text{уст}}\}$  – характеризует степень удаления системы от границы устойчивости,

где  $y_{\max}$  – максимальное значение переходной функции;

$y_{\text{уст}}$  – установившееся значение переходной функции;

– колебательность – допустимое число колебаний переходной функции относительно установленного 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  $|y(t) - y_{\text{уст}}| \leq \Delta$ , где  $\Delta = 0,05 y_{\text{уст}}$ .

Переход во временную область осуществим заменой оператора Лапласа оператором дифференцирования, то есть  $p = d/dt$ . Тогда дифференциальное уравнение системы при нулевых начальных условиях с коэффициентами, выражения которых приведены в таблице 1, примет вид:

$$\begin{aligned} y(t) & \left[ C_4 \frac{d^4}{dt^4} + C_3 \frac{d^3}{dt^3} + C_2 \frac{d^2}{dt^2} + C_1 \frac{d}{dt} + C_0 \right] = \\ & = z(t) \left[ D_4 \frac{d^4}{dt^4} + D_3 \frac{d^3}{dt^3} + D_2 \frac{d^2}{dt^2} + D_1 \frac{d}{dt} + D_0 \right]. \end{aligned} \quad (10)$$

Таблица 1  
Коэффициенты дифференциального уравнения системы

Коэффициенты левой части уравнения (10)	Коэффициенты правой части уравнения (10)
$C_4 = n_1 n_2 n_3 \tau^4;$	$D_4 = n_1 n_2 n_3 \tau^4;$
$C_3 = (n_1 n_2 n_3 + n_1 n_2 + n_1 n_3 + n_2 n_3) \tau^3;$	$D_3 = (n_1 n_2 n_3 + n_1 n_2 + n_1 n_3 + n_2 n_3) \tau^3;$
$C_2 = [n_1 n_2 (1 + \beta_1 K_{10}) + n_1 n_3 + n_2 n_3 + n_1 + n_2 + n_3] \tau^2;$	$D_2 = (n_1 n_2 + n_1 n_3 + n_2 n_3 + n_1 + n_2 + n_3) \tau^2;$
$C_1 = [(n_1 + n_2)(1 + \beta_1 K_{10}) + n_3 + 1] \tau;$	$D_1 = (n_1 + n_2 + n_3 + 1) \tau;$
$C_0 = [(1 + \beta_1 K_{10}) + \beta_1 K_{10} K_{20}]$ ;	$D_0 = 1.$

Далее считаем, что соотношение  $\beta_1 K_{10} / K_{20} = \text{const}$ , причём количественные значения  $\beta_1 K_{10}$  и  $K_{20}$  определяются по критерию устойчивости с учётом обеспечения необходимых запасов устойчивости по модулю и фазе [1].

Уравнение (10) – дифференциальное уравнение 4-го порядка относительно искомых функций  $y(t)$ . С учетом начального условия по времени рассматривается задача Коши:

$$\begin{cases} y(t) \left[ C_4 \frac{d^4}{dt^4} + C_3 \frac{d^3}{dt^3} + C_2 \frac{d^2}{dt^2} + C_1 \frac{d}{dt} + C_0 \right] = \\ = z(t) \left[ D_4 \frac{d^4}{dt^4} + D_3 \frac{d^3}{dt^3} + D_2 \frac{d^2}{dt^2} + D_1 \frac{d}{dt} + D_0 \right], \\ y(t) = 0. \end{cases} \quad (11)$$

Для численного решения задачи (11) введем сетку по времени с шагом  $\Delta t$ . Перейдем от непрерывных функций к их дискретным аналогам:

$$\begin{cases} C_4^i \frac{\partial^4 Y_i}{\partial t^4} + C_3^i \frac{\partial^3 Y_i}{\partial t^3} + C_2^i \frac{\partial^2 Y_i}{\partial t^2} + C_1^i \frac{\partial Y_i}{\partial t} + C_0^i Y_i = \\ = D_4^i \frac{\partial^4 z_i}{\partial t^4} + D_3^i \frac{\partial^3 z_i}{\partial t^3} + D_2^i \frac{\partial^2 z_i}{\partial t^2} + D_1^i \frac{\partial z_i}{\partial t} + D_0^i z_i, \\ Z_i(0) = 0. \end{cases} \quad (12)$$

Введем следующие обозначения:

$$Y_i = Y_i^0, \frac{\partial Y_i}{\partial t} = Y_i^1, \frac{\partial^2 Y_i}{\partial t^2} = Y_i^2, \frac{\partial^3 Y_i}{\partial t^3} = Y_i^3.$$

Дифференциальное уравнение четвертого порядка системы (12) сводится к системе дифференциальных уравнений первого порядка:

$$\begin{cases} \frac{\partial Y_i^0}{\partial t} = Y_i^1; \\ \frac{\partial Y_i^1}{\partial t} = Y_i^2; \\ \frac{\partial Y_i^2}{\partial t} = Y_i^3; \\ \frac{\partial Y_i^3}{\partial t} = \frac{1}{B_4^i} (-C_3^i Y_i^3 - C_2^i Y_i^2 - C_1^i Y_i^1 - C_0^i Y_i^0 + D_4^i \frac{\partial^4 z_i}{\partial t^4} + \\ + D_3^i \frac{\partial^3 z_i}{\partial t^3} + D_2^i \frac{\partial^2 z_i}{\partial t^2} + D_1^i \frac{\partial z_i}{\partial t} + D_0^i z_i). \end{cases} \quad (13)$$

Последовательно решается задача Коши относительно  $Y_i^3$ , затем относительно  $Y_i^2$  и так далее.

На заданной сетке задача Коши решена численным методом Рунге-Кутта четвертого порядка.

Если за верхнюю границу диапазона рабочих частот каналов условно принять  $f_0 = 1$  Гц ( $\omega_0 = 2\pi f_0 \approx 6,283$  рад/с) [3]; статические коэффициенты усиления задать  $\beta_1 K_{10} = 100$ ,  $K_{20} = 10$ , тогда переходная функция системы при условии  $Y(0) / X(0) = 10$  будет иметь вид рис. 2, при этом  $y(t) = h(t)$ .

Как было отмечено в формуле (8) в соответствии с теоремой о начальном значении оригинала в момент  $t = 0$  выходная величина скачком изменяется на минус единицу, то есть  $h(0) = 10 - 1 = 9$ . Характер переходного процесса – колебательный. Сравним его с переходным процессом системы при скачкообразном изменении управляющего воздействия  $\{x(t) = 1(t), t \geq 1\}$ , представленным на рис. 3 [3].

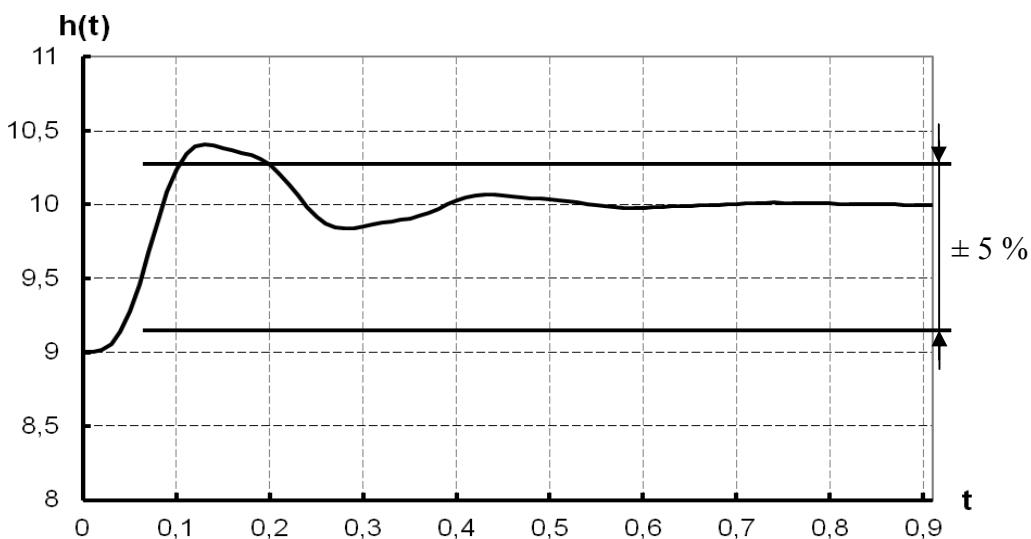


Рисунок 2 - Переходная функция системы (рис. 1) при условии:  $f_0 = 1$  Гц,  $\beta_1 K_{10} = 100$ ,  $K_{20} = 10$ ,  $Y(0) / X(0) = 10$ ,  $X_0 = 1$ ,  $\{z(t) = 1(t), t \geq 0\}$

