

УДК 519.876.2

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ СИНТЕЗА УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИМ ОБЪЕКТОМ НА ПРИМЕРЕ НАГУТСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД

Мартиросян А.В., Мартиросян К.В.

Институт сервиса, туризма и дизайна (филиал) ФГАОУ ВПО «Северо-Кавказский федеральный университет», Пятигорск, e-mail: martalex11@mail.ru

В данной статье рассмотрена методика синтеза регулятора для системы управления процессом эксплуатации месторождения минеральных вод. Объектом управления принято Нагутское месторождение минеральных вод, являющееся наиболее крупным в регионе Кавказских Минеральных Вод, но имеющее сложное гидрогеологическое строение. Сформулированы причины необходимости разработки и внедрения системы управления на данном месторождении. Разработана схема строения сегмента Нагутского месторождения. Разработка системы управления предполагает использование метода аналитического конструирования оптимальных регуляторов. Этот метод успешно используется для синтеза регуляторов систем управления месторождениями. Рассмотрен первый шаг синтеза регулятора – разработка математической модели. Представлен общий подход к разработке математической модели месторождения минеральных вод. Сформулированы причины необходимости разработки математической модели месторождения, которая способна наиболее точно описывать структуру месторождения минеральных вод.

Ключевые слова: теория управления, системы управления, синтез регулятора, математическая модель, месторождения минеральных вод, Нагутское месторождение минеральных вод

FORMULATION OF THE CONTROL ACTION SYNTHESIS PROBLEM FOR COMPOUND HYDROGEOLOGICAL OBJECT EVIDENCE FROM NAGUTSKOE MINERAL WATER FIELD

Martirosyan A.V., Martirosyan K.V.

Institute of Service, Tourism and Design (branch) of North-Caucasus Federal University, Pyatigorsk, e-mail: martalex11@mail.ru

In this article the technique of controller synthesis for a control system of mineral water field's operational is considered. As the management object the Nagutskoe mineral water field's was accepted, being the largest in the region of Caucasus Mineral Waters region, but having a complex hydrogeological structure. The reasons of need of development and deployment of a control system on this field are formulated. The scheme of a segment structure of a Nagutsky field is developed. The development of the control system assumes to use of a method of optimum regulator's analytical designing. This method is successfully used for synthesis of regulators of the field aim control systems by fields. The first step of synthesis of the regulator – development of mathematical model is considered. The general approach to development of optimum regulators mathematical model is presented. The reasons of the development need of fields mathematical model which is capable to describe structure of a mineral water field's most precisely are formulated.

Keywords: control theory, control systems, controller synthesis, mathematical model, mineral water field, Nagutskoe mineral water field

В настоящее время все большую популярность обретает изучение теории управления. Данная тенденция вызвана необходимостью организации оптимального управления сложными объектами, такими как летательный аппарат, месторождение минеральных вод и т.д. Основной проблемой теории управления является задача разработки оптимального метода управления. Первые шаги в изучении данной проблемы были сделаны в первой половине 20 века. Первые исследования были основаны на объединении таких областей математической теории, как вариационное исчисление и численные методы оптимизации. Основоположителем решения задачи управления принято считать Р. Беллмана,

создавшего метод динамического программирования. Суть метода Беллмана заключалась в решении дифференциального уравнения в частных производных Беллмана, которое является достаточным условием минимума функционала [6].

Несмотря на длительное время изучения задач управления, разработанные методики нуждаются в доработке. Одним из наиболее оптимальных методов управления является метод аналитического конструирования оптимальных регуляторов (АКОР). Метод был разработан учеными А.М. Летовым и Р. Калманом (R. Kálmán). Профессор Летов смог осуществить постановку задачи синтеза оптимального управления в аналитической форме. Синтез оптимального

управления на основании математической модели объекта управления и выбранного критерия оптимальности сводится к аналитическому расчету оптимального регулятора. Американский профессор Калман разработал метод, подобный АКОР, метод пространства состояний, который стал основой современной теории управления. Главной заслугой Калмана считается достижение возможности применения метода не только для детерминированной, но и для стохастической динамической системы (со случайным переходным процессом) [5].

