

В.В. Руденко, И.М. Галиулин

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ ВЫБОРА МЕТОДА МОНИТОРИНГА НА ТУЙМАЗИНСКОМ НЕФТЯНОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ

Создана интегрированная система мониторинга за сдвижением земной поверхности на основе блочной геолого-технологической модели с учетом выделенных значимых факторов по Туймазинскому месторождению нефти. Для установления характера и параметров сдвижения земной поверхности использованы в комплексе традиционные и современные методы наблюдений сейсмологические, геофизические, промыслово-геологические, гидрогеологические и др., а также результаты оценки влияния добычи углеводородов на породный массив и коллектор. Разработана новая многокритериальная модель оптимизации выбора метода мониторинга.

Ключевые слова: геолого-технологическая модель, мониторинг, деформации, оседания, коллектор, квалиметрия, модель оптимизации, многокритериальная задача, инвестиционный риск.

В настоящее время для эффективного использования запасов полезных ископаемых необходимо применять интегрированную систему оценок недропользования, состоящую из геометрических, квалиметрических, геомеханических, экологических и экономических оценок, которые взаимосвязаны между собой.

Оценка качества полезных ископаемых является многопрофильной проблемой и предметом исследований науки «Квалиметрия недр». Квалиметрия недр позволяет получить информацию о качестве полезного ископаемого на любой стадии недропользования и с учетом конъюнктуры рынка, инновационных технологий разведки, добычи и переработки [1, 2, 3].

Основными научными направлениями современной квалиметрии недр являются: модели и методы количественной оценки качества полезных ископаемых, теория управления полнотой и качеством извлечения полезного ископаемого из недр,

теория управления качеством полезных ископаемых при недропользовании. Сегодня их решение весьма актуально в системе оценок недропользования жидких и газообразных полезных ископаемых [4, 5, 6].

При квалитетической оценке углеводородов учитываются особенности месторождения, качество углеводородов и их, технологии добычи, переработки, хранения и транспортирования. Подсистема квалитетической оценки включает: геологоразведочные работы, модель месторождения, системы разработки, продукцию, экономическую оценку (рис. 1).

При разработке месторождения углеводородов особое внимание уделяется созданию достоверной постоянно-действующей геолого-технологической модели (ПДГТМ) месторождения, которая представляет объемную имитацию месторождения, хранящуюся в памяти компьютера в виде многомерного объекта, позволяющую исследовать и прогнозировать процессы, протекающие при разработке в объеме резервуара, и непрерывно уточняющуюся на основе новых данных, получаемых на протяжении всего периода эксплуатации месторождения.

ПДГТМ позволяет выявить и описать месторождение углеводородов с необходимой точностью, учитывая пространственные особенности разрабатываемого месторождения, т.е. про-



Рис. 1. Структурная схема подсистемы квалитетической оценки углеводородов

известить геометризацию месторождения. К основным задачам по геометризации месторождения нефти относятся: определение пространственного положения тел, содержащих флюиды, уточнение их геометрических параметров; установление закономерностей распределения физико-химических свойств нефти. Это позволяет выбрать систему и технологию разработки месторождения; моделировать процессы вытеснения нефти и газа из пластов; определять рациональную систему воздействия на пласт; прогнозировать показатели разработки месторождения; планировать и реализовывать выбранный метод разработки; проектировать и регулировать разработку месторождения; достичь полноты и качества извлечения углеводородов.

В связи с генетическими особенностями конкретного месторождения: сложное геологическое строение; небольшая глубина залегания и небольшая суммарная мощность продуктивных коллекторов; фильтрационные (гидродинамические), физико-механические и прочностные свойства пород продуктивных объектов и покрывающих пород. При разработке месторождения углеводородов необходимо учитывать геомеханический фактор, так как основным источником изменения напряженно — деформированного состояния массива является коллектор, который содержит полезное ископаемое. Именно поведение горных пород, слагающих коллектор, и их свойства, определяют параметры геомеханических процессов и их развитие при техногенном воздействии на массив горных пород. Общепринятой и широко применяемой является модель коллектора, обладающая следующими характерными особенностями:

- коллектор является, как минимум двухфазной средой, состоящей из твердой (кристаллический скелет) и жидкообразной (флюид) фазы;
- напряженно-деформированное состояние двухфазной среды является сложным за счет того, что сжимаемость флюида (жидкой фазы) меньше, чем сжимаемость твердой фазы, кроме того основную нагрузку несет жидкая фаза, а кристаллический скелет находится в разгруженном состоянии;
- при откачке флюида нагрузка, которую несет флюид, постепенно перераспределяется и происходит нагружение кристаллического скелета;
- нагружение кристаллического скелета приводит к его уплотнению и уменьшению объема порового пространства.