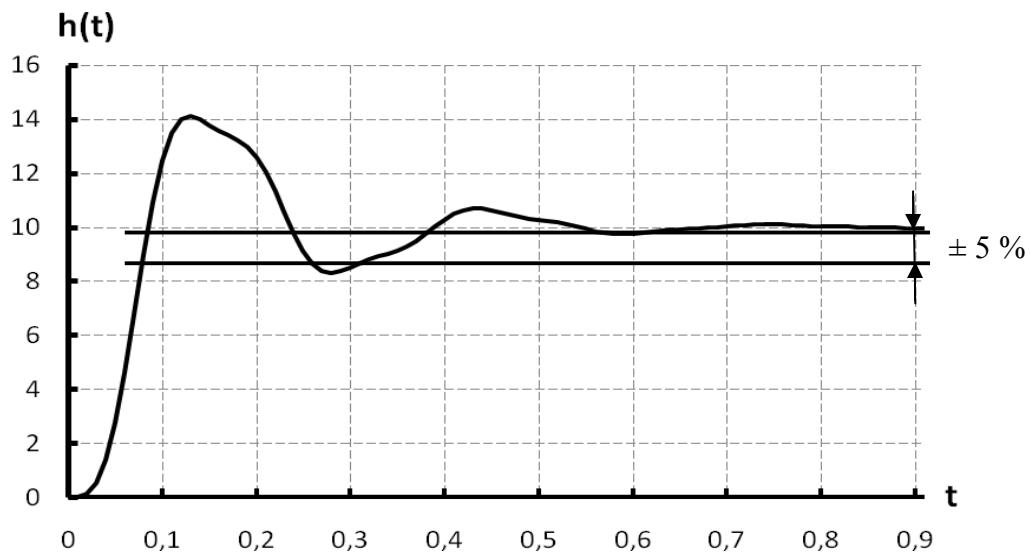


Рисунок 3 - Переходная функция системы (рис. 1) при условии:  $f_0 = 1$  Гц,  $\beta_1 K_{10} = 100$ ,  $K_{20} = 10$ ,  $Y(0) / X(0) = 10$ ,  $\{x(t) = 1(t), t \geq 0\}$ ,  $z(t) = 0$

Таблица 2  
*Сравнительные характеристики обоих переходных процессов*

№ рисунка	$\sigma, \%$	Колебательность	$t_p, \text{с}$	$t_{\text{пп}}, \text{с}$
Рис. 2	4	Примерно 1	Примерно 0,085	Примерно 0,085
Рис. 3	40	Примерно 3	Примерно 0,085	Примерно 0,47

Если рассмотреть режим, когда управляющее воздействие отсутствует, то есть  $x(t) = 0$ , то при прочих равных условиях переходная функция системы по возмущающему воздействию будет иметь вид (рис. 4):

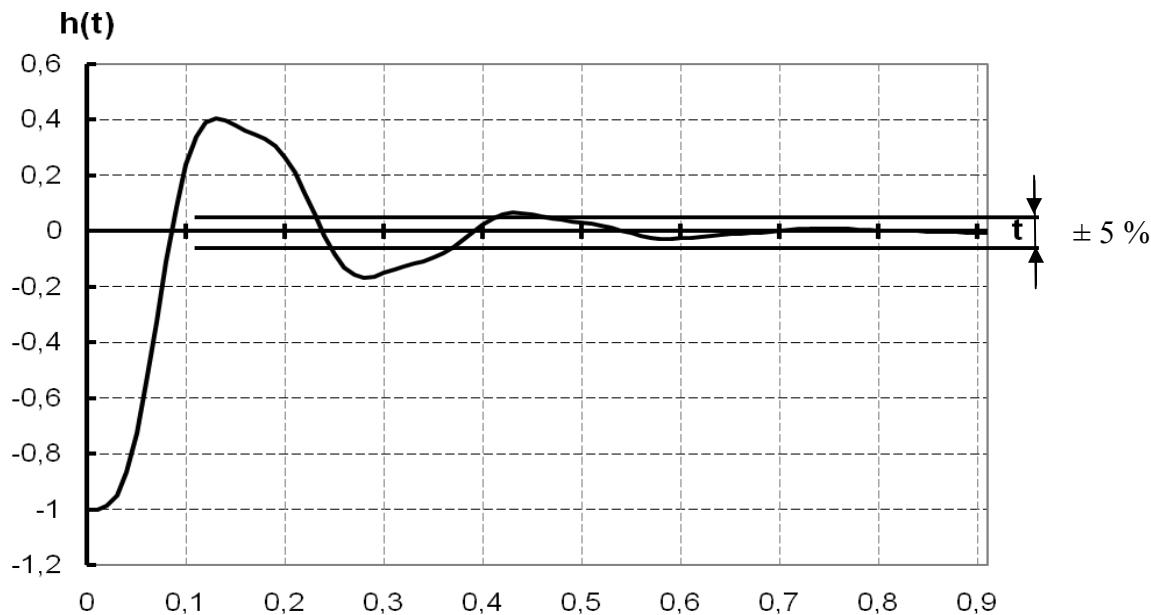


Рисунок 4 - Переходная функция системы (рис. 1) при условии:  $f_0 = 1$  Гц,  $\beta_1 K_{10} = 100$ ,  $K_{20} = 10$ ,  $Y(0) / X(0) = 10$ ,  $X_0 = 0$ ,  $\{z(t) = 1(t), t \geq 0\}$

Идентичность переходных функций (рис. 3 и 4) очевидна, что является следствием идентичности характеристических уравнений передаточных функций системы по управляющему и возмущающему воздействиям. Особенности переходной характеристики (рис. 2) обусловлены наложением двух процессов, вызванных совместным влиянием обоих входных воздействий.

Таким образом, результаты исследования позволяют сделать вывод, что при больших значениях выходной величины в условиях умеренных колебаний нагрузки вызываемый ими переходный процесс в системе (рис. 1) обеспечивает «мягкий» переход системы из одного режима работы в другой. При значениях выходной величины, сопоставимых с величиной колебаний, нагрузки параметры переходных процессов по нагрузке и по управляющему воздействию примерно сопоставимы.

Список литературы

1. 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: ВКГТУ, 1998.
2. 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: ВКГТУ, 2008. - С. 145-151.
3. Парамзин А.П. Исследование переходных процессов в автоматической системе с активным корректором // Вестник ВКГТУ. - 2009. - № 2. - Усть-Каменогорск: ВКГТУ, 2009.

Получено 07.09.09

---

УДК 532

**С.Ж. Рахметуллина, Е.М. Турганбаев, А. Куанышева**  
ВКГТУ, г. Усть-Каменогорск

**ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПРИМЕСИ С УЧЕТОМ ФОТОХИМИЧЕСКИХ ПРЕВРАЩЕНИЙ**

Усиление технического воздействия на природную среду породило ряд связанных с этим проблем, наиболее острая из которых - состояние атмосферного воздуха. Благодаря возросшим возможностям компьютерной техники в настоящее время рациональным и распространенным методом является численное моделирование динамики выбросов [1-3].

