

# ПОСТРОЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ СТРОИТЕЛЬСТВА НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКИХ ИНТЕРВАЛОВ

В.А. Широченко, Т.Л. Улащик

Кафедра экономической информатики, Могилевский государственный технический университет, пр. Мира, 43, Могилев, 212005, БЕЛАРУСЬ, тел. (375+0222) 39-58-60, 32-31-06, esinform@rambler.ru

## АННОТАЦИЯ

В статье представлена разработанная авторами программная система, предназначенная для использования в сфере строительства. Разработка призвана повысить эффективность жилищного строительства на уровне региона. В программе производится краткосрочное прогнозирование объемов жилищного строительства и расчет требуемой обеспеченности строительного комплекса ресурсами в четком виде и на основе использования нечеткого подхода.

## 1. ВВЕДЕНИЕ

На протяжении последних лет жилищное строительство в Республике Беларусь находится в состоянии спада. Объемы строительства остаются низкими и часто отстают от запланированных показателей, уровень строительства в 2000 г. составил 395 тыс. м<sup>2</sup>, что более чем в два раза меньше уровня 1991 года. - 844 тыс. м<sup>2</sup> [1].

Основными причинами этого являются низкая обеспеченность строительных организаций региона материальными и финансовыми ресурсами, рабочей силой, основными средствами; а также неоптимальное их распределение в рамках строительного комплекса [2].

Для математического обоснования принимаемых решений необходимо учитывать влияние этих факторов на процесс строительства. Поэтому предлагается осуществлять прогнозирование объемов расхода ресурсов и объемов жилищного строительства в краткосрочном периоде, и кроме того проводить расчет минимально необходимых затрат каждого ресурса для выполнения намеченной программы строительства жилья в полном объеме.

## 2. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ В ЧЕТКОМ ВИДЕ

Для определения прогнозного показателя жилищного строительства рассматривается его зависимость от обеспеченности ресурсами:

- основными строительными материалами, производимыми в регионе, с учетом их экспорта и импорта;

- рабочей силой;
- основными строительными машинами: скреперами, тракторами, бульдозерами, кранами и др.;
- инвестициями в разрезе главных источников: население, предприятия и организации, инновационный фонд, госбюджет и местные бюджеты.

Важнейшее значение для строительства любых объектов, в том числе и жилых домов, имеет обеспеченность строительно-монтажных организаций региона строительными материалами. В работе рассматриваются 8 основных материалов, используемых в региональном строительстве: цемент, шифер, мягкие кровельные материалы, стеновые блоки из ячеистых бетонов и пр.

Промышленность строительных материалов Могилевской области включает более 25 предприятий, между которыми существуют взаимные потоки производимой продукции. Например, цемент используется для производства кирпича, блоков, шифера.

Кроме того, большинство предприятий производит несколько видов продукции, и для производства одного вида используют некоторый объем другого. Необходимо учитывать и внутривозвратное потребление материалов в рамках отдельных предприятий - на ремонт, выполненный собственными силами.

Поэтому для определения величины строительных материалов, используемых непосредственно в строительстве, из всего объема производимых в отрасли и импортируемых ресурсов, используется межотраслевой баланс, позволяющий увязать внутривозвратные потоки ресурсов. Применение этого метода к решению описанной задачи подробно рассмотрено в статье [3].

Далее производится построение основных тенденций развития расхода 14-ти исследуемых ресурсов (четыре выделенные выше группы с делением производства стройматериалов и инвестиций на составные элементы). Для этого применяется описание их наиболее адекватны-

ми математическими закономерностями, на основе критерия минимальности остаточного среднеквадратического отклонения (методом наименьших квадратов). При этом используется метод аналитического выравнивания. С использованием полученных функциональных зависимостей на основе динамики соответствующих показателей за 10 предшествующих лет определяются прогнозные объемы расхода методом экстраполяции.

Для выражения зависимости результативно-го признака и объемов затрат ресурсов используется многомерный регрессионный анализ [3], в результате которого получена модель:

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i, \quad (1)$$

где

$Y$  – объем жилищного строительства;

$x_i$  – объемы расхода соответствующих ресурсов;

$b_i$  – расчетные коэффициенты;

$i$  – номер ресурса.