С учетом особенностей модели Туймазинского месторождения нефти выбраны характерные факторы, а из них определе-

ны значимые факторы с использованием метода экспертных оценок [7].

По геологическому строению месторождение относится к сложным, по количеству извлекаемых запасов – уникальным.

В процессе построения геолого-технологической модели Туймазинского месторождения были использованы следующие данные:

- результаты интерпретации данных ГИС (исследование скважин);
- данные инклинометрии;
- координаты устьев скважин;
- структурные карты по кровлям коллекторов;
- контуры зон выклинивания, замещения и ВНК.

Результатами построения модели, в рамках единой компьютерной технологии, являются:

1. Структурная модель залежи. Построены поверхности пластов. На основе которых созданы карты общих эффективных толщин коллекторов.

2. Литологическая модель залежи и распределения фильтрационно-емкостных свойств пластов. По результатам значений пористости построены карты пористости.

3. Модель насыщения пластов флюидами. Построены карты нефтенасыщенности.

4. Фильтрационная модель. Построены карты эффективных нефтенасыщенных толщ по всем объектам моделирования [5].

На основе выделенных особенностей разрабатываемого Туймазинского месторождения, учтенных в геолого-технологической модели, были выделены характерные факторы, влияющие на деформации земной поверхности, подземных и поверхностных инженерных объектов, породного массива и продуктивных коллекторов. Значимые факторы, влияющие на процесс деформации, были определены методом экспертных оценок, сущность которого заключается в том, что на основе мнений группы экспертов формируется обобщенное мнение по конкретному вопросу [7].

Обобщенное мнение группы формируется путем обработки результатов индивидуальных оценок экспертов, с использованием математических процессов (статистические методы числовой природы и нечисловой природы). На основе имеющейся информации у экспертов, и используя опыт, интуицию, понимание сущности проблемы, оценивается важность решений задач. Экспертная группа представлена стабильным и качественным составом и состоит из специалистов, которые непо-

средственно занимаются разработкой месторождения (геологи и маркшейдеры). В опросе участвовало 23 эксперта.

Анализ результатов экспертных оценок Туймазинского месторождения нефти позволил выделить значимые факторы, влияющие на деформацию земной поверхности, породного массива и продуктивных коллекторов. К ним относятся: небольшая глубина залегания коллекторов, значительная эффективная мощность и изменчивость продуктивных отложений (коллекторов), изменение начального пластового давления и его значительное снижение (падение давления), значительная площадь коллектора, развитие карста.

Основным источником развития геомеханических процессов в массиве является процесс уплотнения пород коллектора, последствиями которого являются сдвигание земной поверхности и деформации подрабатываемых объектов.

Для предрасчета оседаний земной поверхности используются следующие данные геолого-технологической модели: карты площадей нефтеносности и общих эффективных толщ коллекторов; величины сжимаемости нефти и пород коллектора; средние величины падения пластового давления; пористость и глубина залегания залежей. Достоверность построенной модели зависит от достоверного определения значимых факторов влияющих на оседание земной поверхности.

Используя данные геолого-технологической модели рассчитываются ожидаемые величины оседаний земной поверхности в следующей последовательности:

1. Определяется постоянный множитель для трансформации эффективных толщ оседания для каждого набора данных, согласно принятой модели коллекторов.

2. Месторождение разбивается на участки с учетом принадлежности пласта к тому или иному горизонту, используя карты эффективных нефтенасыщенных толщ.

3. Набор данных осуществляется в привязке к полученным участкам с группой пластов.

4. Для каждого пласта с учетом набора свойств осуществляется переход от поверхности с изолинией эффективных нефтенасыщенных толщин к поверхности с изолиниями оседаний земной поверхности.

