

УДК 28;50

И.М. Першин, А.В. Малков, В.В. Цаплева

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЭКСПЛУАТАЦИИ
ГИДРОМИНЕРАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ**

Основным итогом природопользования на сегодняшний день является истощение и загрязнение водных ресурсов, нарушение природных круговоротов и рост энтропии биосферы. В связи с этим одной из первоочередных задач является рациональное и экологически безопасное использование природных ресурсов. Рассматривается обеспечение технологической безопасности эксплуатации гидроминеральных источников региона КМВ с помощью применения соответствующих методик проектирования систем управления. Показано формирование целевых функций для рассматриваемых систем управления, учитывающих оптимальные нагрузки на водоносные горизонты исходя из требований нормативных документов России, экологии и рельеф местности.

Технологическая безопасность; гидrolитосферные процессы; целевые функции; распределенные системы управления.

I.M. Pershin, A.V. Malkov, V.V. Tsapleva

PROCESS SAFETY MANUAL SOURCES HYDROMINERAL

The main result of nature use on present-day is the depletion and pollution of water resources, Breach of the nature rotation. In connection with it the main task is the rational and ecologically safety nature resources using. In this article are considered the ensuring of the technological safety of hydromineral springs of KMV region exploitation with the aid of using the methods of the planning of the control systems in this article is showed. The forming of special-purpose functions for the considered control systems which take optimal loads on the water carry horizons into consideration proceeded from the demands of normative documents of Russia, ecology and the relief of the region.

Technological security gidrolitosfernye processes; the target function; distributed control systems.

Район Кавказских Минеральных Вод (КМВ), имеющий статус особо охраняемого эколого-курортного региона, занимает особое место среди курортных регионов России благодаря богатству, разнообразию, количеству и ценности минеральных вод, ландшафтных и климатических условий, лечебных грязей. В пределах описываемого района расположены крупные всемирно известные города-курорты – Кисловодск, Ессентуки, Пятигорск, Железноводск, экономическая специализация которых определяется во многом наличием месторождений углекислых минеральных вод различных типов, используемых для санаторно-курортного лечения и промышленного розлива. В последнее время особенно возросли темпы освоения ресурсов минеральных вод для целей промышленного розлива, что связано со становлением и развитием в регионе рыночной экономики. Это обусловило разведку и эксплуатацию других, ранее мало известных месторождений и участков, расположенных далеко за пределами городов-курортов.

Наиболее важными источниками минеральных вод, имеющих известность за пределами России, являются месторождения Кисловодска (минеральная вода «Нарзан»), Ессентуков (минеральные воды «Ессентуки № 4», «Ессентуки № 17», «Ессентуки № 20»), Железноводска (минеральные воды «Славяновская», «Славянская»), приуроченные к юрским, меловым и палеогеновым отложениям. Геолого-тектонические особенности территории отразились в особенностях формирования химизма и гидродинамического режима минеральных вод указанных источников. В основном это углекислые или слабоуглекислые минеральные воды, довольно

пестрые по химическому составу и широкому спектру бальнеологических свойств. Пьезометрические напоры водоносных горизонтов располагались выше поверхности земли, что обеспечивало долгое время высокую степень защищенности минеральных источников от вторжения грунтовых и поверхностных вод, санитарно-гигиеническое состояние которых никак нельзя признать удовлетворительным.

Проведенный анализ за два последних десятилетия позволяет сделать вывод, что реальная картина гидролитосферы региона существенно отличается от ожидаемой:

- ◆ объем добычи минеральных вод увеличился более чем вдвое, что существенным образом изменило общую картину распределения природных вертикальных гидравлических градиентов в верхней части гидролитосферы, причем без какого-либо серьезного обоснования режимов эксплуатации. Дело в том, что гидравлическая связь между водоносными горизонтами достаточно тесная, и в зонах интенсивного технического воздействия на гидролитосферу вертикальные гидравлические градиенты поменяли свое направление на противоположное;
- ◆ в результате такого воздействия на многих месторождениях стало наблюдаться падение качественных показателей минерального состава подземных вод. Так, на Центральном источнике Кисловодского месторождения за последние 20 лет снижение кондиций произошло с 2,0 до 1,6 г/дм³, по скважине № 5/0-бис с 1,7 до 1,0 г/дм³. На Лысогорском источнике горько-соленых лечебных вод, входящих в 1988 г. в ГОСТ 13273-88 «Воды минеральные, питьевые, лечебные и лечебно-столовые», дважды менялись технические условия (в 1998 и 2005 гг.) в связи с серьезным падением кондиционного состава. Не лучшим образом обстоят дела на Ессентукском месторождении минеральных вод, где отмечается устойчивая деградация минеральных вод (Новоблагодарненский участок и др.);
- ◆ изменение естественных вертикальных гидравлических градиентов на противоположное направление предполагает активизацию нисходящих потоков и поступление загрязненных коммунально-бытовыми стоками грунтовых и поверхностных вод в рабочие водоносные горизонты;
- ◆ существенная доля негативного влияния на гидролитосферу объясняется не санкционированным (по темной схеме) отбором минеральных вод из скважин и участков в объемах, значительно превышающих утвержденные в ГКЗ РФ запасы;
- ◆ приобретение КМВ статуса особо охраняемого эколого-курортного региона мало отразилось на улучшении экологической обстановки. Более того, рыночные отношения сняли многие запреты, ранее не подлежавшие даже обсуждению. Так, в пределах Центральные источники курорта Кисловодск (скв. № 12) построен гостиничный комплекс;
- ◆ -нельзя не отметить ситуацию с минеральными подземными водами горнодобывающих карьеров, где производилась разработка урановых руд (г. Лермонтов). Шахтные воды, обогащенные радоном, до сих пор изливают на рельеф, и далее они поступают в поверхностные и подземные воды, нанося непоправимый ущерб как поверхностным, так и подземным источникам. Это касается всех вод, расположенных ниже по течению от г. Лермонтова и г. Пятигорска. Рекультивация отвалов и всех технологических объектов предприятия добычи урана конечно дала определенные результаты, но для подземных вод, расположенных в непосредственной близости от источников загрязнения горнорудного предприятия и ниже по потоку, ситуация изменилась не очень существенно и по настоящее время эта проблема остается весьма актуальной.

В силу указанного выше, существует потенциальная опасность деградации месторождений минеральных вод. Степень вероятности такого исхода определяется совместным воздействием физико-химических процессов сорбции, диффузии, конвективного массопереноса, особенностями геолого-гидрогеологического строения гидrolитосферы, климатическими факторами и режимами эксплуатации каптажных сооружений. В зависимости от соотношения этих процессов может происходить либо самоочистка нисходящих потоков, либо заражение смежных водоносных горизонтов. Эти процессы характеризуются высокой инерционностью и очень растянуты во времени. Оценить характер и тенденции в их развитии возможно только на основе математического моделирования, охватывающего периоды упреждения в несколько сотен лет.

С учетом этого основной проблемой для региона КМВ является сохранение основных базовых элементов курортной индустрии и в первую очередь минеральных источников, на базе которых существуют многочисленные заводы розлива и санаторно-курортные учреждения.

Сформулированная выше проблема управления гидrolитосферными процессами требует перехода на принципиально новую концепцию – *обеспечение технологической безопасности эксплуатации гидроминеральных источников* рассматриваемого региона. Для этого необходимо:

- 1) провести диагностику состояния гидrolитосферы региона и дать прогноз развития гидрогеологических процессов на краткосрочную и долгосрочную перспективы;
- 2) рассчитать оптимальные нагрузки на водоносные горизонты исходя из требований ГКЗ РФ, экологии, сан. гигиены и долгосрочных планов эксплуатации гидроминеральной базы региона (определить целевые функции систем управления);
- 3) спроектировать системы управления дебитом добывающих скважин
- 4) исходя из достижения соответствующего состояния поля депрессионной воронки, отражающего желаемый технологический режим эксплуатации месторождения минеральных вод;

Технологическая безопасность эксплуатации гидроминеральных источников обеспечивается соответствующими системами управления. При проектировании таких систем следует учесть два аспекта:

- ◆ строение геологических объектов, как правило, до конца неизвестно. Изучение требует значительных затрат и сопровождает весь процесс эксплуатации месторождения, даже после завершения разработки. Эффективность работы водоносной системы определяется большим количеством различных геологических, экологических, технических и экономических факторов. Математические модели рассматриваемых объектов управления, как правило, подвержены существенным параметрическим возмущениям. Эти возмущения влияют на динамические характеристики объекта, следовательно, и на динамические характеристики переходных процессов в замкнутой системе управления;
- ◆ целевая функция должна учитывать оптимальные нагрузки на водоносные горизонты исходя из требований ГКЗ РФ, экологии, сан. гигиены, рельефа местности. Требуется разработать систему управления режимами эксплуатационных скважин, обеспечивающих требуемые гидродинамические параметры в точках расположения наблюдательных скважин (например, управляя дебитом скважин, обеспечим заданные уровни понижения уровня в точках расположения наблюдательных).

Формально рассматриваемая задача описывается следующим образом. Имеется объект управления, у которого определены вектор входных воздействий и вектор функций выхода. Требуется синтезировать регулятор, обеспечивающий перевод вектора функции выхода в наперед заданное состояние, путем управления вектором входных воздействий.

Конечно, это самый распространенный случай, но далеко не единственный. Рациональный режим, исходя из природных условий объекта, может быть и иным, и в качестве целевой функции рассматриваться другая. Например, при подсосе в процессе эксплуатации минеральных вод из более глубоких, гидравлически связанных водоносных горизонтов, в качестве критериальной функции может рассматриваться предельно возможная разница в напорах смежных горизонтов, обеспечивающая минимальное количество поступающих солей, или же вообще ставиться задача о сохранении кондиционного состава подземных вод. Однако в любом случае речь будет идти об управлении гидродинамическими процессами, поскольку они первичны. Изменение минерального состава или микробиологических свойств – вопрос вторичный, вызванный техногенной нагрузкой на объект, и решение подобных задач в любом случае будет связано с обоснованием гидродинамических режимов эксплуатации объекта и долгосрочных планов эксплуатации гидроминеральной базы региона.

Постановка задачи синтеза распределенных систем управления: для системы управления гидролитосферным процессом (задана либо математическая модель с определенными параметрическими возмущениями, либо имеется возможность оценить динамику объекта управления с использованием экспериментальных данных [4]) синтезировать распределенный высокоточный регулятор (РВР), реализующий распределенный пропорционально-дифференциально-интегральный закон управления. При этом на запасы устойчивости разомкнутой системы по модулю $\Delta L(G)$, по фазе $\Delta \varphi(G)$ и на параметр Δ [3, 4] наложены соответствующие ограничения.

Передаточная функция рассматриваемого регулятора (РВР) записывается в виде [1, 2]

$$W(x, s) = E_1 \left[\frac{n_1 - 1}{n_1} - \frac{1}{n_1} \nabla^2 \right] + E_4 \left[\frac{n_4 - 1}{n_4} - \frac{1}{n_4} \nabla^2 \right] \frac{1}{s} + E_2 \cdot \left[\frac{n_2 - 1}{n_2} - \frac{1}{n_2} \nabla^2 \right] s,$$

где $E_1, E_2, E_4, n_1, n_2, n_4$ – параметры, значения которых определяются в процессе синтеза; s – оператор Лапласа; ∇^2 – лапласиан.

Процедура синтеза РВР приведена в [3, 4]. При этом при выборе значения параметра Δ учитываются параметрические возмущения объекта управления.

Входным воздействием на объект управления служит функция $U(x_1, \tau)$ (положение пьезометрического уровня в области расположения добывающих скважин, которое известными соотношениями [2, 3] связано с дебитом добывающих скважин), а функцией выхода $H(x_2, \tau)$ (положение пьезометрического уровня в области расположения контрольных скважин), определенные на заданном интервале. Структурная схема системы управления приведена на рис. 1.

Выбор целевой функции. Общая оптимизационная задача может быть сформулирована следующим образом [1]. Положим, что состояние системы зависит от n параметров x_1, x_2, \dots, x_n , на которые накладываются некоторые ограничения $\alpha_i \leq x_i \leq \beta_i$. Рассматривается некоторая функция F (целевая функция), зависящая от этих параметров: $F = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$.



