

**ВОПРОСЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
ПРОЦЕССОВ РЕМОНТНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ МЕХАНИЗИРОВАННОГО ФОНДА
СКВАЖИН**

Рассмотрены основные положения построения имитационной модели процесса ремонтно-технического обслуживания механизированного фонда скважин. Описаны переменные состояния моделируемого процесса, параметры модели, из которых выделена группа регулируемых параметров. Приводятся результаты машинного эксперимента.

Процесс ремонтно-технического обслуживания механизированного фонда скважин требует значительных материальных затрат во всей технологической цепочке (схеме) добычи нефти. Данный факт становится более весомым в современных условиях эксплуатации скважинного оборудования, характеризующихся высокой обводненностью, наличием механических примесей, сложным пространственным профилем ствола скважин, большой глубиной спуска насоса в скважину и т. д. Представляется возможным снижение вышеназванных затрат путем определения оптимального количества материальных и трудовых ресурсов.

Одним из вариантов решения поставленной задачи является создание имитационной модели работы погружного оборудования (ПО) группы скважин, объединенных единой технологией и регламентом ремонтно-технического обслуживания [3, 2].

В основе имитационной модели лежит итеративный процесс, отслеживающий стадии работы и ремонтного обслуживания эксплуатируемого оборудования, что сводится к вычислению следующих параметров состояния системы:

$r_i(t_k)$ — освоенный ресурс i -й установки в момент времени t_k ;

$n_q(t_k)$ — доля времени работы q -й бригады подземного ремонта скважин (ПРС) в полном цикле извлечения старого и установки нового оборудования в момент времени t_k ;

$u_l(t_k)$ — доля времени работы l -й ремонтной линии на базе производственного обслуживания (БПО) в момент времени t_k .

Динамика освоения ресурса ПО вычисляется следующим образом:

$$r_i(t_k) = r_i(t_{k-1}) + l_j Dt,$$

где $l_j = C_1 A_{cp} + C_2 n_{пов} + C_3 h_{сп}$ — интенсивность отказов ПО, установленного в j -ю скважину, по доминирующим факторам [1]; A_{cp} — коэффициент агрессивности среды (механические примеси, содержание солей, парафинообразования); $n_{пов}$ — число азимутальных поворотов ствола скважины в месте установки ПО; $h_{сп}$ — расчетная глубина спуска насоса; C_n — коэффициенты влияния, $n = 1, 2, 3$; $Dt = t_k - t_{k-1}$.

Доля освоенной части времени работы q -й бригады ПРС вычисляется по выражению

$$v_q(t_k) = v_q(t_{k-1}) + m_q Dt, \quad q = 1, \dots, n_q,$$

где m_q — интенсивность работы q -й бригады ПРС; n_q — число обслуживающих бригад ПРС.

Доля освоенной части времени работы l -й ремонтной линии на БПО вычисляется соответственно:

$$u_l(t_k) = u_l(t_{k-1}) + m_l Dt, \quad l = 1, \dots, n_l,$$

где m_l — интенсивность работы l -й ремонтной линии на БПО; n_l — число ремонтных линий на БПО.

Основные стадии технологического цикла работы и ремонта скважинных систем (рис. 1) включают следующие интервалы времени:

- работа ПО в скважине до полного освоения ресурса ($r_i(t) \otimes 1$), $[k_1, k_2]$;
- ожидание приезда бригады ПРС, $[k_2, k_3]$;
- спуско-подъемные операции, реализуемые бригадой ПРС ($n_q(t) \otimes 1$), $[k_3, k_4]$;

- ожидание выполнения ремонтно-восстановительных работ на БПО, $[k_4, k_5]$;
- ремонт на линиях БПО ($u_l(t) \otimes 1$), $[k_5, k_6]$;
- ожидание вывоза и установки ПО в скважину, $[k_6, k_1(t_{k+1})]$.

