

УДК 681.5.015.42

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ДЕБИТОМ МЕСТОРОЖДЕНИЙ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД С ПРИМЕНЕНИЕМ СЕТЕЙ БАЙЕСА

Янукян Э.Г., Мартиросян А.В., Мартиросян К.В.

ФГАОУ ВПО «Северо-Кавказский федеральный университет», филиал,
Пятигорск, e-mail: martalex11@mail.ru

В современном мире проблема рационального недропользования как никогда актуальна. Одним из наиболее важных аспектов данной проблемы является сохранение водных ресурсов, в частности, минеральных вод. Вследствие высокого уровня спроса на данный ресурс предприятиям-разработчикам необходимо увеличивать объемы добычи, что может привести к негативным последствиям. Для обеспечения устойчивых режимов добычи предлагается разработка системы управления дебитом месторождений. В данной работе рассматривается организация управления дебитом с точки зрения влияния на него внешних стохастических факторов. В качестве математического обеспечения системы предлагается применять Байесовские сети, так как их применение позволяет эффективно решать многопараметрические задачи в условиях неопределенности. Целью работы является описание применения Байесовских сетей для определения параметров, обеспечивающих устойчивые режимы эксплуатации, а также построение модели, описывающей алгоритм работы системы управления дебитом месторождения минеральных вод. Также в работе представлен алгоритм оценки влияния природных факторов на дебит месторождения.

Ключевые слова: моделирование систем, системы управления, сети Байеса, вероятностная графовая модель, управление дебитом месторождения, устойчивость параметров месторождения, рациональное недропользование

THE DEVELOPMENT OF THE FIELDS OUTPUT CONTROL MODEL WITH THE BAYESIAN NETWORKS APPLICATION

Yanukyan E.G., Martirosyan A.V., Martirosyan K.V.

North-Caucasian Federal University, branch, Pyatigorsk, e-mail: martalex11@mail.ru

In the modern world the problem of the resources conservation is too actual. One of the most important aspects of the given problem is the water resources preservation, in particular mineral waters. Owing to highly level of demand for this resource, the enterprises-developers need to increase production volumes that can lead to negative consequences. For ensuring the sustainable operation modes the development of the field's output automatic control system is offered. In this work it is offered to consider the outputs management organization from the point of view of the external stochastic factors influence. It is offered to apply Bayesian networks as the systems mathware because of its effectiveness for the tasks solutions under uncertainty. The purpose of work is the description of Bayesian networks application to determinate the operation modes sustainable parameters, and also the creation of the model that describes operating algorithm of the mineral waters field's output control system. The algorithm of nature factors influence on the deposit's output is also represented.

Keywords: system modeling, management systems, Bayesian networks, probabilistic graphical model, deposits production rate control, deposits parameters sustainability, resources conservation

В мире не так много регионов, обладающих большими запасами минеральной воды. Благодаря её уникальным лечебным свойствам подобные регионы пользуются большой популярностью в качестве лечебно-оздоровительных курортов. Минеральная вода используется как для бальнеологического лечения, так и в качестве продукта массовых продаж.

Вследствие увеличения спроса возникает необходимость увеличения дебита воды. Подобные действия могут привести к изменению гидрогеологических условий распространения подземных вод, что вызовет нарушение сформировавшегося за тысячи лет строения водоносных горизонтов. Возможными негативными последствиями таких изменений может стать просадка верхних слоев почвы, неконтролируемый излив минеральной воды из скважины или осушение источника. Любой из вышеперечисленных исходов сделает дальнейшую

эксплуатацию месторождений практически невозможной [1, 2].

Для сохранения месторождений необходимо обеспечить надежный процесс эксплуатации каждого из них. На данный момент накоплен большой объем исследований, посвященных возможным методам и средствам сохранения месторождений минеральных вод [2, 3]. Одним из предлагаемых решений проблемы является организация автоматического управления параметрами эксплуатации путем внедрения системы поддержки принятия решений, необходимой для обеспечения устойчивого процесса добычи [3, 4].

