



УДК 553.9

**ПОСТРОЕНИЕ И АДАПТАЦИЯ МОДЕЛИ CRMP
НА УЧАСТКЕ БУРЕЙКИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

**CONSTRUCTION AND ADAPTATION OF THE CRMP MODEL
AT THE BUREIKINSKY OILFIELD**

Нафиков Тагир Асхатович

аспирант кафедры Разработки и эксплуатации нефтяных
и газовых месторождений,
Альметьевский государственный нефтяной институт
nafikovta@gmail.com

Научный руководитель –

Насыбуллин Арслан Валерьевич

доктор технических наук., профессор

Аннотация. В статье рассматривается опыт автора по построению и адаптации модели CRMP на участке Буреikinского месторождения Республики Татарстан. Рассматриваются вопросы базовых аналитических выражений, лежащих в основе класса моделей CRM, параметры оптимизации моделей, а также необходимые данные исследуемого объекта для расчета модели.

Ключевые слова: аналитические модели, аналитическое моделирование, CRM-моделирование, емкостно-резистивные модели, материальный баланс, взаимовлияние скважин.

Nafikov Tagir Askhatovich

Ph.D. student of the Department
for Development and Operation of Oil
and Gas Fields,
Almetyevsk State Oil Institute
nafikovta@gmail.com

Academic advisor –

Nasybullin Arslan Valerievich

Dr.Sc, Professor

Annotation. The article discusses the author's experience in constructing and adapting the CRMP model at the Bureikinsky oilfield of the Republic of Tatarstan. The issues of basic analytical expressions underlying the class of CRM models, model optimization parameters, as well as the necessary field data of the object of research for calculating the model are considered.

Keywords: analytical models, analytical modeling, CRM modeling, capacitance-resistive models, material balance, well interaction.

Современное состояние развития класса аналитических моделей нефтяных месторождений позволяет использовать их в качестве инструмента, позволяющего оперативно оценивать состояние разработки месторождения и принимать управленческие решения в оперативном режиме. Уравнения, лежащие в основе метода CRM (Capacitance-Resistive Model), как одного из видов аналитических моделей нефтяных месторождений, основаны на методе материального баланса:

$$c_t V_p \frac{d\bar{p}}{dt} = i(t) - q(t), \tag{1}$$

где c_t – общая сжимаемость, V_p – поровый объем дренирования, \bar{p} – среднее давление в V_p , $i(t)$ – расход нагнетания, $q(t)$ – общий дебит жидкости.

Решение данного уравнения применительно к нефтяному пласту было впервые получено в [1] и впоследствии дополнялось и уточнялось другими исследователями. В общем виде уравнение для описания влияния закачки на добычу жидкости (модель CRM) выглядит следующим образом: выражение (2).

$$\frac{dq(t)}{dt} + \frac{1}{\tau} q(t) = \frac{1}{\tau} i(t) - J \frac{dp_{заб}}{dt}, \tag{2}$$

где $q(t)$ – дебит жидкости от времени, $i(t)$ – приемистость от времени, τ – «постоянная времени» пласта, J – коэффициент продуктивности скважины, $p_{заб}$ – давление на забое скважины [2].

Выражение (3) представляет собой аналитическое решение выражения (2) для одной добывающей скважины j и связанных с ней нагнетательных скважин i количеством N [3].

$$q_j(t) = q_j(t_0) e^{-\frac{(t-t_0)}{\tau_j}} + \left(1 - e^{-\frac{(t-t_0)}{\tau_j}}\right) \left[\sum_{i=1}^{N_i} [f_{ij} I_i] - J_j \tau_j \frac{\Delta p_{wf,j}}{\Delta t} \right]. \tag{3}$$

В данной работе была построена и адаптирована модель CRM для участка Буреikinского месторождения Республики Татарстан.

В качестве входных «известных» данных были использованы данные нагнетания I_i , добычи, забойного давления добывающих скважин $\Delta p_{wf,j}$, а также карта расположения скважин на выбранном



участке. К неизвестным параметрам относятся: значение добычи на начальном шаге времени $q_j(t_0)$, «постоянная времени» объема дренирования скважины τ_j , коэффициент продуктивности скважины J_j и коэффициенты взаимовлияния добывающих и нагнетательных скважин f_{ij} . Неизвестные параметры модели оптимизируются с помощью метода наименьших квадратов с целевой функцией:

$$\sqrt{\frac{\sum_1^N (q_{i \text{ факт}} - q_{i \text{ расчет}})^2}{N}} \rightarrow \min, \tag{4}$$

где N – количество наблюдений, $q_{i \text{ факт}}$ – фактическое значение расхода на шаге i , $q_{i \text{ расчет}}$ – расчетное (модельное) значение расхода на шаге i .