Исследованию динамики распространения примесей в г. Усть-Каменогорске посвящены работы [4-6]. В работе [4] рассмотрена модель распространения примесей от точечных источников, учитывалась фотохимическая трансформация примесей, для расчета концентрации были использованы формулы, основанные на эмпирических данных. В работах [5, 6] рассмотрены модели распространения примесей от линейных источников без учета фотохимической кинетики.

Данная статья посвящена рассмотрению задачи распространения примесей от точечных источников с учетом фотохимической трансформации. Математическая модель включает в себя уравнение распространения примесей с учетом диффузии и уравнения кинетики первого порядка.

В математических моделях, предназначенных для решения задач охраны окружающей среды, одним из важных блоков является блок описания трансформации примесей.

Атмосферные примеси представляют собой многокомпонентную среду, в которой различные вещества взаимодействуют с атмосферой и между собой. В зависимости от конкретной физической задачи и преследуемых в ней целей можно использовать описание превращений веществ с различной степенью детализации.

Локальные преобразования примесей и влияние источников можно представить следующим образом:

$$\frac{d\varphi}{dt} = B\varphi. \quad (1)$$

Описание модели трансформации примесей и схему ее реализации можно рассмотреть как этап расщепления. Пусть имеется  $n$  газовых компонентов примесей с концентрациями

$c_i = c_i(x, t)$ ,  $x = (x, y, z)$ ,  $i = \overline{1, n}$ . Обозначим через  $c = \{c_i\}$ ,  $i = \overline{1, n}$  вектор, составленный из значений этих концентраций. В рамках общей схемы расщепления процесс трансформации реализуется на интервале времени  $[t_j, t_{j+1}]$  длиной  $\Delta t$  и оператор трансформации  $B$  имеет матричную структуру. Он определяет скорости изменения концентраций примесей вследствие трансформации.

Таким образом, в данной работе рассматривается следующая модель:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} + \frac{\partial u \varphi}{\partial x} + \frac{\partial v \varphi}{\partial y} - \mu \Delta \varphi = f, \quad (2)$$

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} = B \varphi. \quad (3)$$

Начальные данные:

$$\varphi = \varphi_0 \text{ при } t = 0. \quad (4)$$

Границные условия следующие:

$$\varphi = \varphi_S \text{ на } \Sigma, \quad (5)$$

где уравнение (3) с соответствующими начальными и граничными условиями описывают распространение примеси с учетом диффузии.

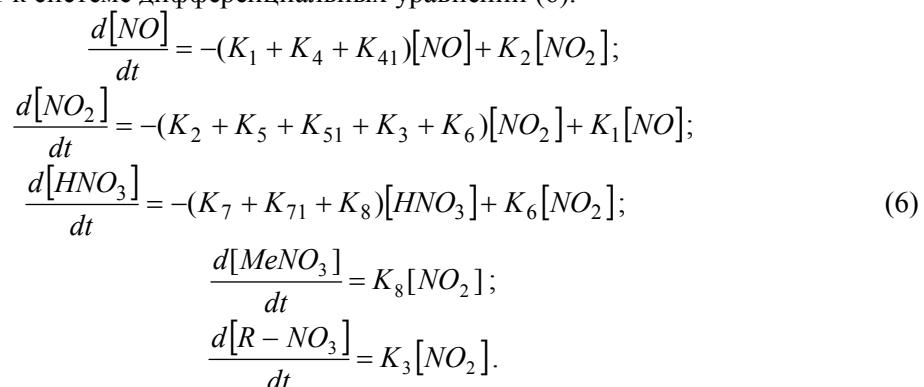
Такое представление модели переноса примесей значительно упрощает ее реализацию на ЭВМ. На первом этапе уравнения переноса решаются для каждой субстанции независимо от других, а на втором осуществляются взаимная адаптация и взаимодействие всех субстанций [2].

*Реакции photoхимического смога.* Важнейшей экологической проблемой является образование ситуаций типа photoхимического смога – явление, возникающее в результате действия солнечного света на воздух, загрязненный выбросами углеводородов, оксидов азота при неблагоприятных метеорологических условиях.

Для крупных городов и районов Казахстана наиболее распространенными химическими загрязнителями являются сернистый газ (сернистый ангидрид) и окислы азота [4, 9].

Для азот- и серосодержащих загрязняющих веществ рассмотрены две схемы превращений на рисунках 1 и 2, где  $K_i$ ,  $i = 1, 2, \dots$  – константы скоростей соответствующих реакций [4].

Каждая стадия в схеме химических превращений описывается кинетикой первого порядка и приводит к системе дифференциальных уравнений (6).



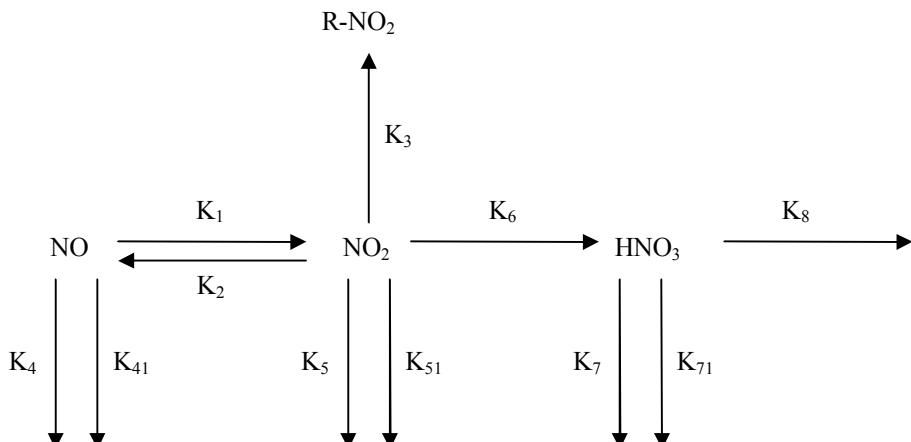


Рисунок 1 – Схема превращения для азотсодержащих соединений

В схеме превращений на рисунке 2 каждая стадия, так же как и в случае азотсодержащих соединений, описывается кинетикой первого порядка [7, 8]:

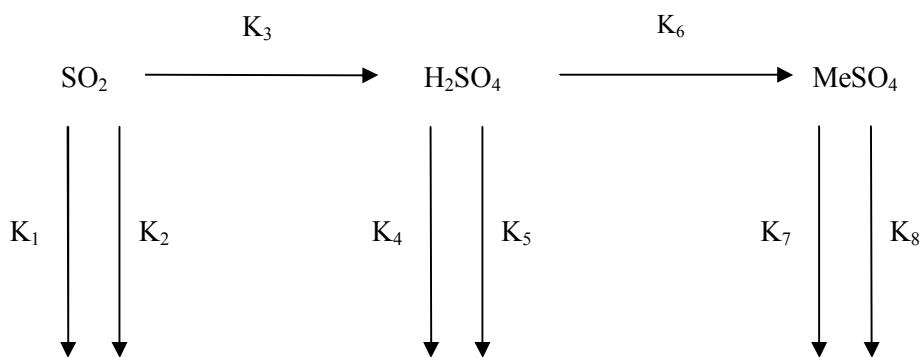


Рисунок 2 – Схема превращения для серосодержащих соединений

$$\begin{aligned} \frac{d[SO_2]}{dt} &= -(K_1 + K_2 + K_3)[SO_2]; \\ \frac{d[H_2SO_4]}{dt} &= -(K_4 + K_5 + K_6)[H_2SO_4] + K_3[SO_2]; \\ \frac{d[MeSO_4]}{dt} &= -(K_7 + K_8)[MeSO_4] + K_6[H_2SO_4], \end{aligned} \quad (7)$$

где квадратными скобками обозначены концентрации соответствующих соединений. Порядок реакции – понятие формальное, поскольку в большинстве случаев не отражает механизма реакции. Однако, зная порядок, можно судить о соответствии ему предполагаемого механизма процесса. В реакциях первого порядка скорость прямо пропорциональна концентрации [8].