С помощью линейной регрессионной модели определяется прогнозный объем жилищного строительства в регионе на основе прогноза обеспеченности отрасли ресурсами.

Полученный прогноз обладает удовлетворительной степенью достоверности, так как учитывает влияние обеспеченности жилищного строительства основными ресурсами и строится на основе сведений о работе строительного комплекса за большой период времени.

Этот вывод подтверждают и результаты оценки качества прогноза, проведенной с помощью корреляционного анализа. Для регрессионной модели коэффициент множественной корреляции  $R=0.68$ , что говорит о довольно высокой адекватности построенной модели. Кроме того, проверка значимости коэффициентов модели показала, что наибольшие веса в прогнозном показателе имеет обеспеченность жилищного строительства стройматериалами и рабочей силой. Это говорит о том, что последние показатели вносят наибольший вклад в результат, значит, при управлении строительством им надо уделять наибольшее внимание.

### 3. ИНТЕРВАЛЬНЫЙ ПОДХОД

Детерминированная оценка любого показателя не может обеспечить высокой степени точности результатов при прогнозировании социально-экономических параметров и дает весьма ограниченную информацию. С ее помощью трудно судить о действительном разви-

тии объекта, так как внешняя неопределенность, ограниченный объем выборки и отклонения случайного характера могут приводить к существенным ошибкам.

Получить более точный результат позволяет использование интервальных оценок. Для построения четких интервалов, характеризующихся двумя точками (доверительные интервалы), применяется распределение Стьюдента [2,3].

В результате применения данного подхода к анализу данных за 1990-1999 годы был получен прогноз величины жилищного строительства по Могилевской области на 2000 г. - не более 290 тыс. м<sup>2</sup>. При этом плановый уровень составлял 390 тыс. м<sup>2</sup>, а объем централизованного строительства жилья по итогам 2000 г. - 215 тыс. м<sup>2</sup>, что подтверждает адекватность разработанной модели. Аналогичные расчеты, проведенные с учетом этой информации, ограничивают прогноз изучаемого параметра на текущий год величиной 360 тыс. м<sup>2</sup> при сокращении задания по строительству до 305 тыс. м<sup>2</sup>.

#### 3.1. Нечеткие интервалы

В строительстве применяются централизованные нормы расхода строительных материалов на 1 м<sup>2</sup> площади возводимого объекта. По результатам исследования оказалось, что большая их часть в действительности не выдерживается, и реальный расход материалов колеблется около установленных норм в довольно широких пределах.

Если при прогнозировании развития объекта использовать аппроксимацию детерминированной кривой, то в результате точность прогноза недостаточно высока. В случае использования в анализе нечетких интервалов точность результатов повышается, так как прогноз получается не в детерминированном виде, а в форме функции принадлежности, определяющей, с какой степенью принадлежности некоторое число  $x$  принадлежит данному интервалу. Общий вид нечеткого числа представлен на Рис. 1.

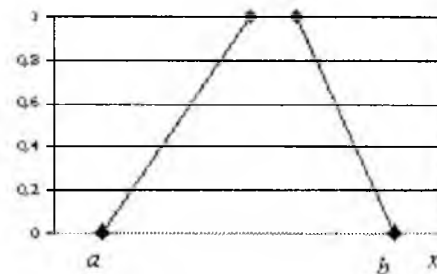


Рисунок 1. Число в нечетко - интервальной форме

Существует несколько методик построения функции принадлежности: на основе интервальных оценок, с использованием статистических данных, рассмотренных в [4], и другие. В данной разработке нечеткие интервалы строятся как области, охватывающие указанный процент случайной величины, с использованием специальной методики трансформации частотного распределения в нечеткий интервал, позволяющей существенно снизить объем потерянной информации и рассмотренной в [5,6].

