

УДК 004.942

В.М. Задачин

Харьковский национальный экономический университет, Харьков

## СИСТЕМА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ ГОРОДА

В статье приводится описание системы прогнозирования водопотребления города, как долгосрочного (годового, месячного), так и краткосрочного (суточного, часового). Система позволяет рассчитывать прогнозы с достаточно высокой точностью. Использование такого программного комплекса на водоснабжающих предприятиях крупных городов может позволить оптимально планировать работу системы водоснабжения, как на долгосрочный, так и на краткосрочный период. Например, оптимально в смысле минимизации потребления электроэнергии для перекачки воды насосными станциями.

**Ключевые слова:** прогнозирование, математическая модель, система водоснабжения, водопотребление.

### Введение

Эффективная деятельность любого предприятия в условиях рыночной экономики возможна лишь при условии разработки планов развития, производственных программ, бизнес-планов, как на долгосрочный, так и на краткосрочный период. Разработка таких планов и программ базируется на прогнозировании деятельности предприятия. Долгосрочный прогноз становится ориентиром для принятия решений как в области структурной, так и технологической перестройки предприятия [1]. Краткосрочный прогноз используется для оптимального планирования производственной деятельности предприятия на небольшой период, например, месяц.

Одним из критериев оптимизации деятельности предприятия является расход электроэнергии в процессе производства. К числу предприятий, для которых экономия электроэнергии представляется одним из важнейших факторов выживания и развития, относятся водоснабжающие предприятия крупных городов. Таковыми, в частности, являются предприятия типа «Водоканал», обеспечивающие подачу холодной воды в город [2]. Основной расход электроэнергии на этих предприятиях связан с перекачкой воды водопроводными насосными станциями.

Оценка расхода электроэнергии, необходимого для функционирования системы водоснабжения города, может быть выполнена на основе прогноза водопотребления города [3].

Поэтому актуальной задачей является разработка и внедрение на городских предприятиях типа «Водоканал» программного комплекса, позволяющего проводить расчет прогноза водопотребления города на необходимый период.

В данной статье описывается программный комплекс «Прогноз», предназначенный для прогнозирования водопотребления города, как долгосрочного (годового, месячного), так и краткосрочного (суточного, часового). Программный комплекс разработан специалистами ИВК «Поток-Модель» (г. Харьков) и в настоящее время эксплуатируется на предприятиях МГП «Мосводоканал» (г. Москва) и ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» (г. Санкт-Петербург).

### 1. Описание системы «Прогноз»

Система водоснабжения города в самом простом виде может быть представлена схемой, изображенной на рис. 1.

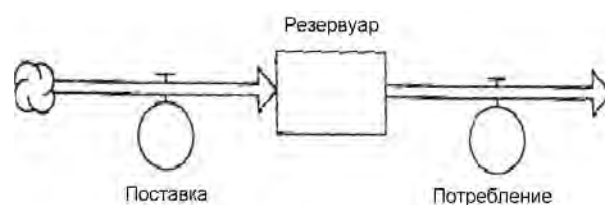


Рис. 1. Простейшая схема системы водоснабжения

Водопроводные станции второго подъема подают воду от очистных сооружений в город. Поданная вода либо напрямую попадает в водопроводную сеть (к потребителям), либо (что чаще всего) сначала попадает в резервуары чистой воды (РЧВ), и уже оттуда насосными станциями третьего, а потом и четвертого, подъемов перекачивается в сеть. Поэтому часовое водопотребление города может быть рассчитано по формуле [3, 4]

$$W = \sum_i Q_i + \left( \sum_k \Delta V_k \right),$$

где  $Q_i$  – часовая подача воды  $i$ -ой водопроводной станцией второго подъема;  $\Delta V_k$  – изменение запаса воды во всех РЧВ  $k$ -ой насосной станции третьего подъема за тот же час.

Рассчитанное часовое водопотребление города сохраняется в базе данных за каждый час каждого дня. Далее рассчитывается суточное водопотребление города, как сумма часового за сутки. Потом считается среднесуточное за месяц водопотребление и среднесуточное за год. Все рассчитанные значения водопотребления также сохраняются в базе данных. Таким образом, в системе «Прогноз» накапливается часовая, суточная, месячная и годовая статистика по водопотреблению города.

Очевидно, что по каждой водопроводной станции второго подъема должны быть известны часовые подачи воды по всем водоводам, а по каждой насосной станции третьего подъема – уровни воды во всех РЧВ на конец часа. Сбор соответствующей статистики должен проводиться с использованием какой-либо телеметрической системы SCADA.

Расчет текущего прогноза производится последовательно, начиная с годового и далее по нисходящей. При этом годовой прогноз служит основой для месячного, месячный – для суточного, а суточный – для часового. Последовательность расчета в системе прогнозирования представлена на рис. 2.