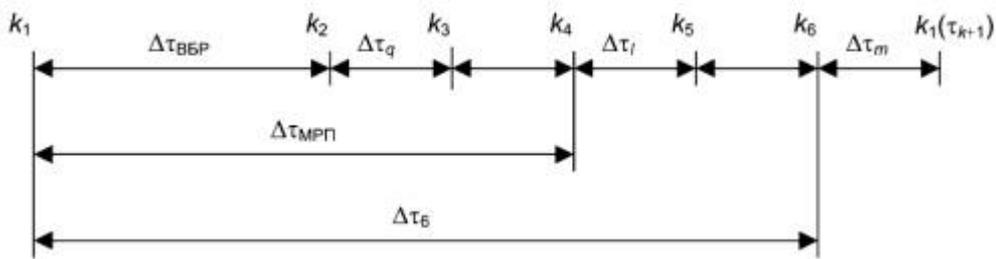


Рис. 1. Основные стадии технологического цикла работы и ремонта ПО

На рис. 1 приняты следующие обозначения:

$D_{t_{ВБР}}$ — время безотказной работы;

D_{t_q} — время ожидания приезда бригады ПРС;

D_{t_l} — время ожидания ремонта на БПО;

D_{t_m} — время нахождения на складе готовой продукции в ожидании установки в скважину;

$D_{t_{МРП}}$ — межремонтный период скважины;

D_{t_6} — межремонтный период ПО.

Наличие свободных бригад ПРС и восстановленных изделий на складе сокращает межремонтный период скважины до минимально возможного значения

$$D_{t_{МРП}}^{min} = \Delta t_{МРП} - \Delta t_q.$$

С целью облегчения процесса моделирования примем следующие допущения:

- количество ПО в обороте постоянно;
- ПО имеет один типоразмер и взаимозаменяемо;
- после ремонта ПО полностью восстанавливает свой ресурс либо заменяется новым.

Представим имитационную модель процесса ремонтно-технического обслуживания механизированного фонда скважин в виде «черного ящика» (рис. 2).

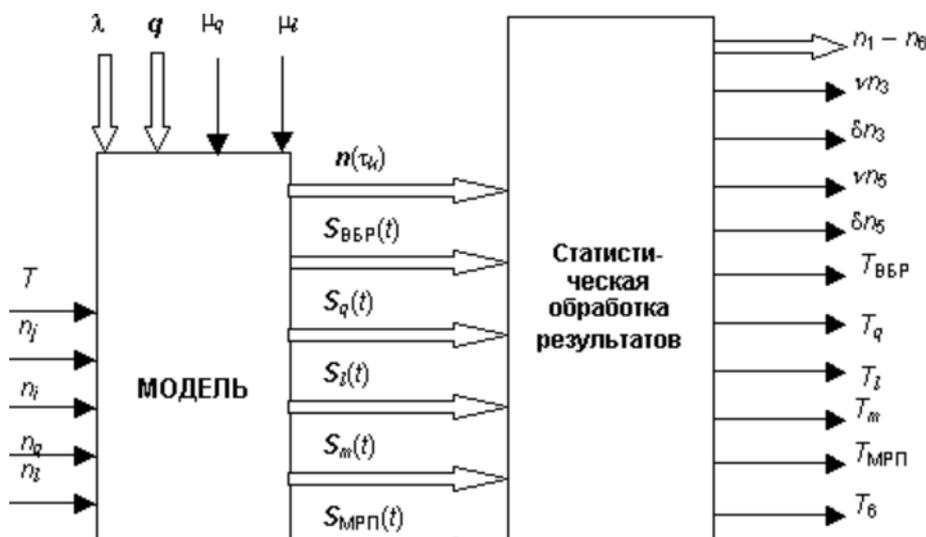


Рис. 2. Структурная схема имитационной модели процесса ремонтно-технического обслуживания механизированного фонда скважин

За исходные параметры моделирования приняты:

T — промежуток времени моделирования или количество итераций (в днях);

n_j — количество эксплуатируемых скважин;

n_i — количество ПО в обороте (включая установленное в скважины);

n_q — количество обслуживающих бригад ПРС;

n_l — количество ремонтных линий на БПО;

I — вектор интенсивностей отказов ПО;

q — вектор признаков, характерных для бригад ПРС:

$r_0(q)$ — значение начального ресурса ПО после установки в скважину q -й бригадой ПРС,

$P_{\text{брак}}(q)$ — вероятность преждевременного отказа ПО после установки в скважину q -й бригадой ПРС;

m_q — интенсивность работы бригад ПРС;

m_l — интенсивность ремонта на линиях БПО.