В качестве математического обеспечения системы предлагается использовать Байесовские методы, так как они подходят для решения многокритериальных задач в условиях неопределенности [5, 6]. Применение Байесовских сетей позволит оценить влияние внешних факторов на состояние месторождения.

Постановка задачи

Организация управления водными ресурсами, обеспечивающая устойчивость эксплуатации месторождения – это сложная задача, требующая комплексного подхода. Для её решения необходимо иметь четкое представление о гидрогеологических условиях и тектоническом строении месторождения. Вследствие того, что месторождения обладают большим количеством параметров, возникают сложности построения модели управления дебитом [1]. В данной модели предлагается рассматривать дебит месторождения как один из основных параметров, с помощью которого обеспечивается устойчивость процесса эксплуатации.

На дебит влияет большое количество факторов. Можно условно разделить их на 3 группы: природные (осадки, катаклизмы), экономические (спрос на продукт) и эксплуатационные (интенсивность водозабора, режим эксплуатации). Эксплуатационные – это факторы, влияющие на дебит месторождения во время добычи. К ним также можно отнести процесс бурения самой скважины, так как от точности бурения зависит, насколько правильно скважина войдет в водоносный горизонт, что важно для дальнейшей эксплуатации. К экономическим предлагается отнести такие факторы, как емкость рынка, конкуренция, расчетный и возможный объемы добычи и др. На дебит месторождения экономические факторы в отличие от эксплуатационных влияют косвенно. Например, необходимость увеличения объема производства продукции предполагает, но не обязывает к изменению таких параметров добычи, как интенсивность водозабора. Так как получение прибыли является основной целью любого предприятия, то можно с уверенностью утверждать, что экономические факторы имеют прямое отношение к процессу разработки ресурса и выбору режима его эксплуатации.

Отличительной чертой природных факторов является то, что они полностью неконтролируемы. Современные технологии позволяют только прогнозировать возможные природные явления. На данный момент существует возможность предсказания землетрясений, количества осадков и резких перепадов температуры, но возможность наступления данных событий высчитывается с большой погрешностью.

В качестве возможного решения проблемы сохранения месторождений минеральных вод предлагается разработка системы управления дебитом ресурса [2–4]. Данная система должна поддерживать оптимальные параметры эксплуатации для обеспечения устойчивости процесса добычи. Ре-

ализация обратной связи для управления дебитом месторождением позволит корректировать информацию после полного цикла работы системы, что увеличит точность последующих расчетов [2].

Методика расчета

Как было сказано выше, природные факторы являются неконтролируемыми, поэтому при расчете их можно рассматривать как неопределенный фактор. Одним из методов решения многокритериальных задач в условиях неопределенности являются Байесовские сети. Основной принцип Байесовских сетей – по факту свершения события вычислить вероятность, что это событие вызвано той или иной причиной. Данные методы применяются в системах поддержки принятия решений, интеллектуальном поиске информации, решении задач классификации и многих других. Одним из примеров применения Байесовских сетей является их использование для решения задачи классификации при выборе санатория [5]. Результатом использования данного математического аппарата стала разработка системы поддержки принятия решений, позволяющей организовать процесс выбора санатория на основе предварительной диагностики пациента [6]. В данном случае предлагается использовать аппарат Байеса для нахождения вероятности наступления конкретного события (объем дебита) под влиянием стохастических факторов (природных факторов).

Так как любые изменения состояния месторождения являются последствиями изменений во внешней среде, предлагается разработка вероятностной модели влияния экономических и природных факторов на дебит месторождения (рис. 1).

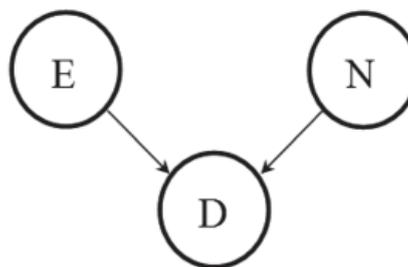


Рис. 1. Внешние факторы, воздействующие на дебит месторождения: E – экономические факторы; N – природные факторы; D – дебит месторождения

Обсуждение результатов

Решение задачи автоматизированной корректировки параметров эксплуатации в зависимости от природных факторов

требует применения методов вероятностного графического анализа [3]. Рассмотрим подробнее фрагмент графа, показанного на рис. 1 – влияние природных факторов N на дебит месторождения D .

