

М. А. Бояркин

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОПЕРАТОРОВ АСУ ТП НГК

Рассматривается формализация деятельности оператора АСУ ТП НГК. Уточняются основные аспекты этой деятельности. Сформирован прецедент деятельности на примере АСУ установкой предварительного сброса воды (УПСВ). Описана имитационная модель. Приводятся результаты оценки ее адекватности одной из задач исследования.

1. Цель построения модели

Исследования фрагмента архива SCADA-системы (далее SCADA-архива) нефтегазового предприятия [1], а также структуры SCADA-архивов предприятий ТЭК показали, что архивная информация может быть использована [2], в частности, для объективной оценки деятельности операторов. В то же время сложилась ситуация, когда ретроспективные данные мониторинга объектов НГК (т. е. SCADA-архивы) в полном объеме не доступны для исследовательских организаций по причине коммерческой тайны. Альтернативой реальному SCADA-архиву в проводимом нами исследовании проблемы объективной оценки деятельности оператора являются:

— информационная модель SCADA-архива, созданная веб-программированием алгоритмов статистического моделирования совокупности псевдослучайных последовательностей с учетом структуры SCADA-архива и адекватной настройки параметров генераторов случайных чисел;

— статистическая имитационная модель системы «оператор — консоль», отражающая случайный процесс реагирования оператора на события, фиксируемые консолью.

2. Деятельность операторов АСУ ТП

На современных нефтедобывающих производствах оператор-технолог является компонентом технологического процесса. Режим его работы определяется требованием немедленного реагирования на информацию, поступившую на пульт управления (консоль АСУ). При этом действия, выполняемые оператором при возникновении нештатных или аварийных ситуаций, регламентируются инструкциями, которые содержат типовой набор ситуаций и решений. В качестве примера рассмотрим инструкцию «План ликвидации возможных аварий» (ПЛВА). Фрагмент такой инструкции одного из нефтегазодобывающих предприятий приведен в табл. 1.

Деятельность оператора (ДО) является совокупностью нескольких видов деятельности: $ДО = \{Act_i\}$ (см. табл. 2), где Act_i — i -й вид деятельности. Каждый вид деятельности складывается из совокупности прецедентов Π_{ijk} — последовательностей действий по решению конкретных задач (в нашем случае задачи по ликвидации аварий (табл. 1)). Большая часть действий оператора при возникновении аварии реализуется посредством органов управления SCADA-системы и фиксируется в SCADA-архиве. Это дает возможность:

— отследить действия оператора в аварийной ситуации и проверить их адекватность;

— оценить статистические характеристики времени реакции оператора на аварийный режим (времени квитирования) [1];

— определить общее время, затраченное оператором с момента возникновения аварийного режима до момента окончания действий согласно ПЛВА или до восстановления штатной ситуации.

Эти данные служат основой объективной оценки деятельности оператора во время аварийной или нештатной ситуации.

Таблица 1

Фрагмент плана ликвидации возможных аварий

Вид аварии и место ее возникновения	Мероприятия по спасению людей и ликвидации аварии	Ответственный
Полная остановка УПН	1.1. Квитировать сигналы консоли	Оператор
	1.2. Сообщить в центральную инженерно-технологическую службу (№ тел.), руководству цеха, технологу	Оператор
	1.3. Согласовать с операторами УПСВ «Б», УПСВ «С», УПСВ «2а» свои действия, закрыть задвижки № 4, 2, 123, 129, 132, 131, 122	Оператор, технолог
	1.4. Остановить печи ПТБ-10 и БР, отключить электродегидраторы кнопками отключения	Оператор
	1.5. Остановить технологические насосы 300/120	Оператор
	1.6. Закрыть задвижку № 259	Оператор
	1.7. Сбросить давление в аппаратах	Оператор

Структурная схема рассматриваемой деятельности оператора-технолога показана на рис. 1. Это самый верхний уровень представления. Отражена последовательность четырех основных типовых этапов [3] (см. рис. 1):

1. Прием информации (блок 1). На этом этапе происходит пассивное слежение за консолью АСУ. Этот процесс «ожидания» зажигания индикаторов аварийной или предаварийной ситуации, а точнее, визуальный мониторинг консоли или широкоформатного экрана. Характеристикой успешности мониторинга является время реакции оператора на появление сигнала тревоги. Это время складывается из времени восприятия $\tau_в$: сигнал от сетчатки глаза доходит до головного мозга и осмысливается (интерпретируется) как факт тревоги, и времени сканирования $\tau_с$ взглядом табло, например его путь от сикуминутного направления до места загорания соответствующей лампочки. Для уменьшения этого времени реакции оператора обычно световой сигнал тревог дополняется звуковым. Можно вводить и снижение или увеличение освещенности всего помещения в этот момент.