Текущий годовой прогноз рассчитывается один раз в начале года. Текущий месячный прогноз также может быть рассчитан на несколько месяцев вперед, но желательно пересчитывать его непосредственно перед началом текущего месяца, так как в системе прогнозирования производится автоматическая корректировка прогнозной модели при поступлении новых (текущих) данных.

Пользователь системы прогнозирования может в режиме диалога проводить корректировку рассчитанного прогноза. Для проверки адекватности математической модели, по которой проводится расчет прогноза, и правильности вносимых пользователем корректировок в него, в системе предусмотрен расчет ретроспективного прогноза, т.е. прогноза на уже прошедший период. Это позволяет сравнить рассчитанный прогноз с фактическими данными по водопотреблению (рис. 3 – 5, 7).

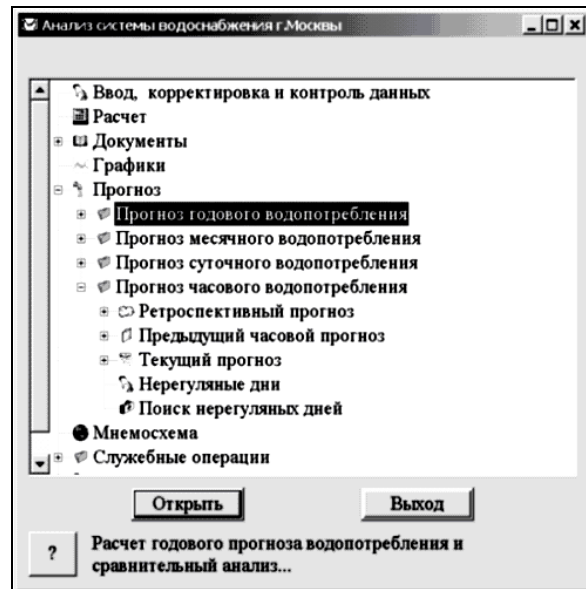


Рис. 2. Основное окно системы прогнозирования водопотребления города



Рис. 3. Ретроспективный годовой прогноз на 2005 и 2006 годы

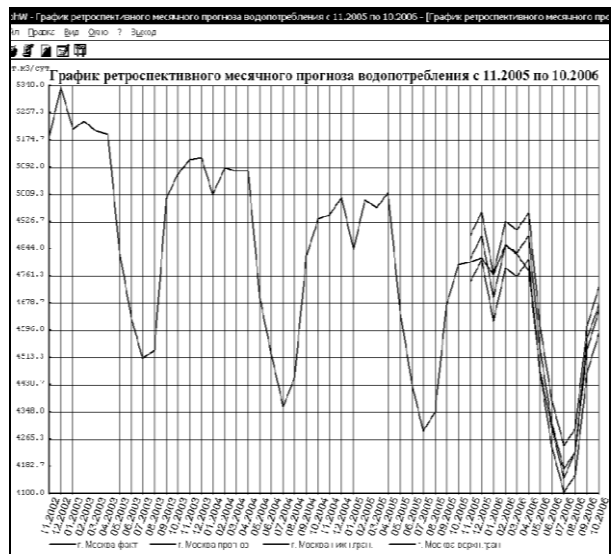


Рис. 4. Ретроспективный месячный прогноз с 11.2005 по 10.2006

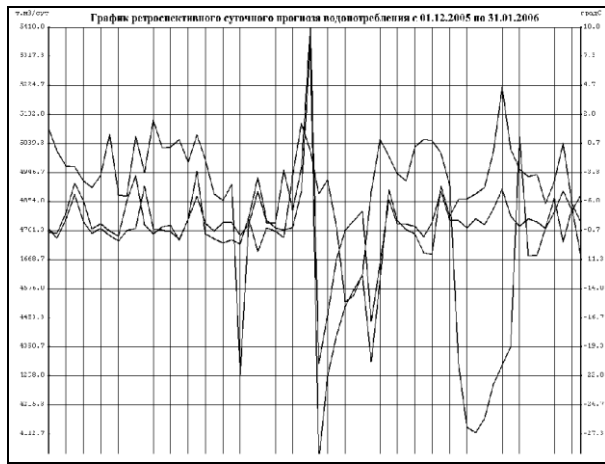


Рис. 5. Суточный прогноз с 11.2005 по 10.2006

## 2. Математические прогнозные модели

Прогноз годового водопотребления осуществляется путем экстраполяции линейной модели, построенной по последним трем годам, предшествующим прогнозируемому году. Более точная модель оказалась не адекватной, ввиду периодически меняющейся социальной и политической ситуации в стране. Так на рис. 3 (данные по г. Москва) видно, что в 1984-1985 годах, а затем еще резче в 1995-м, изменилась тенденция с роста водопотребления на его падение. Причем падение водопотребления, начавшееся в 1995 году, продолжается и на текущий момент. Как уже отмечалось ранее, в системе «Прогноз» предусмотрен механизм ручной корректировки годового прогноза. Поэтому в случае резкого изменения тренда у пользователя есть возможность построить более точный годовой прогноз по своему усмотрению.