Граф, подробно показывающий влияние природных факторов на дебит месторождения, представлен на рис. 2. Сезонный фактор S можно рассматривать как комбинацию трех условно независимых факторов: форс-мажор FM , температура Ts , осадки Y . В свою очередь, осадки представлены двумя факторами Ys и Yr . В итоге на дебит месторождения влияют 4 сезонных компонента: форс-мажор FM , таяние ледников Is , количество выпавших осадков: снег Ys и дождь Yr .

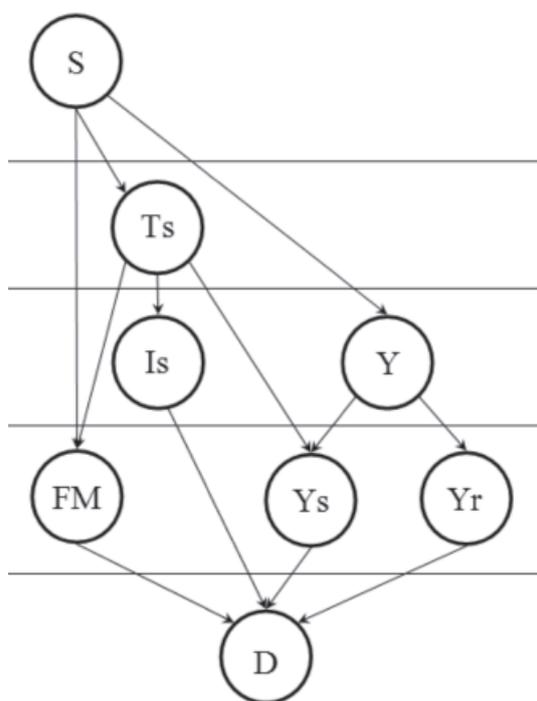


Рис. 2. Модель влияния природных факторов на дебит месторождения:

S – сезон (время года); FM – форс-мажорные обстоятельства; Ts – температура;
 Y – осадки; Is – ледники; Ys – снег;
 Yr – дождь; D – дебит

Сначала определяется сезон, во время которого происходит расчет. Сезон влияет на вид осадков и их количество, а также на форс-мажорные обстоятельства. Основное влияние сезон оказывает на температуру воздуха, так как для каждого сезона характерна своя норма минимума и максимума температур. В свою очередь температура также оказывает влияние на форс-мажорные обстоятельства, которые могут кардинальным образом повлиять как на гидрогеологические параметры водных горизонтов, так

и на процесс формирования минеральных вод. Связь температуры и форс-мажорных обстоятельств очевидна, так как температура является необходимым сопутствующим условием появления большей части из них. Непосредственно на осадки температура влияет частично. Так как температура воздуха влияет на дождь меньше, чем на таяние снега и ледников, предлагается рассматривать влияние температуры на два этих фактора. В итоге по вероятностям наступления событий, например, «нормальный дебит после снежной зимы» рассчитывается возможный вид дебита.

Для апробации применения Байесовских сетей предлагается рассмотреть алгоритм работы представленной выше модели на следующем примере (табл. 1). Предположим, что необходимо определить только влияние осадков на дебит месторождения. Осадки – это основной источник формирования подземных вод. В зависимости от количества осадков выделены несколько видов интенсивности дебита: низкий дебит, нормальный дебит и высокий дебит. С использованием многолетней статистической информации о климатических условиях региона были определены априорные вероятности:

$$\Pr(D_1) = 0,2; \Pr(D_2) = 0,5; \Pr(D_3) = 0,3,$$

где D_1 – низкий дебит; D_2 – нормальный дебит; D_3 – высокий дебит.