*Численная аппроксимация.* Уравнение (3) решается с помощью покомпонентного расщепления, суть которого состоит в следующем:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} + (A_1 + A_2)\varphi = f, \quad (8)$$

где

$$A_1\varphi = \frac{\partial u\varphi}{\partial x} - \mu \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2}; \quad (9)$$

$$A_2\varphi = \frac{\partial v\varphi}{\partial y} - \mu \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2}. \quad (10)$$

Рассматривается равномерная сетка по  $x, y$ :  $k=1,..,n, l=1,..,p, x_k-x_{k-1}=y_l-y_{l-1}=h$ . С помощью разностной аппроксимации уравнение (3) приводится к системе обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} + (\Lambda_1 + \Lambda_2)\varphi = f, \quad (11)$$

где  $\Lambda_1, \Lambda_2$  - разностные операторы, соответственно аппроксимирующие  $A_1, A_2$ .

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= \frac{U_{k+1,l}\varphi_{k+1,l} - U_{k-1,l}\varphi_{k-1,l}}{2h} - \mu \frac{\varphi_{k+1,l} - 2\varphi_{k,l} + \varphi_{k-1,l}}{h^2}; \\ \lambda_2 &= \frac{V_{k,l+1}\varphi_{k,l+1} - V_{k,l-1}\varphi_{k,l-1}}{2h} - \mu \frac{\varphi_{k,l+1} - 2\varphi_{k,l} + \varphi_{k,l-1}}{h^2}. \end{aligned} \quad (12)$$

Вблизи граничных точек выражение (11) видоизменяется с учетом граничных соотношений:

$$\varphi_{kl} = \varphi_s \quad при \quad k=0, \quad k=n, \quad l=0, \quad l=p. \quad (13)$$

Операторы  $\Lambda_1, \Lambda_2$  на функциях  $\varphi_{k,l}$ , удовлетворяющих граничным условиям, являются положительно определенными.

После аппроксимации по пространственным переменным необходимо аппроксимировать уравнение по времени с помощью покомпонентного расщепления. Интервал по времени  $\tau$  выбирается достаточно малым, чтобы свести до минимума возможную погрешность расщепления. Именно с этой целью целесообразно на каждом интервале  $t_i \leq t \leq t_{i+1}, \tau = t_{i+1} - t_i$  общую задачу расщеплять покомпонентно, чтобы не были нарушены балансовые соотношения уже на стадии построения разностных аппроксимаций.

Таким образом, эволюционная задача с помощью метода покомпонентного расщепления сводится к последовательному решению ряда задач:

$$\begin{aligned} \frac{\varphi^{j+1/4} - \varphi^j}{\tau} + \Lambda_1 \frac{\varphi^{j+1/4} + \varphi^j}{2} &= \frac{f^{j+1/2}}{4}; \\ \frac{\varphi^{j+1/2} - \varphi^{j+1/4}}{\tau} + \Lambda_2 \frac{\varphi^{j+1/2} + \varphi^{j+1/4}}{2} &= \frac{f^{j+1/2}}{4}; \\ \frac{\varphi^{j+3/4} - \varphi^{j+1/2}}{\tau} + \Lambda_2 \frac{\varphi^{j+3/4} + \varphi^{j+1/2}}{2} &= \frac{f^{j+1/2}}{4}; \\ \frac{\varphi^{j+1} - \varphi^{j+3/4}}{\tau} + \Lambda_1 \frac{\varphi^{j+1} + \varphi^{j+3/4}}{2} &= \frac{f^{j+1/2}}{4}. \end{aligned} \quad (14)$$

После применения операторов  $\Lambda_1, \Lambda_2$  система линейных уравнений решается методом прогонки.

*Численная модель фотохимических реакций.* Из вышеприведенных уравнений рассмотрим уравнения относительно концентраций  $\text{NO}, \text{NO}_2, \text{SO}_2$ . В уравнения (6) и (7)

вводятся следующие обозначения:

$$[NO] = \varphi_1, [NO_2] = \varphi_2, [SO_2] = \varphi_3.$$

Уравнения принимают вид:

- азотсодержащие соединения:

$$\frac{d\varphi_1}{dt} = -(K_1 + K_4 + K_{41}) \cdot \varphi_1 + K_2 \cdot \varphi_2, \quad (15)$$

$$\frac{d\varphi_2}{dt} = -(K_2 + K_5 + K_{51} + K_3 + K_6) \cdot \varphi_2 + K_1 \cdot \varphi_1; \quad (16)$$

- серосодержащие соединения:

$$\frac{d\varphi_3}{dt} = -(K_1 + K_2 + K_3) \cdot \varphi_3. \quad (17)$$

Аппроксимировав дифференциальные уравнения их разностными аналогами на заданной сетке, численную модель рассматриваемых в работе фотохимических реакций можно представить с помощью линейных уравнений:

- для азотсодержащих соединений:

$$\varphi_{1 i,j}^{n+1} = \frac{1}{(1 + \tau(K_1 + K_4 + K_{41}))} \varphi_{1 i,j}^n + \frac{\tau K_2}{(1 + \tau(K_1 + K_4 + K_{41}))} \varphi_2^n; \quad (18)$$

$$\begin{aligned} \varphi_{2 i,j}^{n+1} = & \frac{1}{(1 + \tau(K_2 + K_5 + K_{51} + K_3 + K_6))} \varphi_{2 i,j}^n + \\ & + \frac{\tau K_1}{(1 + \tau(K_2 + K_5 + K_{51} + K_3 + K_6))} \varphi_{1 i,j}^n; \end{aligned} \quad (19)$$

- для серосодержащих соединений:

$$\varphi_{3 i,j}^{n+1} = \frac{1}{(1 + \tau(K_1 + K_2 + K_3))} \varphi_{3 i,j}^n. \quad (20)$$

В таблице приводятся константы скоростей реакций превращений для азотсодержащих и серосодержащих соединений, приведенных на рисунках 1 и 2, соответственно.

Константы скоростей для электронно-возбужденных частиц рассчитаны исходя из известных спектров поглощения этих веществ, интенсивности солнечного света с учетом зенитного угла падения [4].

#### Константы скоростей реакций для азото- и серосодержащих соединений

Процесс	Обозначение	Константа скорости (час <sup>-1</sup> )
Окисление: $NO \rightarrow NO_2$	$K_1$	0,800
Фотолиз: $NO_2 \rightarrow NO$	$K_2$	0,010
Взаимодействие с органикой	$K_3$	0,025
Вымывание $NO$ в почву	$K_4$	0,010
Поглощение $NO$ почвой	$K_{41}$	0,010
Вымывание $NO_2$ в почву	$K_5$	0,010
Поглощение $NO_2$ почвой	$K_{51}$	0,010
Окисление: $NO_2 \rightarrow HNO_3$	$K_6$	0,120

Вымывание $HNO_3$ в почву	$K_7$	0,012
Поглощение $HNO_3$ почвой	$K_{71}$	0,020
Нейтрализация: $HNO_3 \rightarrow MeNO_3$	$K_8$	0,010
Вымывание $SO_2$ в почву	$K_1$	0,01
Поглощение $SO_2$ почвой	$K_2$	0,015
Окисление: $SO_2 \rightarrow H_2SO_4$	$K_3$	0,027
Вымывание $H_2SO_4$ в почву	$K_4$	0,012
Поглощение $H_2SO_4$ почвой	$K_5$	0,005
Нейтрализация: $H_2SO_4 \rightarrow MeSO_4$	$K_6$	0,02
Вымывание $MeSO_4$ в почву	$K_7$	0,015
Поглощение $MeSO_4$ почвой	$K_8$	0,018

По построенному алгоритму создано программное приложение, которое рассчитывает концентрацию рассматриваемых химических соединений с учетом источников этих соединений. Основные источники рассматриваемых соединений для города Усть-Каменогорска: ТЭЦ №1, ТЭЦ №2, Казцинк.