Для прогнозирования месячного водопотребления используется хорошо зарекомендовавшая себя модель Бокса и Дженкинса [5], модель авторегрессии и проинтегрированного скользящего среднего. Временной ряд месячного водопотребления имеет выраженную сезонность, что хорошо видно на рис. 4.

В системе «Прогноз» есть модуль, позволяющий проводить прогнозирование различных временных рядов, не обязательно водопотребления. Пример настройки математической прогнозной модели показан на рис. 6.

Надо заметить, что ввиду усреднения данных за месяц, точность статистических данных для месячного прогноза достаточно высока, поэтому и относительная погрешность прогнозных месячных значений не превышает трех процентов (рис. 4).

Основная проблема возникает при прогнозировании суточного водопотребления города, несмотря на существование сезонности в семь дней (рис 5). Это связано, прежде всего, с наличием праздников, как с фиксированной датой (например, 1 января или 8 Марта), так и праздников, привязанных к выходным дням (например, православная Пасха), а также с переносами рабочих дней на другие дни.

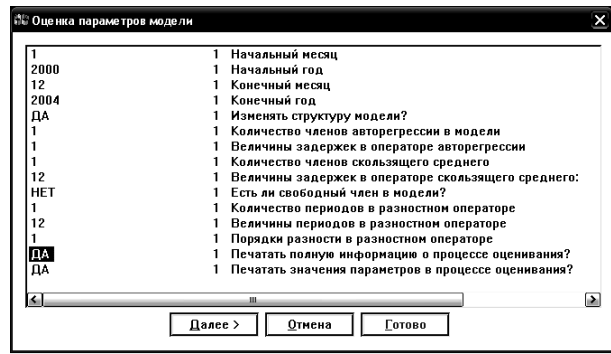


Рис. 6. Оценка параметров модели

Для построения адекватной модели суточного прогноза в системе «Прогноз» вводится понятие нерегулярного дня (например, праздник в будний день и т. п.), а также нерегулярного периода, связанного с переносами рабочих дней. Информация о наличии нерегулярных дней и о переносах рабочих дней, естественно, должна вводиться до расчета суточного прогноза. Механизм использования нерегулярных дней при суточном прогнозе позволяет получать прогноз с относительной погрешностью, не превышающей 5 %. Надо заметить, что резкое изменение температуры воздуха также влияет на точность суточного прогноза водопотребления. Так на рис. 5 видно, что фактическое водопотребление с 16 по 29 января .2006 года оказалось больше прогнозного, и объясняется это резким понижением температуры воздуха с 16 по 23 января .2006 года до -27 градусов по Цельсию. При этом небольшие колебания температуры воздуха существенного влияния на точность прогнозирования не оказывают.

Для часового прогнозирования в системе «Прогноз» также предусмотрено понятие нерегулярного дня, так как часовое водопотребление в течении суток сильно зависит от того, является ли день рабочим или выходным, и тем более праздничным. Так на рис. 7 представлен график фактического часового водопотребления с 30 декабря 2005 года по 1 января 2006 года и прогнозного, без предварительного указания, что 31 декабря 2005 года являлось рабочим днем (суббота, т.е. обычно выходной). Как видно из графика, погрешность прогноза с 10-ти утра до 23-го часа ночи довольно таки высока.

На рис. 8 представлен график часового прогноза на тот же период, при расчете которого уже была введена информация о том, что 31 декабря 2005 года был рабочим днем. Относительная погрешность прогноза при этом не превышает 3-х процентов.

## Выводы

Использование представленного программного комплекса «Прогноз» на водоснабжающих предприятиях крупных городов может позволить оптимально планировать работу системы водоснабжения, как на долгосрочный, так и на краткосрочный период.