5. По полученным поверхностям рассчитываются суммарные оседания земной поверхности от группы пластов. По результатам расчетов строят карты прогнозных суммарных оседаний земной поверхности.

Для установления закономерностей процесса сдвижения земной поверхности и определения ожидаемых оседаний земной поверхности используют аналитические и численные методы.

На основе геолого-технологической модели месторождения и выделенных значимых факторов (рис. 1) создана интегрированная система мониторинга за оседаниями земной поверхности, и деформациями подрабатываемых сооружений, породного массива и продуктивных коллекторов (рис. 2).

Для установления характера и параметров сдвижений земной поверхности используются инструментальные наблюдения: традиционные методы (метод нивелирования, замера расстояний между неподвижными и смещающимися реперами), современные методы [лазерное сканирование, глобальная навигационная спутниковая система (ГНСС), метод радарной интерферометрии]. Для изучения влияния добычи углеводородов на деформации выработанного пространства и породного массива применяются сейсмологические, геофизические, промыслово-геологические, гидрогеологические и др. методы, используя комплексные наблюдательные станции [3, 4] (рис. 2).



Рис. 2. Подсистема геомеханической оценки

Создание интегрированной системы мониторинга позволит:

- повысить достоверность прогноза оседаний и деформаций земной поверхности;
- установить закономерности процесса сдвижения земной поверхности для усовершенствования методики расчета ожидаемых оседаний и деформаций земной поверхности во времени с учетом конкретных горно-геологических условий месторождения;
- выявить закономерности деформирования подрабатываемых сооружений для своевременного принятия мер по обеспечению безопасной их эксплуатации, исключающих возникновение аварийных ситуаций.

На основе интегрированной системы мониторинга составляется проект мониторинга, который включает:

- обоснование методов мониторинга;
- выбор места установки комплексных наблюдательных станций;
- расчет точности определения деформаций;
- частота и сроки проведения наблюдений.

На основе квалиметрической оценки Туймазинского месторождения нефти, учитывающей генезис и геологическое строение месторождения, и выделенных значимых факторов, влияющих на оседания и деформации земной поверхности, породного массива, продуктивных коллекторов и подрабатываемых сооружений, разработана модель оптимизации выбора метода мониторинга (рис. 3).

В модели оптимизации значимые факторы подразделяют на управляемые и неуправляемые. К управляемым относятся: количественные и качественные потери нефти, извлекаемые запасы нефти. К неуправляемым – балансовые запасы нефти,

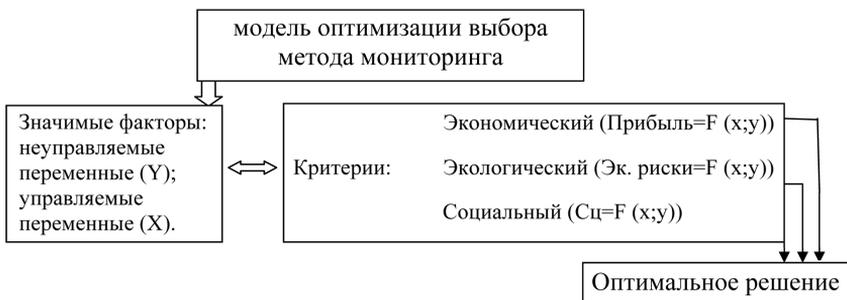


Рис. 3. Структура модели оптимизации выбора метода мониторинга

качественные характеристики нефти, рыночная цена на нефть, затраты, налоги.

В модели оптимизации выбора метода мониторинга используются следующие критерии: экономический, экологический и социальный. Экономический критерий оценивает прибыльность месторождения, для этого используется стоимостная оценка полноты и качества извлечения 1 т запасов нефти из недр (параметры: величина запасов нефти, качество нефти и затраты на ее извлечение). Экологический критерий оценивает риск загрязнения окружающей среды с учетом, предельно допустимых концентраций (ПДК) вредных веществ в различных средах (воздушной и водной среде, в почвенно-растительном покрове). Социальный критерий учитывает риски потери жизни и здоровья человека, изменение качества уровня жизни.

