УДК 622.321

БАЙЕСОВСКИЙ ПОДХОД В ЗАДАЧАХ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО ОБСЛУЖИВАНИЮ ОБЪЕКТОВ ДОБЫЧИ НЕФТИ

BAYESOV APPROACH IN DECISION-MAKING PROBLEMS FOR SERVICE OF OBJECTS OF OIL PRODUCTION

Шарнов Александр Иванович
кандидат технических наук, доцент,
доцент, Армавирский механико-технологический институт (филиал),
Кубанский государственный технологический университет
a.i.sharnov@mail.ru

Sharnov Alexander Ivanovich
Candidate of technical sciences,
Associate professor
Associate Professor, Armavir Institute of Mechanics and Technology (branch),
Kuban State Technological University
a.i.sharnov@mail.ru

Аннотация. Наглядно показана эффективность применения теоремы Байеса в задачах принятия решений в процессе планирования профилактик при внеплановых аварийных ремонтах объектов добычи нефти.

Ключевые слова: теорема Байеса, подход, задача, решение, обслуживание, объект, добыча, нефть.

Annotation. The effectiveness of Bayes' theorem application in decision-making problems in the planning process of preventive measures for unscheduled emergency repairs of oil production facilities.

Keywords: Bayes theorem, approach, problem, solution, maintenance, object, extraction, oil.

Большая часть нефтяных месторождений на Северном Кавказе переведена в систему поддержания пластового давления и механизированный метод добычи нефти на основе штанговых скважинных насосов (ШСН) и электроцентробежных насосов (ЭЦН). Несмотря на то, что фонд скважин, оборудованных ШСН и ЭЦН, растет, наблюдается тенденция к сокращению количества ремонтов подземных скважин (ПРС). В то же время сокращение числа ремонтов скважин, оборудованных установками ШСН и ЭЦН, не привело к сокращению расходов на ПРС. Становится очевидным необходимость пересмотра системы организации ПРС на основе новых методологических решений [1].

В литературе стратегии ПРС описываются на основе планового обслуживания с устранением преждевременного отказа скважин. Предлагаемые методы дают удовлетворительную для практики сходимость расчетных и фактических показателей. Результаты численного моделирования эффективности системы технического обслуживания и ремонта (ТОП) установок ЭЦН при ликвидации их полетов, разрывов и поворотов колонны НКТ труб показали, что при чисто плановых обслуживаниях интенсивность отказов скважинного оборудования коэффициент отказов скважинного оборудования снижается, но коэффициент готовности не достигает максимума [2]. Анализ также показывает, что максимальная вероятность безотказной работы является типичной для установок ЭЦН, при прочих равных условиях В то же время наибольшая интенсивность отказов обусловлена поворотами (разрывами) колонны НКТ. Поэтому для организации ремонтных работ на скважинах необходимо разработать математическую модель системы технического обслуживания и ремонта в соответствии с критериями оптимальности, которые характеризуют основные технико-экономические показатели запасов скважин [3, 4].

Важным этапом моделирования систем является проверка адекватности модели реальной системе. Качество модели зависит от точности задания параметров и характера функционирования частей модели.

Из-за недостатка экспериментального материала для обеспечения более качественного анализа моделируемой системы можно использовать дополнительную информацию о функционировании объектов-аналогов, полученную на основе применения теоремы Байеса [5, 6]:

$$P(A/B) = \frac{P(A)P(B/A)}{P(B)}, \qquad (1)$$

где $P(A/B)$ – вероятность совместного наступления независимых событий A и B; $P(B)$ –вероятность события B.

Если рассматривать группу несовместных событий A_i, $i = 1 \ldots n$, то формула Байеса запишется как формула вероятности гипотез:

$$P(A_i/B) = \frac{P(A_i)P(B/A_i)}{\sum_{i=1}^{n} P(A_i)P(B/A_i)}. \qquad (2)$$

Эта формула нашла широкое применение в задачах оценивания априорной информации, диагностических и экспертных системах.

Покажем возможность применения формулы Байеса в задачах, связанных с принятием решении по капитальному ремонту нефтепромыслового оборудования.

Для успешного проведения работ по капитальному ремонту необходимо приобрести некоторое оборудование и поставить его на место отработавшего свой ресурс. Очевидно, что ремонт имеет смысл проводить только в том случае, если показатели надежности вновь поставляемого оборудования будут выше показателей надежности устройств, которые необходимо заменить. Фирмы-поставщики предлагают необходимое оборудование с высокой вероятностью безотказной работы (ВБР) в течение гарантийного периода. Однако из практического опыта эксплуатации аналогичных устройств известно, что опытное значение $P_{оп}$ показателя ВБР меньше, чем объявляет фирма-изготовитель $P_{ф}$ [7].