В настоящее время метод АКОР получил широкое распространение и применяется в разных научных областях. Предлагается рассмотреть применение метода АКОР для синтеза систем управления гидролитосферными объектами. Наиболее полные исследования в данной области принадлежат И.М. Першину и В.А. Малкову [2]. Данный метод был применен для синтеза регулятора применительно к месторождениям минеральных вод (Кисловодское и Георгиевское месторождения). В данной работе предлагается рассмотреть возможность применения метода АКОР для управления дебитом Нагутского месторождения. К сожалению, объем данной статьи не позволяет полностью рассмотреть процесс синтеза регулятора, поэтому будет рассмотрен первый этап – разработка математической модели.

Актуальность темы обусловлена необходимостью разработки и внедрения в практику универсального метода синтеза систем управления сложными объектами [7].

Постановка задачи

В качестве объекта управления предлагается использовать Нагутское месторождение минеральных вод. Данный выбор обусловлен необходимостью организации рационального природопользования.

В регионе Кавказских Минеральных Вод (КМВ) наблюдается ухудшение состояния месторождений минеральных вод. Все больше скважин и источников пересыхают и перестают существовать. Данная проблема возникает в связи с тем, что месторождения используются по максимуму. После долгих лет эксплуатации становится все сложнее обеспечить потребности лечебно-профилактических учреждений и простых потребителей [9]. В связи с высоким спросом на минеральную воду и нарзаны предприятия вынуждены поддерживать экстремально высокий темп добычи, что не может не сказываться на гидролитосфере региона.

Синтез системы управления для контроля состояния Нагутского месторождения

является задачей, которую необходимо решить для обеспечения сохранности гидроминеральной базы [10]. В качестве первого шага синтеза системы управления предлагается рассмотреть математическую модель объекта управления.

Объект управления

Нагутское месторождение является самым крупным в регионе КМВ, но вследствие сложных пространственных газогидрохимических и термогидродинамических условий распространения и движения подземных вод существуют определенные трудности в эксплуатации ресурса. Во время открытия Нагутского месторождения при неконтролируемом изливе минеральной воды для заделки скважины потребовались составы железнодорожных вагонов с цементом. Повторение подобных аварийных ситуаций допускать нельзя, так как это может обернуться критическими нарушениями гидролитосферы региона.

В настоящее время эксплуатация месторождения идет в небольших объемах. Разработке данного месторождения не оказывалось должного внимания из-за отсутствия причин его активного использования. В данный момент, учитывая возрастающую угрозу нанесения непоправимого вреда гидроминеральной базе региона, необходим ввод дополнительных мощностей по добыче воды. Соответственно, актуальной становится проблема активной эксплуатации Нагутского месторождения.

В Нагутском месторождении присутствуют 4 основных типа углекислых вод: Нарзанский, Ессентукский, Железноводский и Пятигорский. Состав вод формируется под влиянием процессов выщелачивания вмещающих пород, катионного обмена и смешения. Активность данного процесса наиболее высока в верхних частях разреза, так как глубинные газонасыщенные воды поступают по разломам фундамента ближе к поверхности [4]. Именно здесь, смешиваясь и оттесняя менее минерализованные потоки, формируется окончательный химический и температурный облик восходящих вод.

На данный момент разработкой месторождения занимается компания ОАО «Минеральные Воды Ставрополя». На месторождении эксплуатируются 5 скважин (таблица) [3].

Прогнозный объем добычи минеральной воды составляет до 30000 м³/сут. При организации рациональной добычи такие объемы могли бы компенсировать проблемы с эксплуатацией других месторождений региона.

Таблица эксплуатационных скважин Нагутского месторождения (2013 г.)