На выходе получим следующие параметры:

$n(t_k)$ — вектор смен состояний моделируемой системы с координатами:

$n_1(t_k)$ — количество работающих скважин,

$n_2(t_k)$ — количество остановленных скважин в ожидании ремонта или отказавшего ПО, установленного в скважинах, в ожидании приезда бригад ПРС,

$n_3(t_k)$ — количество скважин, находящихся в ремонте,

$n_4(t_k)$ — количество ПО в ожидании ремонта на БПО,

$n_5(t_k)$ — количество ПО, находящегося на линиях ремонта БПО,

$n_6(t_k)$ — количество ПО на складе готовой продукции;

$S_{\text{ВБР}}(t)$ — вектор временных периодов безотказной работы ПО, с компонентами

$$S_{\text{ВБР}}(i, t) = S(i, k_2) - S(i, k_1) = Dt_{\text{ВБР}}(i);$$

$S_q(t)$ — вектор временных периодов ожидания приезда бригады ПРС, с компонентами

$$S_q(i, t) = S(i, k_3) - S(i, k_2) = Dt_q(i);$$

$S_l(t)$ — вектор временных периодов ожидания ремонта на БПО, где

$$S_l(i, t) = S(i, k_5) - S(i, k_4) = Dt_l(i);$$

$S_m(t)$ — вектор временных периодов нахождения ПО на складе готовой продукции, где

$$S_m(i, t) = S(i, k_1(t_{k+1})) - S(i, k_6) = Dt_m(i);$$

$S_{\text{МРП}}(t)$ — вектор значений межремонтных периодов скважин, где

$$S_{\text{МРП}}(j, t) = S(j, k_4) - S(j, k_1) = Dt_{\text{МРП}}(j);$$

$S_6(t)$ — вектор значений полных ремонтных циклов для ПО, где

$$S_6(i, t) = S(i, k_6) - S(i, k_1) = Dt_6(i).$$

Выходные данные имитационной модели поступают в блок статистической обработки результатов моделирования, на выходе которого имеем средние характеристики, необходимые для расчета ресурсных параметров ремонтно-технических служб ($n_q, n_l, M = n_i - n_j$):

$$n_1 = \frac{1}{T} \sum_0^{K-1} n_1(\tau_k)(\tau_{k+1} - \tau_k)$$

— среднее количество работающих скважин, где K — размерность вектора $\mathbf{n}(t_k)$ (число смен состояний);

$$n_2 = \frac{1}{T} \sum_0^{K-1} n_2(\tau_k)(\tau_{k+1} - \tau_k)$$

— среднее количество скважин в ожидании ремонта;

$$n_3 = \frac{1}{T} \sum_0^{K-1} n_3(\tau_k)(\tau_{k+1} - \tau_k)$$

— среднее количество скважин, находящихся в ремонте;

$$v n_3 = \frac{n_3}{n_q}$$

— интенсивность загрузки одной бригады ПРС, где n_q — количество бригад ПРС;

$$\delta n_3 = n_q - n_3$$

— простой бригад ПРС (при $n_3 \leq n_q$);

$$n_4 = \frac{1}{T} \sum_0^{K-1} n_4(\tau_k)(\tau_{k+1} - \tau_k)$$

— среднее количество ПО в ожидании ремонта на БПО;

$$n_5 = \frac{1}{T} \sum_0^{K-1} n_5(\tau_k)(\tau_{k+1} - \tau_k)$$

— среднее количество ПО, находящегося в ремонте на БПО;

$$v n_5 = \frac{n_5}{n_l}$$

— интенсивность загрузки одной ремонтной линии на БПО, где n_l — количество ремонтно-восстановительных линий на БПО;

$$\delta n_5 = n_l - n_5$$

— среднее число простаивающих ремонтных линий БПО (при $n_5 \leq n_l$);

$$n_6 = \frac{1}{T} \sum_0^{K-1} n_6(\tau_k)(\tau_{k+1} - \tau_k)$$

— среднее количество ПО, находящегося на складе готовой продукции;

$$T_{\text{ВБР}} = \frac{1}{n S_{\text{ВБР}}} \sum_1^{n S_{\text{ВБР}}} S_{\text{ВБР}}(i, t)$$

— среднее время безотказной работы ПО, где $n S_{\text{ВБР}}$ — размерность вектора $\mathbf{S}_{\text{ВБР}}(t)$;

$$T_q = \frac{1}{n S_q} \sum_1^{n S_q} S_q(i, t)$$

— среднее время ожидания приезда бригады ПРС, где $n S_q$ — размерность вектора $\mathbf{S}_q(t)$;

$$T_l = \frac{1}{n S_l} \sum_1^{n S_l} S_l(i, t)$$

— среднее время ожидания ремонта на БПО, где $n S_l$ — размерность вектора $\mathbf{S}_l(t)$;

$$T_m = \frac{1}{n S_m} \sum_1^{n S_m} S_m(i, t)$$

— среднее время нахождения ПО на складе готовой продукции, где $n S_m$ — размерность вектора $\mathbf{S}_m(t)$;