2. Оценка и переработка информации (блок 2). На этом этапе производится анализ и интерпретация сигналов и данных: на основании известных критериев качества и надежности выделяются нештатные и аварийные ситуации, объекты, требующие повышенного внимания.

3. Принятие решения (блок 3). Здесь оператор принимает решение о необходимых действиях на основании предыдущего этапа деятельности, опыта и знаний.

4. Реализация принятого решения (блок 4). На этом этапе оператор действует согласно ПЛВА (табл. 1).

На каждом из этих этапов оператор совершает самоконтроль действий.

Обязанности операторского состава, а следовательно, и специфика его деятельности различаются в зависимости от типа производства. Действия операторов рассматриваемой установки следует разделить на реализуемые посредством АСУ (тип А) и выполняемые непосредственно (тип Н).



Рис. 1. Структурная схема деятельности оператора-технолога с немедленным обслуживанием ситуаций

Это разделение необходимо потому, что именно действия оператора, выполняемые посредством АСУ, отслеживаются автоматически SCADA-системой и доступны для последующего объективного анализа. Множество всех действий оператора УПСВ, а также их разделение по типу реализации представлены в табл. 2.

Таблица 2

Перечень действий операторов УПСВ

№ п/п	Действия оператора	Тип реализации
1	Ведение технологического процесса согласно технологическому регламенту установки	А
2	Регулирование и контроль технологических параметров (температура, давление, расход, межфазные уровни в технологических аппаратах) с помощью программного обеспечения, установленного на рабочем месте согласно регламенту (табл. 1)	А
3	Участие в ликвидации аварий и их последствий	А, Н
4	Проверка работоспособности, сроков освидетельствования приборов контроля, предохранительной арматуры	А, Н
5	Приготовление и дозировка реагентов	А
6	Учет сдачи товарной нефти потребителю	А
7	Проведение обходов, осмотров оборудования	Н
8	Ведение технической документации по работе оборудования и технологическому режиму, расходу реагентов, учету характеристик поступившего и сданного продукта, составление заявок на ремонт и обслуживание оборудования	Н

Из табл. 2 видно, что большая часть действий операторов реализуется посредством консоли АСУ, т. е. фиксируется или может фиксироваться в SCADA-архивах. Это еще раз показывает возможность и целесообразность ретроспективного анализа SCADA-архивов для комплексного исследования деятельности операторов АСУ и оценки качества их работы. В связи с этим можно ввести коэффициент прозрачности деятельности оператора как отношение количества действий, фиксируемых SCADA-системой, к общему количеству действий, выполняемых операторами. Этот показатель может быть критерием совершенства SCADA-системы.

3. Информационная модель системы «оператор — консоль»

Под системой «оператор — консоль» (СОК) здесь понимается динамическая система, состоящая из оператора и экрана (компьютера, широкоформатного табло и т. п.) с появляющимися на нем сигналами ситуации на объекте нефтегазопромысла. Для моделирования СОК нами использована информационная модель предметного действия, которая обеспечивает формализацию действий оператора от момента начала слежения за пультом управления до момента окончания действий согласно ПЛВА. На базе этой информации строится имитационная модель.

Опишем использованную нами методику моделирования на примере действий оператора при слежении за давлением в газосепараторе (ГС), являющегося частью УПСВ. Необходимая для моделирования информация о ГС сведена в табл. 3.

Таблица 3

Данные о газосепараторе

Режим	Уровень давления	Вид сигнала	Давление, МПа	Требование по квитированию
1	Близко к верхнему допустимому пределу	П	~ 0,3	Да
2	Близко к нижнему допустимому пределу	Н, П	~ 0,15	Да
3	В норме	Н	0,15–0,3	Нет
4	Верхний предел	А	> 0,3	Да
5	Нижний предел	А	< 0,15	Да
6	Нижний допустимый предел	Н, П	0,15	Да
7	Верхний допустимый предел	П	0,3	Да

Примечание. А — аварийное, Н — нормальное, П — предаварийное состояния. Да — требуется квитиование, нет — квитиование не требуется.