Скважина	Тип воды	Температура (°С)	Минерализация (г/л)	Глубина залегания (м)	Дебит (м³/сут)
9 бис	«Ессентукский-17»	42	12,2	987	440
26-Н	«Нагутский 26»	60	5,2	1502	260
47	«Ессентукский-17»	40	11,1	550	700
49	«Ессентукский-4»	52	8,4	1502	180
56-Э	«Нагутский 56»	58	8,5	1116	215

Методика расчета

Одним из способов определения характера и выявления тенденций протекания процессов, проходящих в месторождении минеральных вод, является разработка математической модели. В общем виде

математическая модель месторождения представляет собой систему дифференциальных уравнений, состоящую из уравнения геофильтрации и уравнения массопереноса. При определенных допущениях данная система имеет следующий вид:

$$\left\{ \begin{aligned} \eta^* \frac{\partial H}{\partial t} &= \frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial H}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k_z \frac{\partial H}{\partial z} \right); \\ \eta^* \frac{\partial C}{\partial t} &= \frac{\partial}{\partial x} \left(D_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) - \frac{\partial (v_x C)}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) - \frac{\partial (v_y C)}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) - \frac{\partial (v_z C)}{\partial z} + \omega, \end{aligned} \right. \quad (1)$$

где η^* – упругость пласта; k_x, k_y, k_z – коэффициенты фильтрации по соответствующим координатам; H – функция напора; n – активная пористость; D_x, D_y, D_z – коэффициент гидродинамической дисперсии; C – концентрация исследуемого компонента; v_x, v_y, v_z – компоненты скорости фильтрации по соответствующим координатам; ω – параметр, характеризующий интенсивность внутрипластовых обменных процессов.

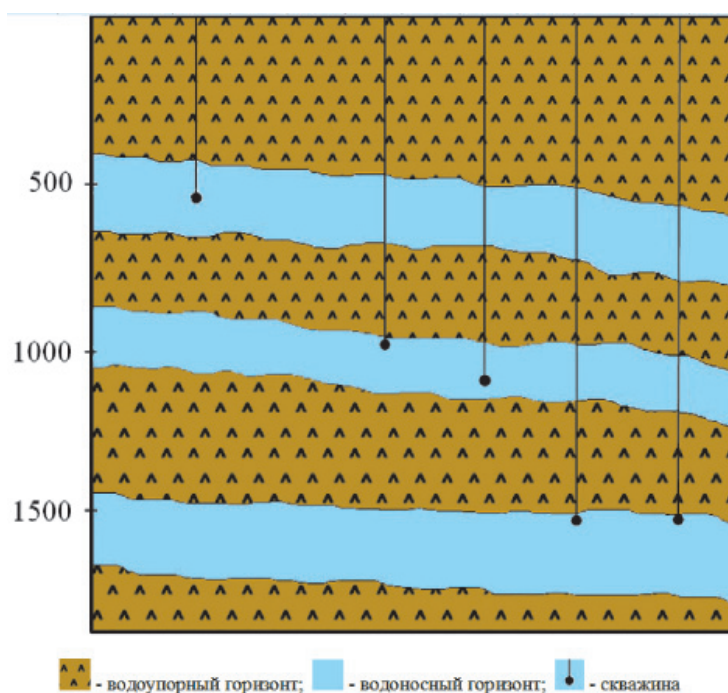


Рис. 1. Условное представление разреза Нагутского месторождения

Данная методика применялась на других месторождениях минеральных вод. Предлагается рассмотреть в качестве основного принцип разработки математической модели Кисловодского месторождения, выполненной главным гидрогеологом ОАО «Нарзан» В.Ф. Дубогреем. Вслед-

сти месторождения. Флюиды, находясь под огромным давлением, создают разломы в водонепроницаемых пластах, отчего меняются гидрогеологические условия всего месторождения в целом. На рис. 2 представлена условная схема сегмента Нагутского месторождения с отмеченными зонами разрывов.