В соответствии с этой методикой производится построение функций принадлежности для расхода каждого из выделенных в пункте 2 ресурсов. В результате получаются нечеткие числа, представляющие собой совокупность  $\alpha$ -уровней (или ранее - доверительных интервалов), которые по сути являются обычными четкими интервалами.

При этом регрессионная модель (1) примет вид:

$$NIY = Nib_0 + \sum_{i=1}^n Nib_i \cdot NIX_i, \quad (2)$$

где

$NIY, NIX, NIB$  - соответствующие величины из (1), представленные в нечетко-интервальном виде - описанные четырьмя реперными точками. Например,

$$NIY = [Y_1^1, Y_1^2, Y_2^1, Y_2^2], \quad (3)$$

где

$Y_1^1, Y_1^2$  - нижние границы интервала;

$Y_2^1, Y_2^2$  - верхние границы (Рис. 2).

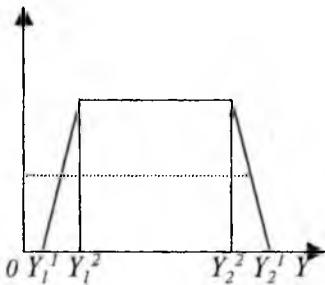


Рисунок 2. Объем жилищного строительства в нечетко интервальном виде

Для решения преобразованной задачи необходима специальная арифметика. Поскольку нечеткий интервал можно свести к совокупности четких на каждом из  $\alpha$ -уровней, то задача может решаться с помощью так называемой интервальной арифметики.

В настоящее время существует более десяти ее вариантов, результаты вычислений по которым не совпадают.

В данном случае используется наиболее распространенный вариант, где операции над четкими интервалами  $A = [a_1, a_2]$  и  $B = [b_1, b_2]$  производятся в соответствии со следующими правилами [6]:

$$A + B = [a_1 + b_1, a_2 + b_2]; \quad (4)$$

$$A - B = [a_1 - b_2, a_2 - b_1]; \quad (5)$$

$$A \cdot B = [\min(a_1 \cdot b_1, a_2 \cdot b_2, a_1 \cdot b_2, a_2 \cdot b_1), \max(a_1 \cdot b_1, a_2 \cdot b_2, a_1 \cdot b_2, a_2 \cdot b_1)]; \quad (6)$$

$$A / B = [a_1, a_2] \cdot [1/b_2, 1/b_1]. \quad (7)$$

Применив выражения (4) - (7) к формуле (2), получаем искомый прогноз объема жилищного строительства на будущий год в нечетко-интервальном виде.

В результате вычислений получены следующие прогнозные параметры: с 95%-й вероятностью прогнозный объем жилищного строительства попадает в промежуток от 205 до 350 тыс м<sup>2</sup>, и с вероятностью 45% - от 310 до 350 тыс м<sup>2</sup>.

#### 4. ОПТИМИЗАЦИЯ РАСХОДА РЕСУРСОВ

Результаты проведенного анализа показывают несовпадение фактических параметров, прогнозных и запланированных. Поэтому чтобы обеспечить рациональное использование ресурсов, необходимо определять минимальные затраты ресурсов, достаточные для выполнения плана, чтобы в дальнейшем, путем их корректировки, достичь требуемого уровня строительства.

В этом случае задача состоит в оптимизации нечетко-интервальной целевой функции, удовлетворяющей установленным ограничениям. Целевой функцией здесь выступает регрессионная модель (2); ограничениями - неотрицательность ресурсов и ограниченность объемов производства строительных материалов мощностями предприятий.

Поиск оптимального решения предусматривает сравнение каждого текущего значения нечетко - интервальной функции с наиболее близким к оптимальному из полученных на предыдущем шаге, а затем проверку решения на допустимость. При этом возникает проблема сравнения нечетких интервалов.

Сравнение нечетких интервалов возможно при разбиении их на  $\alpha$ -уровни, в результате чего на каждом получаются четкие интервалы.

Очевидно, что сравнение интервалов по средним значениям или по их длине не обязательно приводит к достоверным результатам. В связи с этим применяется методика сравнения четких интервалов, разработанная на основе вероятностного подхода к распределению случайной величины [5].