Новизной построения такой модели оптимизации является многокритериальное решение. На основе использования трех критериев выбирается оптимальное решение, которое должно позволить получить стратегию освоения месторождения углеводородов с минимальным горным – инвестиционным рисками.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Попов В.Н., Руденко В.В. и др. Квалиметрия недр: Учебное пособие для вузов. – М.: Изд-во Академии горных наук, 2000. – 295 с.
2. Попов В.Н., Руденко В.В. и др. Оценки недропользования, учебное пособие. – М.: Изд-во Академии горных наук, 2001. – 295 с.
3. Руденко В.В., Ведяев А.Ю. Концептуальная модель развития геометрии и квалиметрии недр. XV Международный маркшейдерский конгресс ISM 2013, г. Аахен (Германия).
4. Руденко В.В., Галиулин И.М. Комплексование геолого-технологической модели месторождения нефти и методов мониторинга за сдвижением земной поверхности для обеспечения безопасности подрабатываемых объектов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – № 4. – С. 180–184.
5. Руденко В.В., Галиулин И.М. Система оценок недропользования месторождений нефти / Proceedings of the VI International Geomechanics Conference 24–28 June 2014, Varna, Bulgaria. – С. 400–406.
6. Руденко В.В., Галиулин И.М. Стратегия эффективности использования углеводородов на основе системы оценок их недропользования.
7. Добров Г.М. и др. Экспертные оценки в научно-техническом прогнозировании. – Киев: Наукова думка, 1974. – 160 с. **ГИАН**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Руденко Валентина Владимировна – доктор технических наук, профессор,
Галиулин Ильдар М. – инженер, аспирант,
МГИ НИТУ «МИСиС», e-mail: ud@msmu.ru.

**MULTICRITERION MODEL
OF OPTIMIZED MONITORING
METHOD SELECTION
FOR TUIMAZINSKY OIL FIELD**

The integrated monitoring system for ground surface subsidence has been created based on block geological–technological model with regard to revealed relevant factors for Tuimazinsky oil field. Determination of the behavior and parameters of the ground surface subsidence uses an integration of conventional and advanced seismological, geophysical, field-geological, hydrogeological and other methods, as well as the data of estimation of influence exerted by hydrocarbon recovery on rock mass and reservoir. A new multicriterion model of monitoring method selection optimization has been developed.

Key words: geological–technological model, monitoring, deformation, subsidence, reservoir, qualimetry, optimization model, multicriterion problem, investment risk.

AUTHORS

*Rudenko V.V.*¹, Doctor of Technical Sciences, Professor,

*Galiulin I.M.*¹, Engineer, Graduate Student,

¹ Mining Institute, National University of Science and Technology «MISiS»,
119049, Moscow, Russia, e-mail: ud@msmu.ru.

REFERENCES

1. Popov V.N., Rudenko V.V. *Kvalimetriya nedr: Uchebnoe posobie dlya vuzov* (Subsoil qualimetry: Higher educational aid), Moscow, Izd-vo Akademii gornykh nauk, 2000, 295 p.
2. Popov V.N., Rudenko V.V. *Otsenki nedropol'zovaniya, uchebnoe posobie* (Subsoil use estimates, Educational aid), Moscow, Izd-vo Akademii gornykh nauk, 2001, 295 p.
3. Rudenko V.V., Vedyayev A.Yu. *Kontseptual'naya model' razvitiya geometrii i kvalimetrii nedr. XV Mezhdunarodnyy marksheyerskiy kongress ISM* (Conceptual model of development of subsoil geometry and qualimetry. Proceedings of the 15th ISM International Surveying Congress), 2013, Aachen (Germany).
4. Rudenko V.V., Galiulin I.M. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2014, no 4, pp. 180–184.
5. Rudenko V.V., Galiulin I.M. *Proceedings of the VI International Geomechanics Conference 24–28 June 2014*, Varna, Bulgaria, pp. 400–406.
6. Rudenko V.V., Galiulin I.M. *Strategiya effektivnosti ispol'zovaniya uglevodorodov na osnove sistemy otsenok ikh nedropol'zovaniya* (Efficient utilization strategy for hydrocarbons based on their subsoil use assessment system).
7. Dobrov G.M. *Ekspertnye otsenki v nauchno-tekhnicheskom prognozirovanii* (Expert estimates in scientific-and-technical forecasting), Kiev, Naukova dumka, 1974, 160 p.