При анализе выбранного месторождения был выделен относительно изолированный участок разработки, содержащий 35 скважин, из которых 25 скважин относятся к добывающему фонду, 10 скважин – к нагнетательному. За период исследования отношение суммарного нагнетания жидкости к суммарной добыче жидкости составило 1,013; таким образом определено, что компенсация участка находилась на приемлемом уровне и позволяет проводить исследования по созданию аналитических моделей.

В ходе выполнения работы была построена и адаптирована модель «ячеек заводнения», то есть модель объема дренирования скважин «добывающая-нагнетательные» – CRMP (CRM for Producer). Оптимальные значения коэффициентов определялись с использованием выражения (4) в среде ПО *Matlab Optimization Toolbox* и *MS Excel*.

Оптимизированные параметры приведены в таблице 1. Здесь f_{ij} – коэффициенты взаимовлияния скважин, $q_p(t_0)$ – значение добычи в начальный момент времени; J_j – коэффициент продуктивности скважины, τ_j – постоянная времени добывающей скважины j , e_j – интенсивность аквифера.

Таблица 1 – Оптимизированные параметры модели CRMP

f_{ij}	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8	I9	I10	$q_p(t_0)$	J_j	τ_j	e_j
P1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	47537,7	7,58	0,13	331,84
P2	0,01	0,01	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	40,55	0,45	0,10	45,94
P3	0,01	0,03	0,02	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,69	0,50	175,75
P4	0,00	0,03	0,00	0,00	0,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1017,74	4,30	26,32	856,45
P5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,67	1,14	1,37	481,13
P6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,27	1,77	495,99
P7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	181,78	1,37	32,91	130,91
P8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	52,10	70,65
P9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,10	115,59
P10	0,00	0,00	0,00	0,29	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1173,23	2,47	21,90	1097,09
P11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	710,89	4,69	672,78	925,85
P12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00	431,11	1,70	25,81	493,52
P13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	189,69	0,81	29,15	314,66
P14	0,00	0,00	0,00	0,86	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,96	32,32	124,48
P15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00	417,83	2,00	25,45	668,47
P16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,78	0,00	0,00	0,00	788,96	3,56	16,10	379,97
P17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,19	445,30	231,11
P18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,07	56,99	53,95
P19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,04	525,00	1,17	9,11	207,22
P20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	1,00	0,00	0,00	1557,23	4,72	1218,5	1035,03
P21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,82	0,00	0,00	363,21	1,20	1365,7	0,00
P22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,21	0,00	0,00	0,00	1398,85	1,96	205,02	146,00
P23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,83	0,00	145,65	1,82	1705,6	0,00
P24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00	357,25	1,33	84,94	585,42
P25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	7,59	52,45

Невысокая сходимость полученных моделей обусловлена неидеальным с точки зрения модели режимом работы участка: в хронологии присутствуют остановки и простои, ликвидации и ввод скважин, смена способов эксплуатации объектов, частое изменение режимов добычи и нагнетания.

На рисунке 1 в качестве примера представлен графический вид значений добычи по модели и измеренных значений добычи.