Рис. 1. Схема системы управления

Требуется найти точку $(x_0^0) = \{x_1^0, x_2^0 \dots x_n^0\}$ в n -мерном пространстве, принадлежащую области V_d , в которой значение целевой функции экстремально:

$$\begin{cases} F = F(x_1^0, x_2^0 \dots x_n^0) \rightarrow \text{extr}, \\ \alpha_i \leq x_i \leq \beta_i, \\ \{x_1^0, x_2^0, \dots, x_n^0\} \in V_d. \end{cases} \quad (1)$$

Положим, что известно предельное положение уровня в любом водозаборном сооружении, никак не привязанное к нормативным срокам эксплуатации объекта:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n Q_i = Q_{\text{сум}}, \\ F = \sum_{i=1}^n \left(k_0 - \frac{H_i(t)}{H_{id}} \right)^2 \rightarrow \text{min}, \\ 0 \leq Q_i \leq Q_{\text{max}}, \\ m_{\text{min}} \leq m_c \leq m_{\text{max}}, \\ H_i(t) = H_{0i} + Q_i \cdot C_i + \sum_{j=1}^n Q_j \cdot C_j, \end{cases} \quad (2)$$

где $H_i(t)$ – текущее положение динамического уровня; k_0 – некоторый коэффициент пропорциональности; H_{0i} – начальное (статическое) положение уровня в рассматриваемом i -м водозаборе; Q_i, C_i – дебит скважины (водозабора) и удельное понижение соответственно; Q_j, C_j – дебит j -го взаимодействующего водозабора (скважины) с i -м и коэффициент гидравлического взаимодействия водозаборов (скважин) соответственно; H_{id} – предельно возможное понижение уровня в рассматриваемом каптаже; t_k – расчетный срок эксплуатации водозабора; $m_{\text{min}}, m_{\text{max}}$ – соответственно минимальное и максимально допустимое значения минерализации подземных вод; m_c – среднее значение минерализации смеси общего потока

Известна заявленная потребность в воде, а следовательно, и суммарный водоотбор. Независимо от конечных сроков эксплуатации, обеспечим такое распределение общего водоотбора между каптажными сооружениями, чтобы на любой текущий момент времени (t) выполнялось условие:

при $F = 0$:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^n Q_i = Q_{\text{сум}}, \\ k_0 = \frac{\sum_{j=1}^n H_i(t)}{H_{\text{id}}}, \\ 0 \leq Q_i \leq Q_{\text{max}}, \\ m_{\text{min}} \leq m_c \leq m_{\text{max}}, \\ H_i(t) = H_{0i} + Q_i \cdot C_i + \sum_{j=1}^n Q_j \cdot C_j. \end{array} \right. \quad (3)$$

Фактически (3) означает, что рациональным режимом эксплуатации является такой, который обеспечивает одинаковое соотношение динамического уровня к предельно допустимому во всех каптажах на любой момент времени, т.е. предельное положение уровня во всех точках будет достигнуто одновременно (рис. 2).

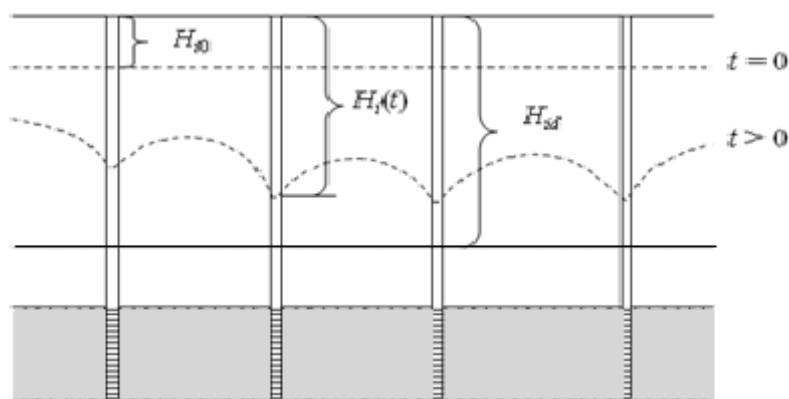


Рис. 2. Расчетная схема

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бочевер Ф.М. Теория и практические методы гидрогеологических расчетов эксплуатационных запасов подземных вод. – М.: Недра, 1968. – 325 с.
2. Гавич И.К., Теория и практика применения моделирования в гидрогеологии. – М.: Недра, 1980. – 358 с.
3. Малков А.В., Першин И.М. Синтез распределенных регуляторов для систем управления гидролитосферными процессами. – М.: Научный мир, 2007. – 252 с.
4. Першин И.М. Синтез систем с распределенными параметрами. – Пятигорск: Изд-во РИО КМВ, 2002. – 212 с.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н. Г.Е. Веселов.