Методика сравнения четких интервалов является основой методики сравнения нечетких интервалов, которое также осуществляется по  $\alpha$ -уровням. На каждом из них имеются по два четких интервала, которые сравниваются между собой по правилам сравнения четких интервалов, и затем вероятности, полученные на каждом уровне, умножаются на соответствующий вес и суммируются.

Использование весов – соизмерителей позволяет учесть большую значимость результатов сравнения интервалов, соответствующих  $\alpha$ -уровням, с ростом номера уровня (интервалы с большими номерами  $\alpha$ -уровней по определению обладают большей степенью принадлежности исходному нечеткому интервалу, поэтому должны вносить больший вклад в итоговую оценку сравнения нечетких интервалов).

Этот подход к сравнению нечетких интервалов, а также выражения для расчета требуемых вероятностей рассмотрены и обоснованы в [6].

В данном исследовании рассматриваются два  $\alpha$ -уровня исходного интервала. То есть имеются интервалы  $NIA^1 = [a_1^1, a_2^1]$  и  $NIB^1 = [b_1^1, b_2^1]$  на первом уровне,  $NIA^2 = [a_1^2, a_2^2]$  и  $NIB^2 = [b_1^2, b_2^2]$  на втором. Исходя из этого, выражение для сравнения анализируемых нечетких интервалов можно представить в следующем виде:

$$P(NIA = (<, >)NIB) = \sum_{i=1}^m P(NIA^i = (<, >)NIB^i) \cdot k_i \quad (8)$$

В результате получаются такие объемы ресурсов, использование которых позволяет обеспечить выполнение запланированного объема жилищного строительства наименьшими затратами. Некоторые результаты оптимизации затрат ресурсов рассмотрены в [2,3].

## 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Прогнозирование на основе изучения реального потенциала строительного комплекса с использованием математических и статистических методов позволяет выявить внут-

ренние связи объекта, а следовательно, получить более достоверные результаты прогнозирования в краткосрочном периоде.

2. Определение оптимальных затрат ресурсов для достижения заданного уровня строительства повышает эффективность принимаемых решений, так как позволяет перераспределить "лишние" ресурсы в другие сферы строительства.
3. При использовании в анализе элементов нечетко-интервальной математики достигается большая адекватность результатов прогноза, так как она позволяет работать с неопределенностями как объективного характера, так и связанными с особенностями человеческого мышления.

Таким образом, разработанная программная система позволяет строить обоснованные краткосрочные прогнозы на основе обеспеченности исследуемого объекта ресурсами и их взаимосвязи с результирующим параметром. Применение в работе нечетко-интервального подхода повышает адекватность модели, а значит, надежность прогнозов и эффективность принимаемых в сфере жилищного строительства решений

## ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Социально-экономическое положение Могилевской области: Сборник. - Могилев, 1990-2000.
- [2]. Улащик Т.Л. Построение прогнозных показателей в жилищном строительстве // Материалы по экономическому анализу статистической информации, 2000. - №1. - С.4-11.
- [3]. Широченко В.А., Улащик Т.Л. Программная система анализа плановых показателей предприятий строительной отрасли по Могилевской области // Новые информационные технологии. Тр. 4-й междунар. конф.: В 3-х кн. Кн.3. Мн.: БГЭУ, 2000. - С.109-115.
- [4]. Борисов А.Н., Крумберг О.А., Федоров И.П. Принятие решений на основе нечетких моделей. Рига: Зинатне, 1990. - 184 с.
- [5]. Севастьянов П.В., Венберг А.В. Моделирование и оптимизация работы энергоагрегатов при интервальной неопределенности // Энергетика... (Изв. высших учеб. заведений и энергетических объединений СНГ). - Мн.: БГПА, 1998. - №3. - С. 66-70.
- [6]. Севастьянов П.В., Венберг А.В. Оптимизация технико-экономических параметров работы энергоагрегатов при нечетких исходных данных // Энергетика... (Изв. высших учеб. заведений и энергетических объединений СНГ). - Мн.: БГПА, 2000. - № 1. - С. 62-70.