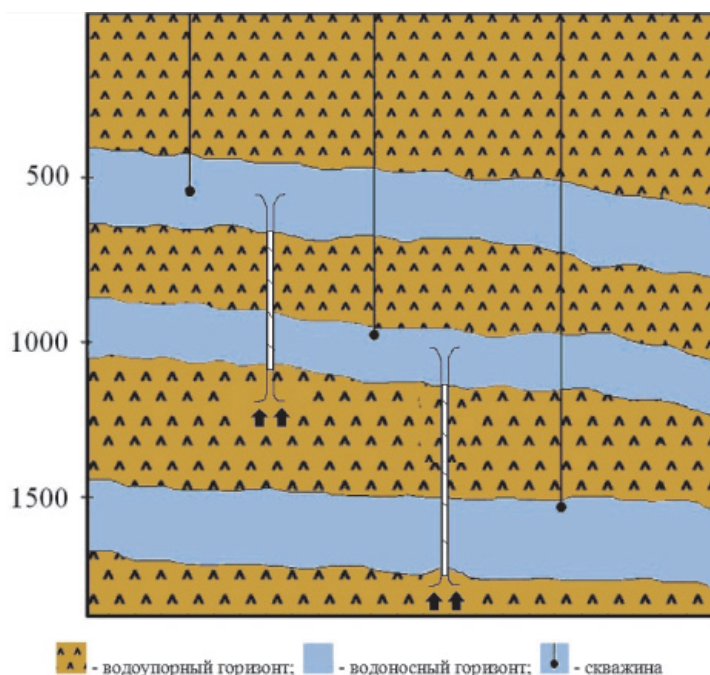


Рис. 2. Разрез Нагутского месторождения с учетом разломов

ствие использования достоверных производственных данных, разработанные математические модели успешно прошли апробацию и показывают хорошие результаты моделирования [1].

При классическом подходе к моделированию месторождений, который и был использован на Кисловодском месторождении, пласты месторождения минеральных вод принимаются ровными, без расширений, перепадов уровня и т.д. Если вернуться к объекту управления (Нагутскому месторождению), то в общем случае структурная схема месторождения изображена на рис. 1.

Данная методика была много раз апробирована, и её использование дает качественные результаты. В случае Кисловодского месторождения, где пласты имеют природную ровную форму, указанная методика применима в классическом виде. Однако Нагутское месторождение, залегающее на гораздо большей глубине, имеет нестандартную структуру. Одним из главных факторов образования необычной структуры является обильное скопление флюидов в нижней ча-

сти месторождения. Роль глубинных разломов в качестве активных проводников высокоэнергетичных флюидов, инициирующих процессы формирования горных пород, руд и минеральной воды, в настоящее время изучается многими исследователями. Движущая сила переноса флюидов – громадные градиенты давления между глубинами и поверхностью Земли. Одной из моделей переноса флюидов по разрезу литосферы является миграция флюидов в зонах разломов по трещинам и порам. Эксперименты на установках высокого давления привели к открытию интенсивного движения глубинных флюидов пород-тектонитов, слагающих зону глубинного разлома. Оказалось, что по массовости этот механизм на несколько порядков превосходит объемный флюидный перенос по зонам трещиноватости и заключается в скольжении пленок флюида вдоль плоскостей расщепления почти на субмолекулярном уровне. Стало очевидным, что зона тектонитов – путь универсального и интенсивного массопереноса породообразующих, флюидных и рудных компонентов по разрезу литосферы [8]. Лишь в самых

верхних частях разломов, где пластические деформации переходят в хрупкие, изменяется характер флюидов – из пленочных они становятся существенно объемными, мигрируя по системе крупных пор и трещин. Соответственно этому меняется их взаимодействие с породами и формы отложения минералов. Данные механизмы слабо изучены и требуют дальнейших исследований. Необходимость отражения указанных процессов в математической модели месторождения является очевидной.

Выводы

В данной статье был описан общий подход к математическому моделированию процессов, проходящих в гидrolитосфере. Рассмотренная классическая модель применима ко всем месторождениям минеральных вод. Описана важность и необходимость синтеза регулятора для системы управления эксплуатацией Нагутского месторождения. Обоснована необходимость разработки математической модели Нагутского месторождения, в которой будут учтены внутренние разломы и процессы движения флюидов. Влияние массопереноса флюидных компонентов на процессы, протекающие в месторождении, необходимо учитывать при синтезе регулятора.