Расчеты проводились на сетке 20x20. Шаг по времени 1, фоновые концентрации  $[NO]=0,06$ ,  $[NO_2]=0,04$ ,  $[SO_2]=0,05$ . Коэффициент диффузии  $MY=250$ ; мощности выбросов АО «Казцинк» окиси азота  $[NO]=0$ , двуокиси азота  $[NO_2]=0$  и сернистого ангидрида  $[SO_2]=1731,42$ . Мощности выбросов ТЭЦ №1 окиси азота  $[NO]=281,7$ , двуокиси азота  $[NO_2]=281,7$  и сернистого ангидрида  $[SO_2]=231,55$ . Мощности выбросов ТЭЦ №2 окиси азота  $[NO]=62,32$ , двуокиси азота  $[NO_2]=62,32$  и сернистого ангидрида  $[SO_2]=66,37$ .

Результаты расчета на примере окиси азота без учета фотохимических превращений и с учетом фотохимических представлений показаны на рис. 3, 4.

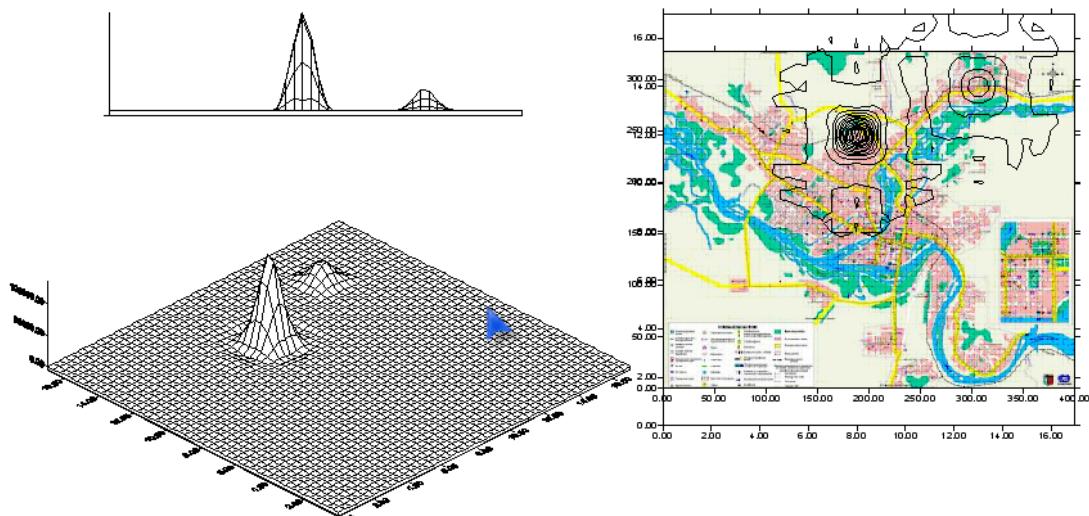


Рисунок 3 – Распространение окиси азота (NO)

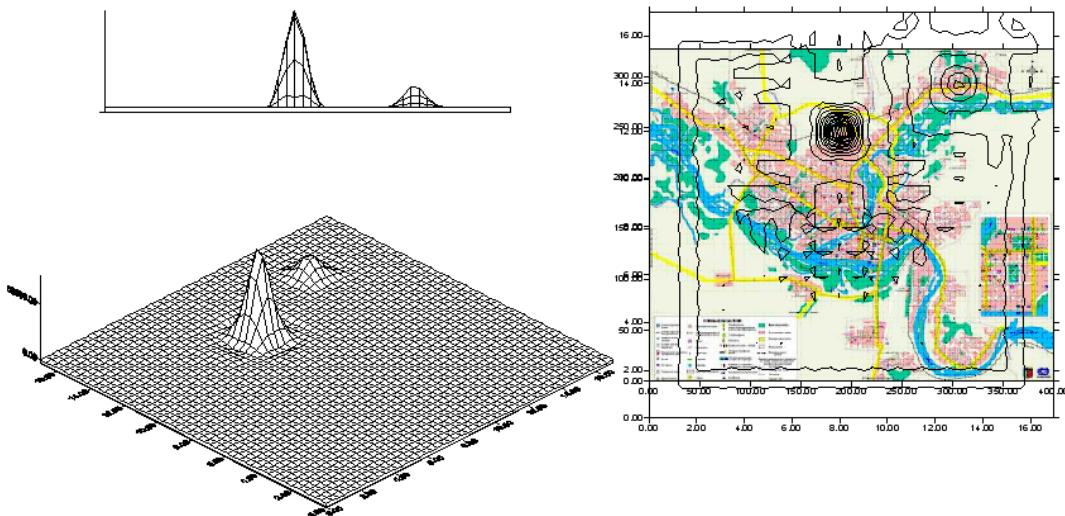


Рисунок 4 – Распространение оксида азота после фотохимических превращений

Таким образом, в данной работе рассмотрена модель распространения примесей с учетом фотохимической трансформации. Математическая модель включает в себя уравнение распространения примесей с учетом диффузии и уравнения кинетики первого порядка. По математической модели построена численная модель. Разработано программное приложение. Получены расчеты концентрации азото- и серосодержащих загрязняющих веществ для г. Усть-Каменогорска. Расчеты проводились на сетке 20x20. Шаг по времени 1, фоновые концентрации  $[NO]=0,06$ ,  $[NO_2]=0,04$ ,  $[SO_2]=0,05$ . Коэффициент диффузии  $MY=250$ . Сравнение распространения концентраций без учета фотохимической трансформации и распространение концентраций тех же веществ с учетом фотохимической трансформации показало, что в результате фотохимических реакций концентрация в целом мало отличается от концентрации, рассчитанной без учета трансформации, но область распространения сравнительно больше.

#### Список литературы

1. Марчук Г.И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. – М.: Наука, 1982. – 320 с.
2. Пененко В.В. Модели и методы для задач охраны окружающей среды /В.В. Пененко, А.Е. Алоян. – Новосибирск: Наука, 1985. – 255 с.
3. Бакирбаев Б. Математическое моделирование процессов изменения климата под влиянием естественных и антропогенных факторов /Б. Бакирбаев, Н.Т. Данаев. – Алматы: Казак Университеты, 2002. – 315 с.
4. Швыряев И.А. Физико-химические превращения в атмосфере и оценка экологического риска от выбросов промышленных объектов: Автореф. дисс. ... канд. хим. наук. – М.: МГУ им. М.В.Ломоносова, 2006. – 26 с.
5. Темирбеков Н.М. Оценка загрязнения окружающей среды от автомобильного транспорта /Н.М. Темирбеков, Ф.Н. Абдолдина //Нефть и газ. – 2005. – №1(25). – Алматы: Фылым, 2005. – С. 69-74.
6. Темирбеков Н.М. Компьютерная технология для оценки экологического состояния воздушного бассейна города, обусловленного транспортным процессом /Н.М. Темирбеков, М.Н. Мадияров, Ф.Н. Абдолдина, Е.А. Малгаждаров //Региональный вестник Востока. – 2004. – №4(24). – Усть-Каменогорск: ВКГУ им. С. Аманжолова, 2004. – С. 3-11.
7. Горшков В.И. Физическая химия /В.И. Горшков, И.А. Кузнецова: Учебник. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1986. – 264 с.
8. Краснов К.С. Физическая химия: В 2 кн. – Кн.2. Электрохимия. Химическая кинетика и катализ: Учебник для вузов / К.С. Краснов, Н.К. Воробьев, И.Н. Годнев и др.; Под ред. К.С.Краснова – 2-е изд., перераб. и доп. – М.:Высшая школа, 1995. – 319 с.
9. Экосфера: Восточно-Казахстанский информационно-аналитический ежегодник. – 2007. –

Усть-Каменогорск, 2007. – 52 с.