$T_{\text{МРП}} = \frac{1}{nS_{\text{МРП}}} \sum_1^{nS_{\text{МРП}}} S_{\text{МРП}}(j, t)$ — средний межремонтный период скважин, где $nS_{\text{МРП}}$ — размерность вектора \mathbf{S} МРП(t);

$T_6 = \frac{1}{nS_6} \sum_1^{nS_6} S_6(i, t)$ — среднее время межремонтного периода ПО, где nS_6 — размерность вектора $\mathbf{S}_6(t)$;

$T_{\text{РР}} = T_{\text{МРП}} - T_{\text{ВБР}}$ — среднее время ремонтных работ на скважине;

$T_{\text{ВР}} = T_6 - T_{\text{МРП}}$ — среднее время восстановительных работ на БПО;

$\mathfrak{Q} = \frac{1}{G} \sum_1^G \mathfrak{Q}(g)$ — средняя скорость смены состояний системы ремонтно-технического обслуживания, где G — количество смен состояний системы;

$\mathfrak{Q}(g) = \frac{1}{\tau_0(g)}$ — мгновенная скорость смены состояний системы;

$\tau_0(g)$ — g -й период смены состояний системы.

Описанная выше имитационная модель программно реализована.

Проведен машинный эксперимент со следующими исходными данными:

$T = 1000$ [сут.] — промежуток времени моделирования;

$n_j = 100$ — количество эксплуатируемых скважин;

$n_i = 110$ — количество ПО в обороте (включая установленное в скважины);

$n_q = 3$ — количество обслуживающих бригад ПРС;

$n_l = 3$ — количество ремонтных линий на БПО;

$\bar{\lambda} = \frac{1}{250} \left[\frac{1}{\text{сут.}} \right]$ — средняя интенсивность отказов ПО;

$r_0(q_1) = 0,03$ — значение начального ресурса ПО после установки в скважину первой бригадой ПРС;

$r_0(q_2) = 0,04$ — значение начального ресурса ПО после установки в скважину второй бригадой ПРС;

$r_0(q_3) = 0,05$ — значение начального ресурса ПО после установки в скважину третьей бригадой ПРС;

$P_{\text{брак}}(q_1) = 0,1$ — вероятность преждевременного отказа ПО после установки в скважину первой бригадой ПРС;

$P_{\text{брак}}(q_2) = 0,05$ — вероятность преждевременного отказа ПО после установки в скважину второй бригадой ПРС;

$P_{\text{брак}}(q_3) = 0,07$ — вероятность преждевременного отказа ПО после установки в скважину третьей бригадой ПРС;

$\mu_{q_1} = \mu_{q_2} = \mu_{q_3} = \frac{1}{7} \left[\frac{1}{\text{сут.}} \right]$ — интенсивность работы бригад ПРС;

$\mu_{l_1} = \mu_{l_2} = \mu_{l_3} = \frac{1}{7} \left[\frac{1}{\text{сут.}} \right]$ — интенсивность ремонта на линиях БПО.

В результате получены интересующие нас значения выходных параметров и некоторые графические зависимости (рис. 3–5), которые приведены далее: $n_1 = 85,07$; $n_2 = 12,25$; $n_3 = 2,67$; $n_4 = 3,78$; $n_5 = 2,97$; $n_6 = 0,58$; $nn_3 = 0,89$; $dn_3 = 0,33$; $nn_5 = 0,99$; $dn_5 = 0,03$; $T_{\text{ВБР}} = 224,29$ [сут.]; $T_q = 21,32$ [сут.]; $T_l = 9,64$ [сут.]; $T_m = 1,36$ [сут.]; $T_{\text{МРП}} = 254,24$ [сут.]; $T_6 = 272,18$ [сут.]; $T_{\text{РР}} = 29,95$ [сут.];

$T_{\text{ВР}} = 17,94$ [сут.]; $u = 0,89 \left[\frac{1}{\text{сут.}} \right]$.