Режимы 2 и 6 могут вызывать одновременно два вида сигналов. В этом случае необходима дополнительная информация (или уточнение имеющейся) и ее анализ для окончательной идентификации состояния системы.

Для построения алгоритма, моделирующего рассматриваемый процесс, требуются следующие функциональные блоки:

1. Прием (восприятие) сигнала с консоли, т. е. оператор наблюдает только за индикаторами, отображающими уровень давления в ГС. Этот блок учитывает время восприятия сигналов.

2. Прием через поиск. Оператор наблюдает всю консоль. Этот блок необходим при моделировании всей деятельности оператора, учета времени сканирования консоли взглядом.

3. Выявление информационного содержания сигналов. На этом этапе определяется, горят ли индикаторы, отвечающие за давление в ГС.

4. Интерпретация сигналов. Сравнение и выбор адекватного сигналу образа: красный — авария, желтый — предавария, не горит — нормальный режим работы.

5. Режим 3 (табл. 2).

6. Режим 1 или 7 (табл. 2).

7. Режим 4 или 5 (табл. 2).

8. Режим 2 или 6 (табл. 2).

9. Квитирование.

9а. Обострение внимания и подготовка к возможной аварии и ее устранению.

10. Выбор действий согласно ПЛВА, в зависимости от вида аварии и места ее возникновения.

11. Квитирование.

11а. Установление дефицита информации.

12. Добор информации для однозначной идентификации состояния.

13. Действия согласно ПЛВА.

Блок-схема алгоритма представлена на рис. 2.

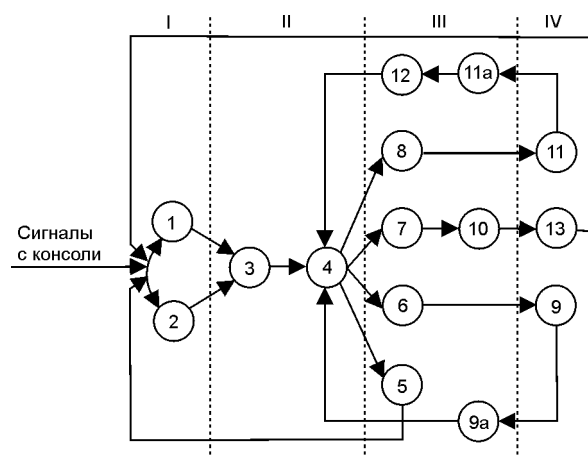


Рис. 2. Блок-схема алгоритма, моделирующего действия оператора при слежении за ГС

Модель предметного действия содержит 15 блоков (рис. 3), которые разделены на четыре фазы: фаза приема информации (I), фаза оценки и переработки информации (II), фаза принятия решений (III) и фаза реализации принятого решения (IV). Такое разделение соответствует общей структуре деятельности оператора (рис. 1).

4. Имитационная модель

Имитационная модель представляет собой совокупность псевдослучайных генераторов сигналов на консоль и действий оператора на эти сигналы. В результате работы этих генераторов формируется последовательность событий, отражающая *n* отдельно выполняемых действий (согласно рис. 2). Каждое из этих действий является событием соответствующего потока с вероятностными параметрами, адекватными статистическим данным, полученным обработкой фрагментов SCADA-архивов.

Структурная схема имитационной модели рассматриваемой системы представлена на рис. 3.

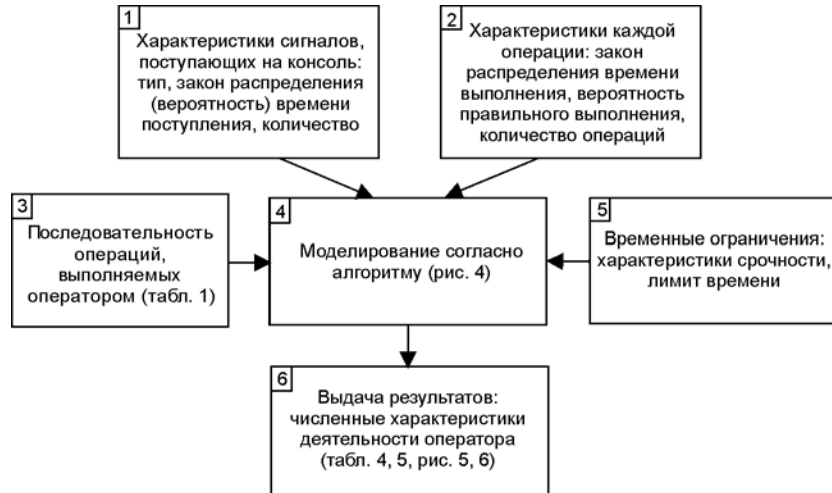


Рис. 3. Структурная схема имитационной модели деятельности оператора

Исходными данными для модели являются:

- вероятность аварийных событий (АС) — событий, требующих квитирования и дальнейших действий оператора согласно ПЛВА. Параметры потока мгновенный времени возможного появления событий;

- интервал времени, в котором рассматривается деятельность оператора;

- вероятность предаварийных событий (ПС) — событий, требующих только квитирования. Параметры потока мгновенный времени возможного появления этих событий;

- закон распределения времени квитирования;

- параметры распределения времени (нами выбран универсальный закон Вейбулла) выполнения одной операции, направленной на устранение аварийной ситуации;

- количество действий, которые необходимо совершить оператору для ликвидации данного вида аварии, согласно ПЛВА.

Для отображения алгоритма, моделирующего рассматриваемую систему, введены следующие операторы:

Ф1 — формирование исходных данных: интервал времени поступления событий $[T_1, T_2]$, $T_2 > T_1$; количество ожидаемых событий N ; итерационная переменная $i = 1$; время поступления события — t_i ; время квитирования события — $t_{ик}$; время выполнения одного действия — $t_{ид}$; тип события T_c , $T_c \in \{ПС, АС\}$; количество действий оператора — n , $n \in \{3...6\}$; законы распределения $m(f)$ для t_i , $p(f)$ для $t_{ик}$, $z(f)$ для $t_{ид}$; вероятность T_c .

P2 — проверка $i \leq M$.

A3 — вычисление T_c .

P4 — проверка T_c .

A5 — вычисление $t_{ик}$.

Я6 — вывод информации о текущем событии в таблицу.

A7 — $l = i + 1$.

Ф8 — формирование t_{if} — времени последнего действия на i -е событие; d — номер производимого действия, t_o — общее время выполнения всех действий.

- A9 — вычисление t_{id} , n . $d = 1$.
- P10 — проверка $d < n$.
- A11 — вычисление $t_{i0} = t_{1d} + t_{2d} + \dots + t_{id}$.
- P12 — проверка на адекватность: $t_{1d} < t_{2d} < \dots < t_{i-1d} < t_{id}$, $l = n$.
- A13 — действия не адекватны.
- Я14 — запись информации о i -ом событии в таблицу.
- A15 — $l = l + 1$.
- A16 — действия адекватны.
- P17 — проверка на выбор d -го действия.
- A18 — вычисление t_{id} .
- A19 — $d = d + 1$.

Блок-схема алгоритма представлена на рис. 4.

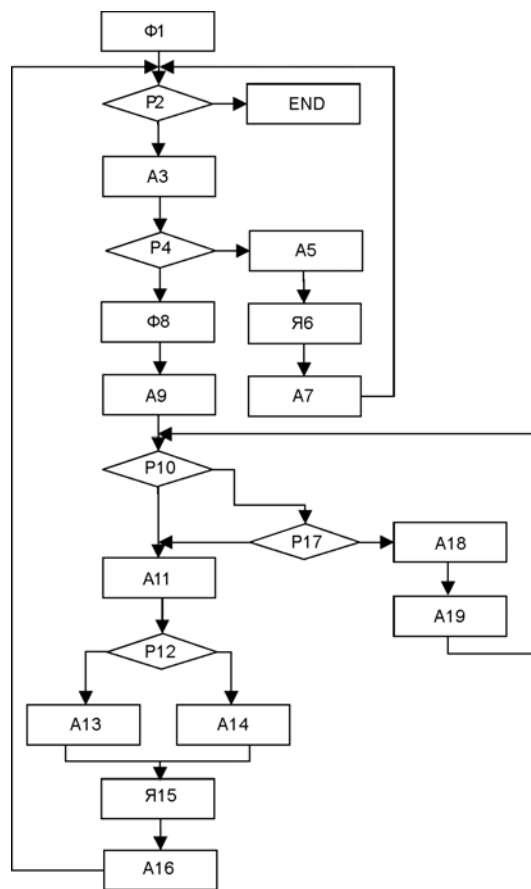


Рис. 4. Блок-схема алгоритма

Адекватность модели обусловлена:

- самим методом статистического моделирования, отображающим вероятностную природу всех потоков событий в АСУ ТП;
- тем, что параметры распределений выбраны на базе оценок соответствующих распределений, полученных при обработке фрагментов архивов;
- непротиворечивостью здравому смыслу данных, полученных при прогонах модели;

— тем, что при задаче исходных данных для моделирования использовались данные о затратах времени (в с) на каждый элементарный акт (рис. 2) деятельности оператора [4]:

Время нацеливания и фокусировки глаз	0,167
Время восприятия показания прибора	0,2–0,8
Время передачи светового возбуждения мозгу	0,03–0,3
Различение (опознание предмета)	$\geq 0,5$
Оценка числа единиц информации (пространственное положение)	1,35
Распознавание или выработка решения	1,35
Запоминание и воспоминание	$\geq 0,25$
Переключение внимания	0,03–0,04

5. Результаты моделирования

В процессе модельного эксперимента были сформированы таблицы, в которых представлены выходные данные: номер аварийного или предаварийного события (№); тип события: А — аварийное, П — предаварийное; время квидирования t_k ; общее время $t_{общ}$ — время выполнения оператором всех регламентированных ПЛВА действий при данном виде аварии — N ; адекватность действий оператора: да, нет. Действия считаются адекватными, если выполняются в полном объеме и в последовательности, определенной ПЛВА.

Ниже приводятся результаты прогона модели для двух разных операторов при следующих исходных данных: $p(AC) = 0,4$, $p(ПС) = 0,6$, где p — это вероятность, $T = 240$ ч., t_k распределено по нормальному закону распределения $f(6,15)$ для первого оператора и $f(9,15)$ — для второго, количество действий оператора $\in [3,6]$ (равновероятны), $t_{ид} \in [3,8]$ (равновероятно), вероятность адекватных действий 4/5, вероятность неадекватных действий 1/5 для первого оператора и 5/6 и 1/6 — соответственно для второго оператора. Результаты моделирования представлены в виде таблицы, фрагмент которой приведен ниже (табл. 4).

Таблица 4

Данные, полученные в результате моделирования

№	Тип события	t_k	$t_{общ}$	N	Адекватность действий
Оператор 1					
1	А	0:00:03	0:00:30	4	Да
2	П	0:00:04	—	—	—
3	А	0:00:10	0:00:52	4	Да
4	А	0:00:02	0:00:27	3	Да
5	А	0:00:15	0:00:45	5	Нет
6	П	0:00:03	—	—	—
7	...	...	...	...	...
Оператор 2					
1	А	0:00:02	0:00:28	4	Да
2	А	0:00:04	0:00:16	3	Да
3	...	...	...	...	...

После обработки данных табл. 4 получили табл. 5 и графическое представление t_k , $t_{общ}$ и адекватности действий двух операторов за выбранный интервал времени (рис. 5–7). В табл. 6 приведены числовые характеристики t_k .

Оценка данных по общему времени решения задачи оператором определяется методом экспертных оценок [7].

Таблица 5

Результаты обработки данных моделирования

Оператор	Кол-во АС	Кол-во ПС	Адекватность действий, %		$t_{\text{общ}}$, %		
			Адекватные	Неадекватные	Хорошее	Удовлетворительное	Неудовлетворительное
1	33	51	92	8	89	8	3
2	15	50	98	2	93	6	1

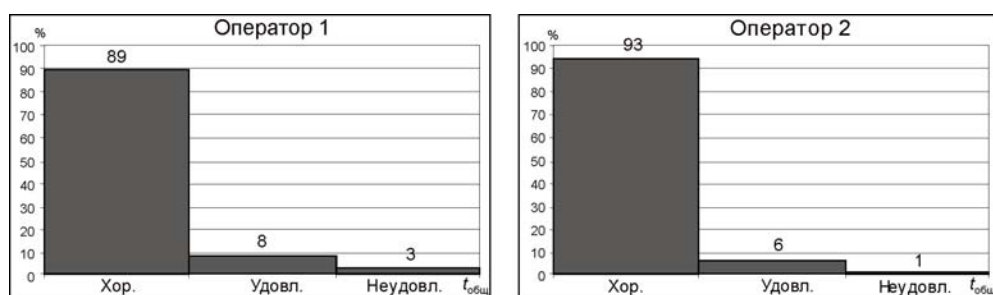


Рис. 5. Гистограммы времени выполнения задачи по ликвидации аварии (согласно ПЛВА), $t_{\text{общ}}$