Получено 09.09.09

---

УДК 615.471:681.31

**А.А. Савостин**

СКГУ, г. Петропавловск

### ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИММИТАЦИИ БИОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ СЕРДЦА

При диагностике состояния сердечно-сосудистой системы человека ключевую роль играет анализ электрокардиограммы (ЭКГ), которая считается составляющей поверхностных потенциалов, обусловленной биоэлектрической активностью сердца [1].

Параллельно с проблемой диагностики возникает ряд трудностей, решать которые целесообразно без использования реальных электрокардиосигналов (ЭКС), фиксируемых в клинических условиях. В этой связи обоснованно создание эффективных алгоритмов, позволяющих смоделировать биоэлектрическую активность сердца с достаточной степенью точности.

Собственно ЭКС представляет собой последовательность кардиоциклов за определенный промежуток времени. Каждый отдельный кардиоцикл представляется квазидетерминированной функцией сложной формы, последовательные компоненты которой имеют стандартные буквенные обозначения [2].

Пусть известны амплитуды  $a$  и длительности  $l$  морфологических элементов ЭКГ, т. е.  $a = (a_i)$  и  $l = (l_i)$ , где  $i \in \{P\ PQ\ Q\ R\ S\ ST\ T\ TU\ U\}$ . В соответствии с этим сформируем матрицу  $(2 \times n)$ , первая строка которой будет содержать значения длительности морфологических элементов ЭКГ, а вторая – соответствующие им значения амплитуд:

$$E = (\varepsilon_{m,n}) = \begin{bmatrix} l \\ a \end{bmatrix}. \quad (1)$$

Каждый элемент ЭКГ можно описать в виде кусочно-заданной функции:

$$w_i(t) = \begin{cases} 0, & t \in (-\infty; 0); \\ -\frac{\varepsilon_{2,i}}{2} \left( \cos\left(\frac{2\pi}{\varepsilon_{1,i}} t\right) - 1 \right), & t \in [0; \varepsilon_{1,i}]; \\ 0, & t \in (\varepsilon_{1,i}; +\infty). \end{cases} \quad (2)$$

Определим вектор  $d$ , размерностью  $(1 \times n)$ , элементы которого рассчитываются следующим образом:

$$d_i = \sum_{j=1}^{n=i} \varepsilon_{1,j}. \quad (3)$$

Преобразуем вектор  $d$  в вектор  $d'$ :

$$d' = [0, d_1, \dots, d_{n-1}]. \quad (4)$$

Вектор  $d'$  будет определять текущее положение морфологического элемента в цикле.

Электрокардиологический цикл  $W(t)$  формируется путем суммирования полученных функций  $w_i(t)$ , сдвинутых относительно начала координат на  $d'_i$ :

$$W(t) = \sum_{i=1}^n w_i(t - d'_i). \quad (5)$$

При данном подходе в комплексе QRS моделируемого сигнала в моменты смены морфологических элементов  $Q \rightarrow R$  и  $R \rightarrow S$  появляются точки перегиба, не свойственные реальному ЭКС. Для их устранения необходимо внести изменения в исходные параметры некоторых элементов.

Известно, что при анализе и интерпретации ЭКГ важное диагностическое значение имеет продолжительность интервалов  $P - Q(R)$ ,  $Q - T$ , комплекса  $QRS$ , сегмента  $RS - T$ . Поэтому внесение изменений в продолжительность следующих компонентов сигнала не отразится на итоговом результате:  $l'_Q = l_Q + \alpha$ ;  $l'_R = l_R + \alpha$ . Параметр  $\alpha$  составляет 5 – 10 % от длительности морфологического элемента. Заменив соответствующие параметры в матрице  $E$ , получим новую матрицу  $E' = (\varepsilon'_{m,n})$ .

В результате для дискретного времени с учетом принятых изменений выражения (2) и (5) примут следующий вид:

$$w'_i(k\Delta t) = \begin{cases} 0, k\Delta t \in (-\infty; 0); \\ -\frac{\varepsilon'_{2,i}}{2} \left( \cos \left( \frac{2\pi}{\varepsilon'_{1,i}} (k\Delta t) \right) - 1 \right), k\Delta t \in [0; \varepsilon'_{1,i}] \\ 0, k\Delta t \in (\varepsilon'_{1,i}; +\infty), \end{cases} \quad (6)$$

$$W'(k\Delta t) = \sum_{i=1}^n w'_i(k\Delta t - d'_i). \quad (7)$$

Здесь  $\Delta t = 1/f$  – время выборки,  $f$  – частота дискретизации.

Результат моделирования электрокардиологического комплекса по предложенному принципу изображен на рис. 1.

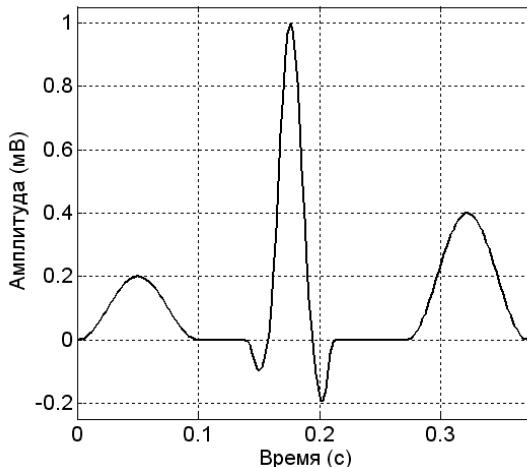


Рисунок 1 – Результат моделирования электрокардиологического комплекса

При данном подходе участки ЭКГ, совпадающие с изоэлектрической линией, пред-

ставляют собой функцию (6) с нулевой амплитудой.

Функция ЭКС за определенный промежуток времени получается суммированием дискретных функций вида  $W'(k\Delta t)$ , смещенных относительно начала координат (нулевой момент времени) вдоль оси абсцисс (изоэлектрической линии) на величину  $r\delta$ , где  $r=1,2,3\dots$

$$\Sigma_0(k\Delta t) = \sum_{r=0}^{N-1} W(k\Delta t - r\delta), \quad (8)$$

где  $\delta = 60/\phi$  ( $\phi$  - частота сердечных сокращений, уд/мин),

$N$  – число сердечных сокращений.

На рис. 2 представлена реализация ЭКС в соответствии с выражением (8).

При учете в модели сигнала вариабельности сердечного ритма выражение (7) изменит свою форму:

$$\Sigma_0(k\Delta t) = \sum_{i=0}^{N-1} W(k\Delta t - \tau_i), \quad (9)$$

где  $\tau_i$  – ряд значений продолжительности  $R-R$  интервалов между последовательно зарегистрированными сердечными циклами.

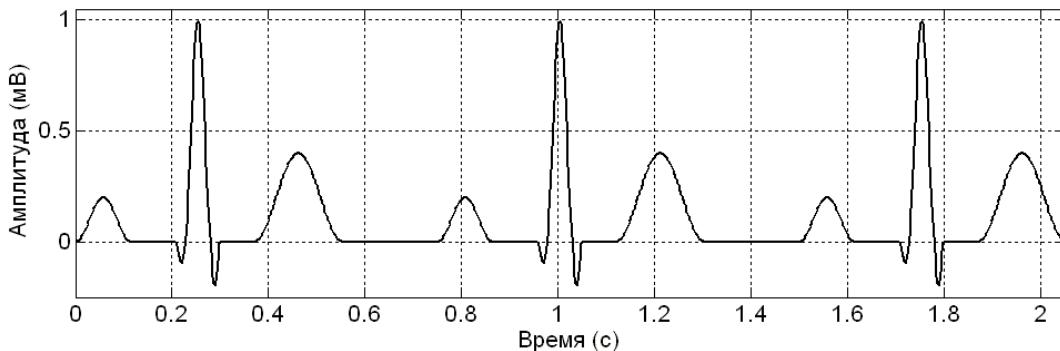


Рисунок 2 – Фрагмент синтезированного ЭКС

При регистрации ЭКС возникает комплекс помех и искажений, обусловленных различными причинами. Наибольшее влияние при исследовании оказывают высокочастотные помехи и двигательные артефакты [3].