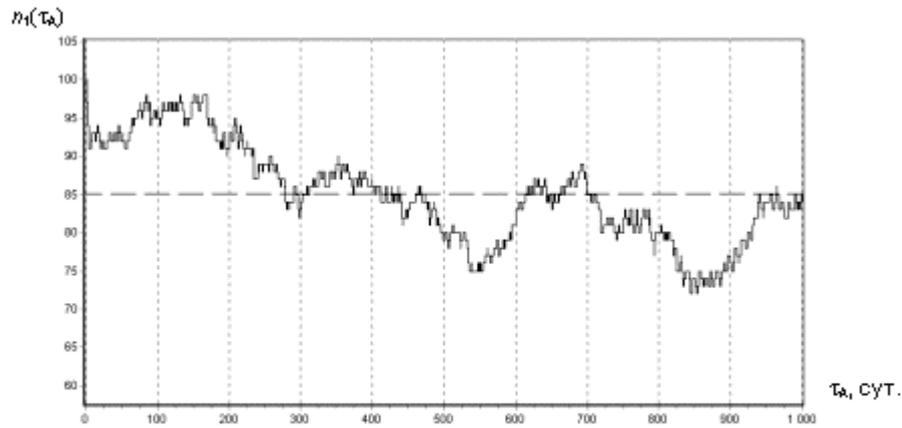


Рис. 3. Количество работающих скважин в зависимости от времени



Рис. 4. Количество остановленных скважин в ожидании приезда бригады ПРС в зависимости от времени

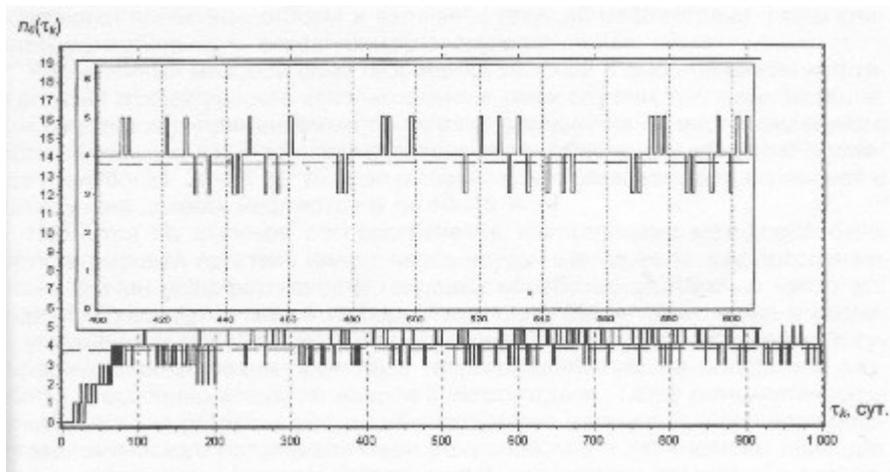


Рис. 5. Количество ПО в ожидании ремонта на БПО в зависимости от времени

Дальнейшее развитие работ по имитационному моделированию направлено на определение оптимальных настроек ресурсных параметров ремонтно-технических служб.

Литература

1. Генералов И. В., Нюняйкин В. Н., Жагрин А. В., Михель В. Д., Зейман Ю. В., Рогачев М. К. Диагностирование условий эксплуатации скважин, оборудованных УЭЦН // Нефтяное хозяйство. 2002. № 2. С. 62–64.
2. Портнягин А. Л., Соловьев И. Г. Разработка имитационной модели ремонтно-технического обслуживания // Международные и отечественные технологии освоения природных минеральных ресурсов: Материалы науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и научных работников (17–18 окт.

2002 г.). Астрахань: Изд-во Астрахан. гос. пед. ун-та, 2002. С. 117–118.

3. Соловьев И. Г., Портнягин А. Л. Имитационное моделирование процессов ремонтно-технического обслуживания эксплуатационных скважинных систем // Нефть и газ: проблемы недропользования, добычи и транспортировки: Материалы науч.-техн. конф., посвященной 90-летию со дня рождения В. И. Муравленко. Тюмень: ТюмГНГУ, 2002. С. 209.

A. L. Portnyagin

**QUESTIONS OF SIMULATION WITH RESPECT TO
MAINTENANCE AND SUPPORT PROCESS OF DOWNHOLE EQUIPMENT**

The article considers essential theses on creating a simulation model with respect to maintenance and support process of downhole equipment. It describes state variables of the simulated process, also the model's parameters subject to selecting a group of regulated parameters. The author quotes the results of a mechanical experiment.