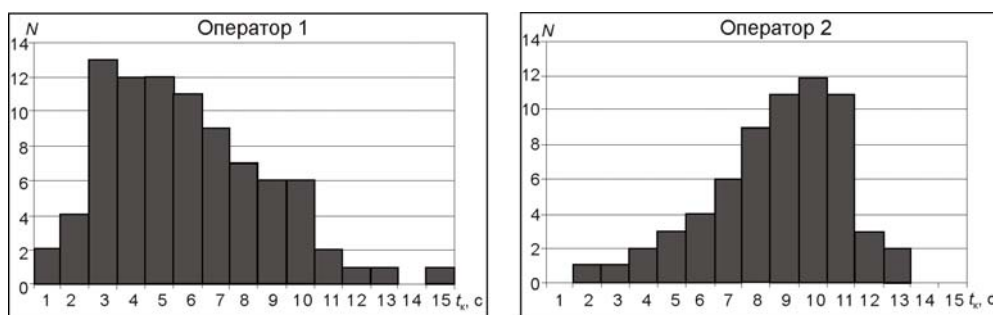


Рис. 6. Гистограммы времени квитирования, $t_{\text{к}}$

Таблица 6

Числовые характеристики времени квитирования

Оператор	Асимметрия	Экссесс	Медиана	Мода	Среднее
1	0,77	0,41	0:00:05	0:00:03	0:00:06
2	-0,68	0,24	0:00:09	0:00:10	0:00:09



Рис. 7. Процент неадекватных действий операторов

Результаты соответствуют распределениям, полученным при обработке фрагментов реальных архивов [1], что позволяет судить об адекватности модели.

Заключение

В работе описана использованная методика формирования и представлен результат имитационного моделирования системы «оператор — консоль» АСУ. Созданная имитационная модель вместе с возможностью формирования «псевдоархивов» АСУ ТП является полигоном для отработки методики объективной оценки деятельности оператора по параметрам:

- времени реакции на аварийные и нештатные режимы работы оборудования, как параметр бдительности оператора во время рабочей смены;
- адекватности (полноте и последовательности) действий оператора в соответствующих ситуациях;
- общем времени решения задачи по ликвидации аварии оператором.

Автор признателен В. А. Шапцеву за критические замечания и консультации при написании статьи, а также В. О. Доманскому за помощь при программной реализации имитационной модели.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бояркин М. А., Шапцев В. А. Предварительное исследование данных архивов автоматического мониторинга объектов нефтегазового комплекса // Вестн. кибернетики. — Тюмень: Изд-во ИПОС СО РАН, 2005. — № 4. — С. 60–73.
2. Эм Л. В. Применение архивов оцененных параметров при циклических расчетах ПВК «ОЦЕНКА» [Электрон. ресурс] // Режим доступа: <http://anares.irk.ru/DOC/A2ISEM1.DOC>.
3. Душков Б. А., Королев А. В., Смирнов Б. А. Основы инженерной психологии: Учеб. для студентов вузов. — М.: Академический проект; Екатеринбург: Деловая книга, 2002. — 576 с.
4. Панов Г. Е. Эргономика в нефтяной промышленности. — М.: Недра, 1979. — 278 с.
5. Анохин А. Н., Острейковский В. А. Практические вопросы эргономики в энергетике (на примере АС): Учеб. пособие. — Обнинск: ИАТЭ, 1999. — 208 с.
6. Хан Г., Шапиро С. Статистические модели в инженерных задачах. — М.: Мир, 1969. — 395 с.
7. Орлов А. И. Эконометрика: Учеб. пособие. — М.: Экзамен, 2002.

M. A. Boyarkin

*MODELING THE ACTIVITY OF PROCESS AUTOMATIC CONTROL SYSTEM (PACS)
OIL-AND-GAS COMPLEX (OGC) OPERATORS*

It is regarded a formalization of PACS OGC operator activity. The main aspects of this activity are amended. There is established an example of this activity based on the RACS of preliminary discharge water (FPDW) facility. Simulation model is described. Estimation results of its validity are given using one of the research tasks.