

DOI: 10.24143/2072-9502-2019-4-18-27  
УДК 004.942

## КОМПЛЕКСНАЯ МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ ДИНАМИКИ ПРОХОДКИ СТРОИТЕЛЬСТВА НЕФТЕГАЗОВЫХ СКВАЖИН НА ОСНОВЕ АДДИТИВНОГО СТРУКТУРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

*А. А. Жданов*

*Кубанский государственный технологический университет,  
Краснодар, Российская Федерация*

Решение задачи прогнозирования для производственных систем подразумевает определение будущих значений уровней временного ряда, отклонение которых от фактических значений должно быть минимизировано. Структура процесса строительства нефтегазовых скважин включает две группы детерминированных однородных компонентов, соответствующих интервалам бурения и крепления скважин, а также компоненту нерегулярного случайного воздействия на производственную систему, соответствующую непроизводительному времени. Временной ряд строительства нефтегазовых скважин может быть описан аддитивной структурной моделью, слагаемые которой представлены однородными компонентами. Для прогнозирования интервалов работ, соответствующих нулевым показателям проходки, предложена комбинированная методика аналогово-сценарного прогнозирования. Для прогнозирования участков работ, соответствующих интервалам работ по бурению скважин, предложена комбинированная методика ансамблево-сценарного прогнозирования. Результаты сценарного прогнозирования, соответствующие первому квартилю, медиане и третьему квартилю статистического распределения, агрегированы в аддитивную структурную модель производственной системы. Оценка результативности прогнозирования выполнена по критериям *MAE* и *MAPE*. Наибольшую точность продемонстрировал агрегированный базовый сценарий разработанной методики, ошибка которого по критерию *MAPE* составляет 12,9 %, что лучше результатов используемого в практике буровых предприятий метода нормативного прогнозирования, для которого расчетное значение *MAPE* составило 14,9 %.

**Ключевые слова:** временной ряд, строительство нефтегазовых скважин, аддитивная структурная модель прогнозирования, аналогово-сценарное прогнозирование, ансамблево-сценарное прогнозирование.

**Для цитирования:** Жданов А. А. Комплексная методика прогнозирования временных рядов динамики проходки строительства нефтегазовых скважин на основе аддитивного структурного моделирования // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2019. № 4. С. 18–27. DOI: 10.24143/2072-9502-2019-4-18-27.

### **Введение**

В настоящее время в практике планирования и прогнозирования производственной деятельности бурового предприятия широко используются методы нормативного прогнозирования и методы аналогового моделирования по образцу.

Использование указанных методов для процесса планирования производственной деятельности не выдерживает критики, что обусловливается следующими принципиальными проблемами:

– нормы времени, отведенного на выполнение технологических операций в процессе строительства скважин, катастрофически устарели, крайние редакции сборников датируются 90-ми гг. XX в. Отдельные виды выполняющихся в настоящее время работ в нормативных справочниках отсутствуют, что связано с поступательным совершенствованием технико-технологического обеспечения процесса строительства скважин;

– аналоговое моделирование процесса строительства исходит из предположения о схожести рассматриваемого объекта с одним из объектов-аналогов, закон развития которого уже формализован, однако на практике полноценная процедура поиска объектов-аналогов не выполняется, что приводит к искажению прогнозных показателей.

Вышеуказанные проблемы подтверждают актуальность исследования, цель которого заключается в повышении точности прогнозирования временных рядов производственных

систем с применением комплексной методике аналогово-сценарного и ансамблево-сценарного прогнозирования на основе аддитивной структурной модели производственной системы на примере строительства нефтегазовых скважин.

Научная новизна исследования подтверждается отсутствием методологической базы для эффективного прогнозирования временных рядов производственных систем, характеризующихся нестационарностью и нелинейностью.

Для достижения цели исследования использованы методы математического моделирования, статистического анализа, сценарного анализа и анализа временных рядов.

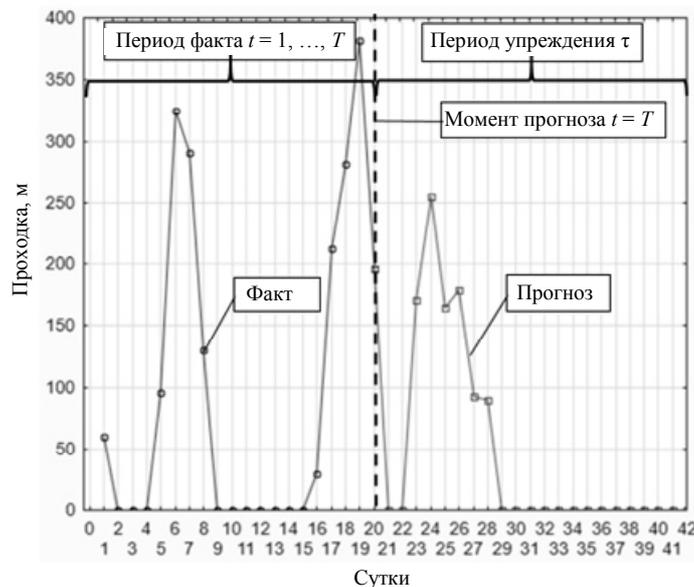
**Постановка задачи прогнозирования временных рядов производственных систем на примере строительства нефтегазовых скважин**

Пусть некоторый исследуемый процесс описывается совокупностью значений некоторой величины  $x_i(t)$ , произведенной системой в определенные последовательные дискретные моменты времени  $t = 1, 2, \dots, T [1]$ .