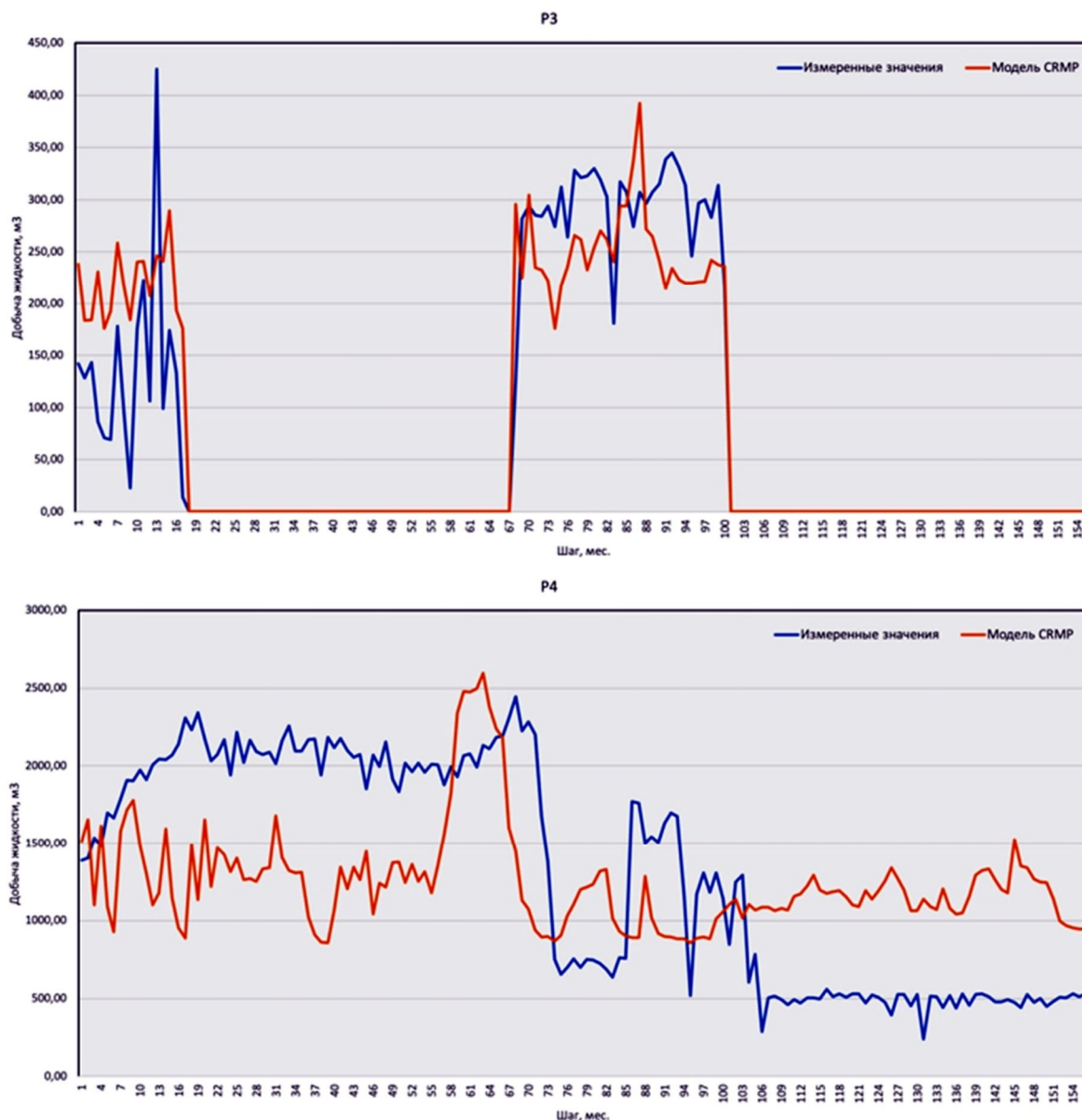


Рисунок 1 – Сопоставление измеренных и модельных значений добывающих скважин P3, P4

Список литературы:

1. A Capacitance Model To Infer Interwell Connectivity From Production and Injection Rate Fluctuations / A.A. Yousef [et al.] // Society of Petroleum Engineers. – 2006, December 1. doi:10.2118/95322-PA.
2. Сопровождение разработки нефтяных месторождений с использованием моделей CRM: монография / С. В. Степанов [и др.]. – Тюмень : ИПЦ «Экспресс», 2021. – 300 с.
3. Sayarpour M. Development and Application of Capacitance-Resistive Models to Water / CO₂ Floods : Ph.D. diss. – Austin: The University of Texas at Austin, 2008. – URL : <https://repositories.lib.utexas.edu/handle/2152/15357>.

List of references:

1. A Capacitance Model To Infer Interwell Connectivity From Production and Injection Rate Fluctuations / A.A. Yousef [et al.] // Society of Petroleum Engineers. – 2006, December 1. doi:10.2118/95322-PA.
2. Support of oil fields development with the use of CRM models: monograph / S.V. Stepanov [et al.]. – Tyumen : IPC «Express», 2021. – 300 p.
3. Sayarpour M. Development and Application of Capacitance-Resistive Models to Water / CO₂ Floods : Ph.D. diss. – Austin: The University of Texas at Austin, 2008. – URL : <https://repositories.lib.utexas.edu/handle/2152/15357>.