Сомневаясь в правдивости информации, как предприятия, так и фирмы-поставщика необходимо провести испытания. Пусть вероятность истинности фирмы-изготовителя, равна p_1, а вероятность истинности информации предприятия, равна $p_2 = 1 - p_1$. По результатам испытаний k изделий в течение времени T_p, m изделий отказало. Тогда вероятность истинности информации фирмы-изготовителя, равна

$$P(p = P_Ф / A_i) = \frac{P(A_i / p = P_Ф) P(p = P_Ф)}{P(A_i)} = \frac{C_k^m (1 - P_Ф)^m P_Ф^{(k-m)} p_1}{P(A_i)}, \tag{3}$$

где A_i – отказ m из k изделий.

Полная вероятность события A_i вычисляется по формуле:

$$\begin{aligned} P(A_i) &= P(A_i / p = P_Ф) P(p = P_Ф) + P(A_i / p = P_{ОП}) P(p = P_{ОП}) = \\ &= P(A_i / p = P_Ф) p_1 + C_k^m (1 - P_{ОП})^m P_{ОП}^{(k-m)} p_2 . \end{aligned} \tag{4}$$

В качестве примера рассчитаем целесообразность замены i-го изделия из $k = 2$ возможных, если фирма-изготовитель объявляет, что ВБР этого изделия равна 0,95. На основе собственного опыта эксплуатации предприятие оценивает ВБР указанного изделия, на уровне 0,9. Представители предприятия-заказчика и фирмы-изготовителя оценили надежность оборудования, равной 0,5. Для принятия окончательного решения заказчик решил провести испытания двух изделий. Изделия проходили испытания в течение времени T_p и оба – за этот период вышли из строя.

Вероятность истинности утверждения предприятия-заказчика:

$$P(p = 0{,}9) / A_i) = \frac{P(A_i / p = 0{,}9) P(p = 0{,}9) p = 0{,}9}{P(A_i)}, \tag{5}$$

где A_i – отказ 2 из 2 изделий;

Численное значение каждого из сомножителей равно:

$$\begin{aligned} &P(A_i / p = 0{,}9) = (1 - 0{,}9)^2 = 0{,}01; \\ &P(p = 0{,}9) = 0{,}5; \\ &P(A_i) = P(A_i / p = 0{,}9) P(p = 0{,}9) + P(A_i / p = 0{,}95) P(p = 0{,}95) = \\ &= 0{,}01 \cdot 0{,}5 + 0{,}0025 \cdot 0{,}5 = 0{,}00625. \end{aligned} \tag{6}$$

Окончательно имеем:

$$P(p = 0{,}9) / A_i) = \frac{0{,}005}{0{,}00625} = 0{,}8. \tag{7}$$

Таким образом, по результатам независимых испытаний с вероятностью 0,8 подтверждается гипотеза предприятия-заказчика о нецелесообразности приобретения изделия.

Предположим, что оба изделия успешно прошли испытания, т.е. A_i – отказов нет. Тогда вероятность истинности утверждения предприятия-заказчика:

$$P(p = 0{,}9) / A_i) = \frac{P(A_i / p = 0{,}9) P(p = 0{,}9)}{P(A_i)} = \frac{0{,}81 \cdot 0{,}5}{0{,}81 \cdot 0{,}5 + 0{,}9025 \cdot 0{,}5} = \frac{0{,}405}{0{,}85625} = 0{,}47. \tag{8}$$

Таким образом, по результатам независимых испытаний, закончившихся успешно, истинность гипотезы фирмы-изготовителя $p_1 = 1 - 0{,}47 = 0{,}53$ возросла, но недостаточна для принятия окончательного решения и требуются дополнительные испытания.

Приведенные результаты наглядно показывают эффективность байесовских методов. планирования профилактик при внеплановых аварийных ремонтах. Использование предложенной стратегии позволяет получить высокие уровни надежности установок ШСН и ЭЦН для больших периодов ТОР и дает возможность увеличить межремонтный период работы скважин, следовательно, позволяет обеспечить дополнительную добычу скважинной продукции.