Для решения задачи прогнозирования необходимо для заранее определенного времени упреждения  $\tau$  в дискретные моменты времени  $t = T + 1, T + 2, \dots, T + \tau$  определить совокупность прогнозных уровней временного ряда  $\hat{x}_i(t)$  таких, чтобы среднее абсолютное отклонение  $E_i$  фактических уровней исследуемой системы  $x_i(t)$  от прогнозируемого  $\hat{x}_i(t)$  стремилось к минимально возможному для заданного периода упреждения  $\tau$ :

$$E = x_i(t) - \hat{x}_i(t) = \frac{1}{\tau} \sum_{i=T+1}^{T+\tau} |\varepsilon_i| \rightarrow \min. \tag{1}$$

На рис. показана графическая постановка задачи прогнозирования динамики проходки отдельной скважины, начиная с момента прогноза  $T = 20$ , для периода упреждения  $\tau = 22$ .



Графическая иллюстрация задачи прогнозирования

Для решения поставленной задачи может быть использована разработанная комплексная методика аналогово-сценарного и ансамблево-сценарного прогнозирования на основе аддитивной структурной модели производственной системы на примере строительства нефтегазовых скважин.

**Формализация аддитивной структурной модели прогнозирования временных рядов строительства нефтегазовых скважин**

Производственные циклы предприятий, осуществляющих отдельные виды строительных работ, состоят из периодически повторяющихся совокупностей производительных и непроизводительных последовательно-параллельных технологических операций, отдельные группы которых,

в зависимости от промежуточной цели, объединяются в виды этапов работ, а виды этапов работ, в зависимости от общности условий протекающих процессов, – в виды строительных работ [2–5].

Для временных рядов динамики проходки строительства нефтегазовых скважин характерно наличие двух групп компонентов, подход к прогнозированию которых имеет существенные особенности:

1) компоненты, характеризующие прогнозную продолжительность по виду этапа работ «Бурение скважины». Общей характеристикой для данной группы структурных компонентов является положительность проходки  $H_i > 0$  и скорости бурения  $V_i > 0$ ;

2) компоненты, характеризующие прогнозную продолжительность участков с разрывами данных. Общей характеристикой для рассматриваемых компонент являются нулевые значения проходки  $H_i = 0$  и скорости бурения  $V_i = 0$ .

Рассмотрим для примера выборку данных, представленную информацией о строительстве 54 объектов – эксплуатационных скважин Чаяндинского нефтегазоконденсатного месторождения (НГКМ) с общей историей, включающей 2 430 измерений. Цикл строительства включает 6 участков с однородным составом работ, который может быть представлен в следующем виде:

1) бурение под обсадную колонну – направление. Характеризуется положительными значениями проходки при забое скважины до 60 м;

2) крепление обсадной колонны – направление. Характеризуется нулевыми значениями проходки при забое скважины 60 м;

3) бурение под обсадную колонну – кондуктор. Характеризуется положительными значениями проходки при забое скважины от 60 до 900 м;

4) крепление обсадной колонны – кондуктор. Характеризуется нулевыми значениями проходки при забое скважины 900 м;

5) бурение под эксплуатационную колонну. Характеризуется положительными значениями проходки при забое скважины от 900 до 3 000 м;

6) крепление эксплуатационной обсадной колонны. Характеризуется нулевыми значениями проходки при забое скважины от 2 800 до 3 000 м.

Перейдем к формализации аддитивной структурной модели прогнозирования производственной системы с учетом сформулированных выше компонентов, составляющих цикл строительства нефтегазовых скважин:

$$T = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5 + T_6 + T^{\text{НПВ}}, \quad (2)$$

где  $T_1$  – прогнозная продолжительность бурения скважины под направление;  $T_2$  – прогнозная продолжительность крепления скважины направлением;  $T_3$  – прогнозная продолжительность бурения скважины под кондуктор;  $T_4$  – прогнозная продолжительность крепления скважины кондуктором;  $T_5$  – прогнозная продолжительность бурения скважины под эксплуатационную колонну;  $T_6$  – прогнозная продолжительность крепления скважины эксплуатационной колонной;  $T^{\text{НПВ}}$  – прогнозная продолжительность непроизводительного времени.