Статистические данные показывают, что наблюдаются следующие виды распределения месторождений по устойчивости дебита с учетом климатических факторов. Если зима была снежной, то распределение выглядит следующим образом:

$$\Pr(Y_1|D_1) = 0,3; \Pr(Y_1|D_2) = 0,4;$$

$$\Pr(Y_1|D_3) = 0,8.$$

Если лето было дождливым, распределение месторождений можно записать в следующем виде:

$$\Pr(Y_2|D_1) = 0,5; \Pr(Y_2|D_2) = 0,7;$$

$$\Pr(Y_2|D_3) = 0,9.$$

В том случае, если климатические факторы привели к засушливому состоянию почвы (бесснежная зима, жаркое лето без осадков), наблюдается следующее распределение:

$$\Pr(Y_3|D_1) = 0,8; \Pr(Y_3|D_2) = 0,25;$$

$$\Pr(Y_3|D_3) = 0,1,$$

где D_i – событие; Y – свидетельство, поддерживающее гипотезу.

Таблица 1
Априорные и условные вероятности

	Низкий дебит	Нормальный дебит	Высокий дебит
Устойчивость	0,2	0,5	0,3
Снег	0,3	0,4	0,8
Дождь	0,05	0,7	0,9
Засушливый год	0,8	0,25	0,1

В процессе получения более актуальных данных вероятности событий будут повышаться, если данные подтверждают их, или уменьшаться, если они их опровергают. По формуле Байеса найдем апостериорные вероятности конкретного вида дебита:

$$\Pr(D_j | Y_n) = \frac{\Pr(Y_n | D_j) \Pr(D_j)}{\sum_{i=1}^m \Pr(Y_n | D_i) \Pr(D_i)}. \quad (1)$$

Расчет по формулам дает следующие апостериорные вероятности распределения дебита месторождений. Для примера предлагается рассмотреть ситуацию при подтверждении фактора «Снежная зима». Используя формулу (1), получим новое распределение с уточненными значениями вероятности дебита.

$$\Pr(D_1 | Y_1) = \frac{\Pr(Y_1 | D_1) \Pr(D_1)}{\sum_{i=1}^3 \Pr(Y_1 | D_i) \Pr(D_i)} = 0,12.$$

Соответственно

$$\Pr(D_2 | Y_1) = 0,4; \quad \Pr(D_3 | Y_1) = 0,48.$$

Таким образом, если фактор снежной зимы имеет вероятность 1, то наблюдается увеличение вероятности события «нормальный дебит» и некоторое снижение вероятностей событий «низкий/высокий дебит».

По итогам вычислений были определены апостериорные вероятности определенного вида интенсивности дебита при подтверждении конкретного фактора осадков. Результаты вычислений представлены в табл. 2.

Таблица 2
Апостериорные вероятности

	Низкий дебит	Нормальный дебит	Высокий дебит
Снег	0,12	0,4	0,48
Дождь	0,016	0,556	0,429
Засушливый год	0,508	0,397	0,095

Далее указанный расчет повторяется в новой итерации с новыми статистиче-

скими данными. При каждом перерасчете в модели берется статистика за последние 10 лет, таким образом, в каждой новой итерации рассматривается временной промежуток (десятилетие), который постоянно сдвигается. При этом правой границей временного промежутка является предыдущий год. Можно использовать другую методику итерации: условные вероятности рассчитываются по данным за длинный промежуток времени, априорные вероятности берутся из данных за последний год. При следующей итерации подставляются данные текущего года.

Выводы

Таким образом, в результате проведенного исследования построена модель управления дебитом месторождения. При построении модели используются Байесовские сети. Модель строится в предположении, что на дебит месторождения случайным образом оказывает влияние группа экономических и группа природных факторов. Построены графические модели, иллюстрирующие воздействие факторов на дебит. Проведены расчеты зависимости дебита от природных факторов. Получены результаты, показывающие достоверность применения методики для решения многокритериальной задачи в условиях неопределенности. Результаты проведенного исследования могут быть использованы для разработки систем управления эксплуатацией месторождений минеральных вод.

Байесовский подход к моделированию алгоритма работы системы управления дебитом позволяет провести оценку дебита с учетом сезонных и экономических факторов. На основе данного подхода может быть построена также прогнозная модель.