Высокочастотные помехи могут быть вызваны электрокардиологическим оборудованием, наводкой от сопутствующего электромиографического сигнала и др.

Этот вид помех моделируется путем введения в исходный сигнал аддитивной составляющей  $s(t, \xi)$ , где  $\xi$  – случайная величина, равномерно распределенная на интервале  $[0;1]$ , т.е.

$$\Sigma(k\Delta t) = \Sigma_0(k\Delta t) + U_{HF}\xi(k\Delta t), \quad (10)$$

где  $U_{HF}$  – уровень (амплитуда) шума.

Сетевую наводку 50 Гц (и кратные ей гармоники) также можно отнести к высокочастотному шуму ввиду низкочастотного характера самого сигнала ЭКГ.

Двигательные артефакты (дрейф изоэлектрической линии) возникают в основном вследствие движения грудной клетки при дыхании. Влияние дыхания на съем ЭКГ мож-

но представить как сумму выражения (10) с гармонической функцией:

$$\Sigma'(k\Delta t) = \Sigma(k\Delta t) + U_{LF} \sin(2\pi\lambda k\Delta t), \quad (11)$$

где  $U_{LF}$  – амплитуда смещения изолинии,  $\lambda$  – частота дыхания.

Результат использования предложенного подхода по моделированию ЭКС представлен на рис. 3.

Представленный алгоритм моделирования биоэлектрической активности сердца человека позволяет создать реалистичный сигнал с заданными свойствами морфологических элементов, различной частотой сердечных сокращений, частотой дискретизации, уровнем помех. Синтезированный сигнал эффективен при оценке (настройке) кардиологического оборудования и систем распознавания, при проведении статистического анализа, сравнении различных методов обработки и фильтрации ЭКС.

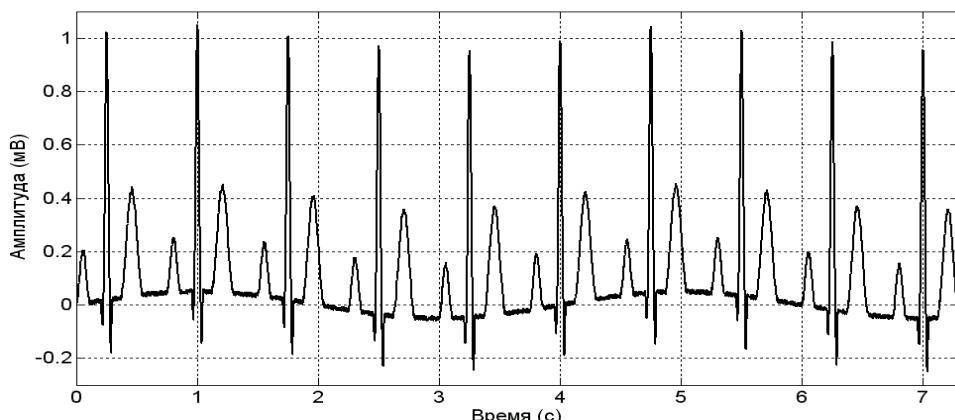


Рисунок 3 – Результат моделирования ЭКС

Список литературы

1. Струтынский А.В. Электрокардиограмма: анализ и интерпретация: Учеб. пособие – М.: ООО «МЕДпресс», 1999. – 224 с.
2. Съем и обработка биоэлектрических сигналов: Учеб. пособие / Под ред. К.В. Зайченко. – СПб.: СПбГУАП, 2001. – 140 с.
3. Рангайян Р. М. Анализ биомедицинских сигналов. Практический подход. – Пер. с англ. /Под ред. А.П. Немирко. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 440 с.
4. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов: Учебник для вузов. 2-е изд. – СПб.: Питер, 2006. – 751 с.

Получено 23.07.09

УДК 621.311

**Б.Б. Утегулов, А.Б. Утегулов, А.Б. Уахитова, Б.Е Машрапов, Б.М. Бегентаев**  
ПГУ, г. Павлодар

**РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ ПРИКОСНОВЕНИЯ В НЕСИММЕТРИЧНОЙ СЕТИ С ИЗОЛИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1000 В**

Так как напряжение прикосновения является важным критерием обеспечения уровня

электробезопасности при эксплуатации электрооборудования и регламентируется ГОС-Том, то вопросы совершенствования средств контроля и методов определения напряжения прикосновения являются актуальными. Особенно это важно для сетей напряжением до 1000 В для горнодобывающих предприятий, поскольку условия эксплуатации являются тяжелыми, т.к. имеет место перемещение фронта горных работ, влияние климато-метеорологических условий, вибрация, запыленность, влажность и т.д [1].

Существующие методы определения напряжения прикосновения основаны на том, что их использование обусловлено только для симметричной сети с изолированной нейтралью напряжением до 1000 В. Использование этих методов определения напряжения прикосновения в несимметричной сети будет содержать значительную погрешность, которая обусловлена разностью условий эксплуатации электроустановок.

На основе вышеизложенного следует разработать метод определения напряжения прикосновения в трехфазной несимметричной электрической сети с изолированной нейтралью напряжением до 1000 В. Для разработки этого метода необходимо использовать методы определения токов утечки и однофазного замыкания на землю в данной сети, где методы определения токов утечки и однофазного замыкания на землю в трехфазной несимметричной электрической сети с изолированной нейтралью напряжением до 1000 В основаны на измерении величин модулей линейного напряжения и напряжения фаз А, В и С относительно земли до и после подключения активной дополнительной проводимости  $g_1$  между фазой А электрической сети и землей. При этом полагается, что имеет место повреждение изоляции между фазой А электрической сети с изолированной нейтралью напряжением до 1000 В и землей.

По измеренным величинам модулей  $U_{\text{л}}$  – линейного напряжения и напряжения фаз  $U_A$ ,  $U_{A1}$ ,  $U_B$ ,  $U_{B1}$ ,  $U_C$ ,  $U_{C1}$  относительно земли до и после подключения активной дополнительной проводимости  $g_1$  и с учетом активной дополнительной проводимости производится определение искомых величин по математическим формулам:

- ток однофазного замыкания

$$I_o = \frac{U_{\text{л}} U_A}{U_A \sqrt{U_{\text{л}}^2 + 3U_{A1}^2 - \sqrt{3[4U_{\text{л}}^2 U_A^2 - (U_{C1}^2 - U_{B1}^2)^2]}} - U_{A1} \sqrt{U_{\text{л}}^2 + 3U_A^2 - \sqrt{3[4U_{\text{л}}^2 U_A^2 - (U_C^2 - U_B^2)^2]}}} g_1, \quad (1)$$

- ток утечки

$$I_{yt} = \frac{\sqrt{3} U_{A1} \sqrt{U_{\text{л}}^2 + 3U_A^2 - \sqrt{3[4U_{\text{л}}^2 U_A^2 - (U_C^2 - U_B^2)^2]}}}{U_A \sqrt{U_{\text{л}}^2 + 3U_{A1}^2 - \sqrt{3[4U_{\text{л}}^2 U_{A1}^2 - (U_{C1}^2 - U_{B1}^2)^2]}} - U_{A1} \sqrt{U_{\text{л}}^2 + 3U_A^2 - \sqrt{3[4U_{\text{л}}^2 U_A^2 - (U_C^2 - U_B^2)^2]}}} g_1. \quad (2)$$

Напряжение прикосновения выражается следующей математической зависимостью

$$U_{np} = I_3 R_3 \alpha_1 \alpha_2, \quad (3)$$

где  $I_3$  – ток, стекающий в землю через заземлитель;

$R_3$  – сопротивление заземлителя;

$\alpha_1$  – коэффициент прикосновения;

$\alpha_2$  – коэффициент напряжения прикосновения, учитывающий падение напряжения в сопротивлении растеканию основания, на котором стоит человек.