Список литературы

1. Дубогрей, В.Ф. Математическая модель геофильтрации Кисловодского месторождения углекислых минеральных вод // Национальный форум «Нарзан 2013». – Пятигорск: РИА-КМВ, 2013. – С. 276–287.
2. Малков А.В., Першин И.М. Синтез распределенных регуляторов для систем управления гидrolитосферными процессами. – М.: Научный мир, 2007.
3. Мартиросян А.В., Мартиросян К.В. Модели обеспечения устойчивых режимов эксплуатации месторождений минеральных вод на при мере Нагутского месторождения // Недропользование – XXI век. – 2014. – № 6а (44). – С. 88–93.
4. Отчет о детальных поисках на Нагутском месторождении минеральных вод в Ставропольском крае // Кавминводская комплексная гидрогеологическая экспедиция. – Издательство: ККГЭ, 1980. – Т. 1.
5. Рапопорт Э.Я. Анализ и синтез автоматических систем управления с распределенными параметрами. – М.: Высшая школа, 2005.
6. Рафиков Г.Ш. Цифровые системы управления. Конспект лекций. – Донецк 1999.
7. Янукян Э.Г., Мартиросян К.В., Мартиросян А.В. Разработка модели управления дебитом месторождений минеральных вод с применением сетей Байеса // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 11. ч. 6. – С. 1158–1162.
8. Chernyshev A.B., K.V. Martirosyan, A.V. Martirosyan, 2014. Analysis of the nonlinear distributed control system's sus-

tainability // Journal of Mathematics and Statistics 10 (3). Date Views 12.07.2014. – <http://thescipub.com/abstract/10.3844/jmssp.2014.316.321>.

9. Martirosyan K.V., Martirosyan A.V. Modeling of information system «Caucasus Mineral Water's hydromineral resources» // Science and Society: 4rd International Scientific and Practical Conference. – London: SCIEURO, 2013.

10. 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. – 2013. – № 27(1). Date Views 24.05.2014 [www.idosi.org/wasj/wasj27\(1\)13/17.pdf](http://www.idosi.org/wasj/wasj27(1)13/17.pdf).

References

1. Dubogrej, V.F. Matematicheskaja model geofiltracii Kislodvodskogo mestorozhdenija uglekislyh mineralnyh vod // Nacionalnyj forum «Narzan 2013». Pjatigorsk: RIA-KMV, 2013. pp. 276–287.
2. Malkov A.V., Pershin I.M. Sintez raspredelennyh reguljatorov dlja sistem upravlenija gidrolitosfernymi processami. M.: Nauchnyj mir, 2007.
3. Martirosjan A.V., Martirosjan K.V. Modeli obespechenija ustojchivyh rezhimov jekspluatacii mestorozhdenij mineralnyh vod na pri mere Nagut'skogo mestorozhdenija // Nedropolzovanie XXI vek. 2014. no. 6a (44). pp. 88–93.
4. Otchet o detalnyh poiskah na Nagut'skom mestorozhdenii mineralnyh vod v Stavropolskom krae // Kavminvodskaja kompleksnaja gidrogeologicheskaja jekspeicija. Inozemcevo: KKGJe, 1980. T. 1.
5. Rapoport Je.Ja. Analiz i sintez avtomaticheskikh sistem upravlenija s raspredelennymi parametrami. M.: Vysshaja shkola, 2005.
6. Rafikov G.Sh. Cifrovyje sistemy upravlenija. Konspekt lekcij. Doneck 1999.
7. Janukjan Je.G., Martirosjan K.V., Martirosjan A.V. Razrabotka modeli upravlenija debitom mestorozhdenij mineralnyh vod s primeneniem setej Bajesa // Fundamentalnye issledovaniya. 2013. no. 11. ch. 6. pp. 1158–1162.
8. Chernyshev A.B., K.V. Martirosyan, A.V. Martirosyan, 2014. Analysis of the nonlinear distributed control systems sustainability // Journal of Mathematics and Statistics 10 (3). Date Views 12.07.2014. <http://thescipub.com/abstract/10.3844/jmssp.2014.316.321>.
9. Martirosyan K.V., Martirosyan A.V. Modeling of information system «Caucasus Mineral Waters hydromineral resources» // Science and Society: 4rd International Scientific and Practical Conference. London: SCIEURO, 2013.
10. 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. 2013. no. 27(1). Date Views 24.05.2014 [www.idosi.org/wasj/wasj27\(1\)13/17.pdf](http://www.idosi.org/wasj/wasj27(1)13/17.pdf).

Рецензенты:

Малков А.В., д.т.н., профессор, директор ОАО «Нарзан», г. Кисловодск;
Першин И.М., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Управление в технических и биомедицинских системах», Институт сервиса, туризма и дизайна (филиал) ФГАОУ ВПО «Северо-Кавказский федеральный университет», г. Пятигорск.