Литература:

1. Вахитов Т.Р., Шарнов А.И. Концептуальная имитационная модель анализа надежности капитального ремонта скважин. Газовой отрасли – энергию молодых ученых: Тезисы III науч.-практ. конф. молодых ученых и специалистов (Ставрополь 6–10 октября 2008 г.) СевКавНИПИгаз. – Ставрополь : РИО ОАО «СевКавНИПИгаз», 2008. – 180 с.
2. Меньшиков А.Г. Методологические основы технико-экономического анализа эффективности использования механизированного фонда нефтяных скважин / Кучумов Р.Р., Меньшиков А.Г., Пустовалов М.Ф. // Моделирование технологических процессов нефтедобычи: Сб. науч. тр., Вып. 3., ч. 1. – Тюмень : Изд-во «Вектор Бук», 2002. – С. 50–56.
3. Шарнов А.И., Вахитов Т.Р. Философские аспекты моделирования социотехнических систем. Научный потенциал вуза – производству и образованию: Сборник трудов по материалам межвузовской научно-практической конференции, посвященной 170-летию г. Армавир и 50-летию АМТИ (28, 29 октября 2009 г.). – Т. 5. – Армавир : Изд-во АМТИ, 2009.– С. 99–105.
4. Шарнов А.И., Вахитов Т.Р. Проблемы выбора программного обеспечения имитационного моделирования. Научный потенциал вуза – производству и образованию: Сборник трудов по материалам межвузовской научно-практической конференции, посвященной 170-летию г. Армавир и 50-летию АМТИ (28, 29 октября 2009 г.). – Т. 5. – Армавир : Изд-во АМТИ, 2009.– С. 105–113.
5. Меньшиков А.Г. Методика байесовской оценки показателей надежности установок ЭЦН / Кучумов Р.Р., Иксанова Г.Н., Меньшиков А.Г., Муфтахутдинова Э.Б., Наместников С.В. // Моделирование технологических процессов нефтедобычи: Сб. науч. тр., Вып. 4. – Тюмень : Изд-во «Вектор Бук», 2003. – С. 76–82.
6. Хэй Дж. Введение в методы байесовского статистического вывода. – М. : Финансы и статистика, 1987. – 335 с.
7. Антонов А.В. Системный анализ : учеб. для вузов / А.В. Антонов. – М. : Высш. шк., 2004. – 454 с.

References:

1. Vakhitov T.R., Sharnov A.I. Conceptual simulation model of reliability analysis of well workover. The gas industry – the energy of young scientists: Theses III scientific-practical. Conf. Young scientists and specialists (Stavropol 6010 October 2008) SevKavNIPIgaz. – Stavropol : RIO OAO SevKavNIPIgaz, 2008.-180 p.
2. Menshikov A.G. Methodological foundations of the technical and economic analysis of the efficiency of the use of a mechanized oil well fund / Kuchumov R.R., Menshikov A.G., Pustovalov M.F. // Modeling the technological processes of oil production: Sat. Sci. Tr., Iss. 3., Part 1. – Tyumen : Publishing house «Vector Buk», 2002. – C. 50–56.
3. Sharnov A.I., Vakhitov T.R. Philosophical aspects of modeling of socio-technical systems. Scientific potential of the university – production and education: A collection of works on the materials of the interuniversity scientific and practical conference dedicated to the 170th anniversary of Armavir and the 50th anniversary of the AMTI (October 28, 29, 2009). – V. 5. – Armavir : Publishing house AMTI, 2009. – P. 99–105.
4. Sharnov A.I., Vakhitov T.R. Problems of choosing software simulation. Scientific potential of the university – production and education: A collection of works on the materials of the interuniversity scientific and practical conference dedicated to the 170th anniversary of Armavir and the 50th anniversary of the AMTI (October 28, 29, 2009). –V. 5. – Armavir : Publishing house AMTI, 2009. – P. 105–113.
5. Menshikov A.G. Methodology of Bayesian estimation of reliability indicators of ESP units / Kuchumov R.R., Iksanova G.N., Menshikov A.G., Muftakhutdinova E.B., Nastemnikov S.V. // Modeling the technological processes of oil production: Sat. Sci. Tr., Iss. 4. – Tyumen : Publishing house «Vector Buk», 2003. – P. 76–82.
6. Hay J. An Introduction to Bayesian Statistical Inference Methods. – M. : Finances and Statistics, 1987. – 335 p.
7. Antonov A.V. System analysis : Textbook for universities / A.V. Antonov. – M. : Higher Education. Shk., 2004. – 454 p.