Применение байесовских методов для моделирования процессов, параметры которых могут быть оценены только вероятностными характеристиками, дает хорошие практические результаты в разных предметных областях [3–6]. В данном исследовании сети Байеса используются для определения оптимального эксплуатационного режима, обеспечивающего устойчивость гидрогеологических параметров месторождений минеральных вод.

Список литературы

1. Мартиросян К.В., Мартиросян А.В. Описание и гидрогеологическое строение Нагутского гидрогеологического района // Сборник докладов второго национального научного форума «Нарзан – 2013» (Кисловодск 25–27 сентября 2013). – Пятигорск, 2013. – С. 122–137.
2. Мартиросян А.В., Мартиросян К.В. Моделирование системы управления с распределенными параметрами применительно к гидроминеральным ресурсам Кавказских

Минеральных Вод // Системный синтез и прикладная синергетика: статья сборника научных трудов (Пятигорск, 7–11 октября 2013). – Пятигорск, 2013. – т. 3, № 5 – С. 224–233.

3. Martirosyan K.V., Martirosyan A.V. Modeling of information system «Caucasus Mineral Water's hydromineral resources» // Science and Society: abstract int. conf. (London, 22–23 august 2013). – London, 2013, № 4. – P. 158–165.

4. Martirosyan K.V., Martirosyan A.V., Kapylova T.S. The model of mineral water deposits sustainable management using the decision support system // World Applied Sciences Journal – Dubai, 2013, № 27. – P. 101–106.

5. Мартиросян К.В., Мартиросян А.В., Мишин В.М. Компьютерное моделирование системы поддержки принятия решений «Санаторно-курортное лечение» // Фундаментальные исследования – М., 2013. – № 10. ч.3. – С. 504–508.

6. Yanukyana E.G., Martirosyan A.V., Martirosyan K.V. Application of the Bayesian network for the development of decision support system «Sanatorium-and-spa resorts» // Science and Society: abstract int. conf. (London, 20-21 march 2013). – London, 2013, № 3. – P. 58–62.

References

1. Martirosyan K.V., Martirosyan A.V. Opisanie i gidrogeologicheskoe stroenie Nagut'skogo gidrogeologicheskogo rayona // Sbornik dokladov vtorogo natsionalnogo nauchnogo foruma «Narzan 2013». Pyatigorsk: RIA-KMV, 2013. pp. 122–137.

2. Martirosyan K.V., Martirosyan A.V. Modelirovanie sistemy upravleniya s raspredelennymi parametrami primenitelno k gidromineralnym resursam Kavkazskikh Mineralnykh Vod

// *Sistemnyy sintez i prikladnaya sinergetika: statya sbornika nauchnykh trudov*. Pyatigorsk, 2013, t. 3, no. 5 pp. 224–233.

3. Martirosyan K.V., Martirosyan A.V. Modeling of information system «Caucasus Mineral Water's hydromineral resources» // *Abstract 4th International Scientific and Practical Conference «Science and Society»*. London: SCIEURO, 2013. pp. 58–62.

4. Martirosyan K.V., Martirosyan A.V., Kapylova T.S. World Applied Sciences Journal, 2013, no. 27, pp. 101–106.

5. Martirosyan K.V., Martirosyan A.V., Mishin V.M. Fundamentalnye issledovaniya fundamental research, 2013, no. 10, pp. 504–508.

6. Yanukyana E.G., Martirosyan A.V., Martirosyan K.V. Application of the bayesian network for the development of decision support system «Sanatorium-and-spa resorts» // *Abstract 3rd International Scientific and Practical Conference «Science and Society»*. London: SCIEURO, 2013. pp. 58–62.

Рецензенты:

Казуб В.Т., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Физика и математика», Пятигорский медико-фармацевтической институт, филиал Волгоградского государственного медицинского университета, г. Пятигорск;

Першин И.М., профессор, д.т.н., зам. директора по НР, ФГБОУ ВПО «Северо-Кавказский федеральный университет», филиал, г. Пятигорск.

Работа поступила в редакцию 25.12.2013.