При определении напряжения прикосновения полагается, что  $\alpha_2 = 1$ .

Для определения напряжения прикосновения при однофазном замыкании на землю и токе утечки в несимметричной сети с изолированной нейтралью напряжением до 1000 В необходимо совместно решить уравнения (1) и (3), (2) и (3), соответственно. При этом получим следующие математические зависимости:

- напряжение прикосновения при однофазном замыкании на землю

$$U_{np} = \frac{U_A U_A}{U_A \sqrt{U_A^2 + 3U_{A1}^2 - \sqrt{3[4U_A^2 U_{A1}^2 - (U_{C1}^2 - U_{B1}^2)^2]}} - U_{A1} \sqrt{U_A^2 + 3U_A^2 - \sqrt{3[4U_A^2 U_A^2 - (U_C^2 - U_B^2)^2]}}} \times g_1 R_3 \alpha_1, \quad (4)$$

- напряжение прикосновения при токе утечки

$$U_{np} = \frac{\sqrt{3} U_{A1} \sqrt{U_A^2 + 3U_A^2 - \sqrt{3[4U_A^2 U_A^2 - (U_C^2 - U_B^2)^2]}}}{U_A \sqrt{U_A^2 + 3U_{A1}^2 - \sqrt{3[4U_A^2 U_{A1}^2 - (U_{C1}^2 - U_{B1}^2)^2]}} - U_{A1} \sqrt{U_A^2 + 3U_A^2 - \sqrt{3[4U_A^2 U_A^2 - (U_C^2 - U_B^2)^2]}}} \times g_1 R_3 \alpha_1. \quad (5)$$

Разработанный метод определения напряжения прикосновения в трехфазной несимметричной электрической сети с изолированной нейтралью напряжением до 1000 В основан на измерении величин модулей линейного напряжения и напряжения фаз А, В и С относительно земли до и после подключения активной дополнительной проводимости  $g_1$  между фазой А электрической сети и землей, а также на использовании справочных данных значений сопротивления заземлителя  $R_3$  и коэффициента прикосновения  $\alpha_1$ , зависящего от вида грунта. Принимаем сопротивление заземлителя равным 4 Ом и значение коэффициента прикосновения, соответствующего суглинковому грунту, равным 1,1.

Для коммутации активной дополнительной проводимости используется резервный выключатель нагрузки, где сопротивление активной дополнительной проводимости составляет  $R_1=1000$  Ом, сопротивления марки ПЭ-1000, которую путем параллельно последовательным соединением обеспечивают требуемая мощность рассеивания, а для измерения напряжения используются вольтметры Э-315, с классом точности 0,5.

Выразим активную дополнительную проводимость  $g_1$  через ее сопротивление  $R_1$ , тогда получим следующее выражение:

- напряжение прикосновения при однофазном замыкании на землю

$$U_{np} = \frac{U_A U_A}{U_A \sqrt{U_A^2 + 3U_{A1}^2 - \sqrt{3[4U_A^2 U_{A1}^2 - (U_{C1}^2 - U_{B1}^2)^2]}} - U_{A1} \sqrt{U_A^2 + 3U_A^2 - \sqrt{3[4U_A^2 U_A^2 - (U_C^2 - U_B^2)^2]}}} \times \frac{R_3}{R_1} \alpha_1, \quad (6)$$

- напряжение прикосновения при токе утечки

$$U_{np} = \frac{\sqrt{3} U_{A1} \sqrt{U_A^2 + 3U_A^2 - \sqrt{3[4U_A^2 U_A^2 - (U_C^2 - U_B^2)^2]}}}{U_A \sqrt{U_A^2 + 3U_{A1}^2 - \sqrt{3[4U_A^2 U_{A1}^2 - (U_{C1}^2 - U_{B1}^2)^2]}} - U_{A1} \sqrt{U_A^2 + 3U_A^2 - \sqrt{3[4U_A^2 U_A^2 - (U_C^2 - U_B^2)^2]}}} \times \frac{R_3}{R_1} \alpha_1. \quad (7)$$

Подставляя в формулу значения сопротивлений заземлителя и активной дополнительной

проводимости и значение коэффициента прикосновения, получим следующие выражения:

- напряжение прикосновения при однофазном замыкании на землю

$$\times \frac{U_{np} = 4,4 \cdot 10^{-3} \times \frac{U_A U_A}{U_A \sqrt{U_A^2 + 3U_{A1}^2 - \sqrt{3[4U_A^2 U_{A1}^2 - (U_{C1}^2 - U_{B1}^2)^2]}} - U_{A1} \sqrt{U_A^2 + 3U_A^2 - \sqrt{3[4U_A^2 U_A^2 - (U_C^2 - U_B^2)^2]}}}}{(8)}$$

- напряжение прикосновения при токе утечки

$$U_{np} = 4,4 \cdot 10^{-3} \times \frac{\sqrt{3}U_{A1}^2 \sqrt{U_A^2 + 3U_A^2 - \sqrt{3[4U_A^2 U_A^2 - (U_C^2 - U_B^2)^2]}}}{U_A \sqrt{U_A^2 + 3U_{A1}^2 - \sqrt{3[4U_A^2 U_{A1}^2 - (U_{C1}^2 - U_{B1}^2)^2]}} - U_{A1} \sqrt{U_A^2 + 3U_A^2 - \sqrt{3[4U_A^2 U_A^2 - (U_C^2 - U_B^2)^2]}}} \quad (9)$$

Полученные математические зависимости определения напряжения прикосновения при однофазном замыкании на землю и токе утечки в трехфазной несимметричной электрической сети с изолированной нейтралью напряжением до 1000 В правомерны при повреждении изоляции между фазой А и землей. Для использования разработанного метода определения напряжения прикосновения при токах однофазного замыкания на землю и утечки в трехфазной несимметричной электрической сети с изолированной нейтралью напряжением до 1000 В при повреждении изоляции между другой фазой электрической сети и землей необходимо учесть чередование согласно теоретическим основам электротехники для трехфазной электрической сети.

Разработанные методы определения напряжения прикосновения в трехфазной несимметричной электрической сети с изолированной нейтралью напряжением до 1000 В публикуют: удовлетворительную точность искомых величин производства работ в электроустановках.

#### Список литературы

1 Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках: Учеб. пособие для вузов. - 2-е изд. - М., 1984. - 448 с.

Получено 12.08.09



## ПРИБОЙНАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ

Летом будущего года у берегов Франции, в Лионском заливе Средиземного моря, должен пройти испытания прототип волновой электростанции системы SEAREV (сокращение от французских слов «автономная электрическая система рекуперации энергии волн»). В поплавке, зажкоренном на достаточной глубине, находится разбалансирован-

ный маховик типа того, что применяется в наручных часах с автоподводом. При покачивании поплавка на волнах маховик поворачивается то в одну, то в другую сторону, перекачивая жидкость в гидравлический системе, а поток жидкости вращает электрогенератор. Несколько клапанов обеспечивают односторонний поток рабочей жидкости. В зависимости от силы волнения мощность такой плавучей электростанции составит 500-700 киловатт.

«Наука и жизнь» № 4, 2009