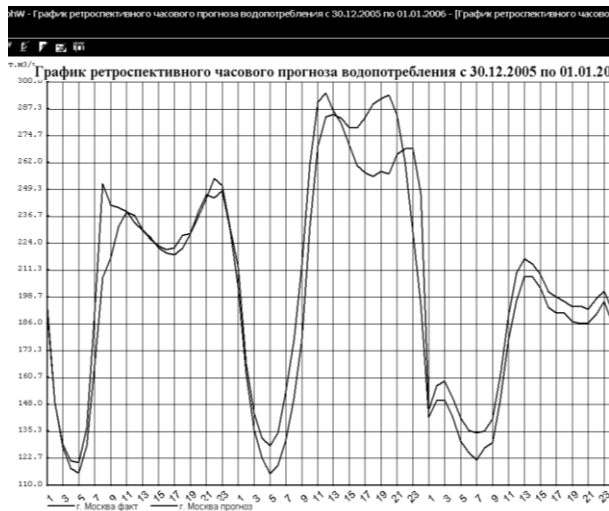


Рис. 7. Часовой прогноз без учета нерегулярного дня

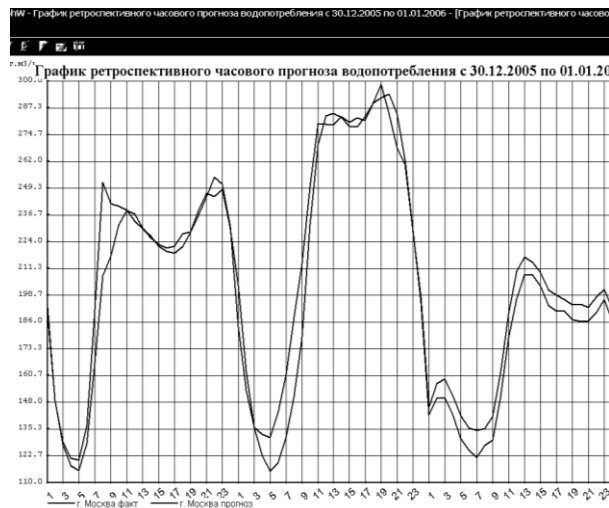


Рис. 8. Часовой прогноз с учетом нерегулярного дня

Например, на основе годового прогноза могут приниматься решения о строительстве или реконструкции различных сооружений системы водоснабжения (насосных станций, очистных сооружений, резервуаров чистой воды и т.д.).

Часовой прогноз водопотребления может быть использован для оптимизации расхода электроэнергии для перекачки воды насосными станциями. Так стоимость электроэнергии в ночные часы ниже, чем в дневные, потому накопление воды в резервуарах может проводиться в необходимых объемах согласно суточному и часовому прогнозу водопотребления города.

Также представляется неизбежным введение в будущем системы предварительного заказа предприятиями количества потребляемой электроэнергии с жесткими требованиями к условиям выхода за допустимые пределы этого заказа. В этом случае крупные предприятия будут заинтересованы в достаточно точном предварительном расчете необходимого им почасового количества электроэнергии, причем, на достаточно большой период (более месяца). Для предприятий типа «Водоканал» наилучшей основой такого расчета является часовой прогноз водопотребления города.

### Список литературы

1. Литвак Б.Г. Разработка управленческого решения / Б.Г. Литвак. – М.: Издательство «Дело», 2004. – 392 с.
2. Белан А.Е. Техно-экономические расчеты водопроводных систем на ЭВМ / А.Е. Белан, П.Д. Хорунжий. – К.: Выща школа, 1979. – 192 с.
3. Задачин В.М. Оптимальное планирование расхода электроэнергии на основе прогноза водопотребления города / В.М. Задачин, И.А. Золотарьова // Вестник ХГНУ. – Новая Каховка, 2005. – № 1 (21). – С. 39-41.
4. Евдокимов А.Г. Потокораспределение в инженерных сетях / А.Г. Евдокимов, В.В. Дубровский, А.Д. Тевяшев. – М. Стройиздат, 1979. – 199 с.
5. Бокс Д. Анализ временных рядов. Прогноз и управление / Д. Бокс, Г. Дженкинс. – М.: Мир, 1974. – Вып. 1. – 406 с.; Вып. 2. – 197 с.

Поступила в редколлегию 20.09.2010

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. А.Д. Тевяшев, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.

### СИСТЕМА ПРОГНОЗУВАННЯ ВОДОСПОЖИВАННЯ МІСТА

В.М. Задачин

*У статті наводиться опис системи прогнозування водоспоживання міста, довгострокового (річного, місячного), так і короткострокового (добового, годинного). Система дозволяє розраховувати прогноз з досить високою точністю. Використання такого програмного комплексу на водопостачальних підприємствах великих міст може дозволити оптимально планувати роботу системи водопостачання, як на довгостроковий, так і на короткостроковий період. Наприклад, оптимально в сенсі мінімізації споживання електроенергії для перекачування води насосними станціями.*

**Ключові слова:** прогнозування, математична модель, система водопостачання, водоспоживання.

### PREDICTION OF THE CITY WATER SYSTEM

V.M. Zadachin

*The article describes the system of forecasting water demand of the city, as long-term (annual, monthly) and short-term (daily, hour). The system calculates the forecast with high accuracy. Using such a software system for water supplying companies large cities may allow optimal planning of the work of water supply as a long-term and short-term. For example, optimal in the sense of minimizing the consumption of electricity for pumping water pumping stations.*

**Keywords:** forecasting, mathematical model, water supply, water consumption.