Першин Иван Митрофанович – Пятигорский государственный гуманитарно-технологический университет; e-mail: ivmp@yandex.ru; 357502, г. Пятигорск, ул. Украинская, 56 А, корпус 3; тел.: 88793983293; кафедра управления и информатики в технических системах; зав. кафедрой; д.т.н.; профессор.

Малков Анатолий Валентинович – e-mail: anatol.malkov@yandex.ru; кафедра управления и информатики в технических системах; д.т.н.; профессор.

Цаплева Валентина Викторовна – e-mail: val-ryazanova@yandex.ru; кафедра управления и информатики в технических системах; аспирант.

Pershin Ivan Mitrofanovich – Pyatigorsk State Technological University for Humanities; e-mail: ivmp @yandex.ru; build. 3, 56 A, Ukrainskaya street, Pyatigorsk, 357502, Russia; phone: +78793983293; the department of management and informatics in technical systems; head department; dr. of eng. sc.; professor.

Malkov Anatoly Valentinovich – e-mail: anatol.malkov @ yandex.ru; the department of management and informatics in technical systems; dr. of eng. sc.; professor.

Tsapleva Valentina Victorovna – e-mail: val-ryazanova@yandex.ru; the department of management and informatics in technical systems; head department; postgraduate student.

УДК 141.201

Н.Л. Дмитриева, А.В. Непомнящий

**ПАРАДИГМАЛЬНОЕ СООТВЕТСТВИЕ В НАУКЕ КАК ДЕТЕРМИНАНТА
БЕЗОПАСНОСТИ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ**

Рассматриваются естественнонаучные парадигмы и их соответствие наблюдаемой действительности. Показано, что использование неадекватных действительности научных оснований приводит к нарушению устойчивости сложных систем, включающих в себя человека как элемента или как управляющей подсистемы. В качестве критерия адекватности научной парадигмы целям её использования предлагается принять её соответствие законам функционирования тех систем, в рамках которых возможно её использование как основания для обеспечения их устойчивости и безопасности. Другим определяющим критерием адекватности научной парадигмы служит её соответствие идее взаимосвязи существующего в его эволюционном движении, взаимосвязи биосферных и ноосферных процессов.

Парадигма; наука; система; устойчивость; безопасность; соответствие.

N.L. Dmitrieva, A.V. Nepomnyashchy

**CONFORMITY OF PARADIGMS IN SCIENCE AS A DETERMINANT OF
COMPLEX SYSTEMS SAFETY**

It is considered natural-science paradigms and their conformity of the observable validity. It is shown, that use of the scientific bases inadequate to the validity results in infringement of stability of the complex systems including the person as an element or as the managing subsystem. As criterion of adequacy of a scientific paradigm the purposes of its use are offered to accept its conformity to laws of functioning of those systems within the framework of which its use as the bases for maintenance of their stability and safety is possible. The other criterion of scientific paradigm adequacy is its conformity to the idea of interrelation all existing in evolutionary movement, interrelation biospheric and noospheric processes.

Paradigm; science; system; stability; safety; conformity.

Поскольку наука – есть система формирования знаний об объектах Мира путем их описания средствами того или иного языка, а любой даже непрерывно развивающийся язык обладает конечным алфавитом, т.е. представляет собой конечную замкнутую систему, для которой справедлива теорема К. Гёделя «О неполноте», согласно которой «в языке её описания существует истинное недоказуемое утверждение» [1], существование в науке парадигм (стартовых положений – оснований) – есть общеизвестная неизбежность. Выбор основания для развития той или иной научной отрасли, равно как и для всей науки в целом, также сопряжен с обозначенной выше трудностью, поскольку он производится внутри всё той же ограниченной языком системы, в силу чего доказать адекватность выбранного основания поставленным целям не представляется возможным без выхода за преде-