Важным компонентом представленной модели (2) является непроизводительное время, связанное с отклонениями от хода работ, регламентированного рабочей, проектной и иной документацией [6]. Характерной чертой рассматриваемого компонента является непредсказуемый, нерегулярный характер его возникновения во временном ряду по причине отказов в работе оборудования, нарушения технологии, сложности геологических условий бурения, организации производственного процесса и влияния внешних природно-климатических факторов.

### **Комбинированная аналогово-сценарная методика прогнозирования интервалов с нулевыми показателями проходки**

Рассмотрим специфику прогнозирования компонентов модели, характеризующихся нулевыми значениями показателя проходки:

1) непроизводительное время может входить в состав любого из рассмотренных структурных участков цикла строительства скважины, а ввиду непредсказуемости его возникновения сделать конкретный прогноз о точке и интенсивности его воздействия на рассматриваемый процесс не представляется возможным;

2) рассматриваемая выборка ретроспективных данных о результатах строительства скважин характеризуется длинной историей;

3) участки с нулевыми показателями проходки не могут рассматриваться как временные ряды, поскольку характеризуются пустым множеством значений отслеживаемого показателя, что исключает возможность применения моделей временных рядов для их прогнозирования.

С учетом вышеизложенного можно сделать вывод о целесообразности использования комбинации методов аналогового и сценарного моделирования. В условиях решаемой задачи аналоговое моделирование показывает высокую эффективность, что связано с однородностью выборки данных. С другой стороны, для учета меры влияния случайных отклонений на процесс строительства скважин предложено применение метода сценарного моделирования.

Информация о неопределенности прогноза поведения системы чрезвычайно важна для принятия управленческих решений. Определение вероятности осуществления прогноза является обычным способом оценки его неопределенности и в настоящее время становится распространенной практикой.

В качестве оценки неопределенности прогнозов может быть использована информация о диапазоне разброса анализируемой величины, которая может быть получена в ходе сценарного моделирования.

Проведем сценарный анализ показателей продолжительности крепления скважин в разрезе отдельных видов строительных работ  $T_2^k$ ,  $T_4^k$ ,  $T_6^k$  и непроизводительного времени  $T^{\text{НПВ}^k}$ .

Рассмотрим показатели статистического распределения непроизводительного времени строительства  $k = 54$  скважин Чаяндынского НГКМ, результаты которого представлены в табл. 1.

Таблица 1

Сценарный анализ продолжительности НПВ  $T^{\text{НПВ}^k}$

Характеристика	Значение
Количество элементов, $n$	54
Среднее значение, $\bar{T}^{\text{НПВ}^k}$	167,4
Стандартное отклонение, $S_{T^{\text{НПВ}^k}}$	163,5
Минимальное значение, $T_{\min}^{\text{НПВ}^k}$	0,0
1-й квартиль, $T_{1q}^{\text{НПВ}^k}$	55,8
Медиана, $T_{\text{med}}^{\text{НПВ}^k}$	101,9
3-й квартиль, $T_{3q}^{\text{НПВ}^k}$	253,4
Максимальное значение, $T_{\max}^{\text{НПВ}^k}$	807,1

По результатам рассмотрения сценариев окончательно примем следующие значения для показателя  $T^{\text{НПВ}}$ , соответствующие первому квартилю, медиане и третьему квартилю статистического распределения:

- пессимистический прогноз  $T_{\max}^{\text{НПВ}} = 253,4$  ч;
- базовый прогноз  $T_{\text{base}}^{\text{НПВ}} = 101,9$  ч;
- оптимистический прогноз  $T_{\min}^{\text{НПВ}} = 55,8$  ч.

Перейдем к сценарному моделированию продолжительности крепления скважины обсадной колонной-направлением, результаты которого представлены в табл. 2.

Таблица 2

Сценарный анализ продолжительности крепления  $T_2^k$ 

Характеристика	Значение
Количество элементов, $n$	54
Среднее значение, $\bar{T}_2^k$	44,5
Стандартное отклонение, $S_{T_2^k}$	14,6
Минимальное значение, $T_{2_{\min}}^k$	24,5
1-й квартиль, $T_{2_{1q}}^k$	34,7
Медиана, $T_{2_{med}}^k$	41,2
3-й квартиль, $T_{2_{3q}}^k$	50,5
Максимальное значение, $T_{2_{\max}}^k$	89,4

По результатам рассмотрения сценариев окончательно примем следующие значения для показателя  $T_2^k$ , соответствующие первому квартилю, медиане и третьему квартилю статистического распределения:

- пессимистический прогноз  $T_2^{\max} = 50,5$  ч;
- базовый прогноз  $T_2^{base} = 41,2$  ч;
- оптимистический прогноз  $T_2^{\min} = 34,7$  ч.

Аналогичным образом проведем сценарное моделирование продолжительности крепления скважины обсадной колонной-кондуктором  $T_4^k$  и эксплуатационной колонной  $T_6^k$ , результаты которого представлены в табл. 3, 4.

Таблица 3

Сценарный анализ продолжительности крепления  $T_4^k$ 

Характеристика	Значение
Количество элементов, $n$	54
Среднее значение, $\bar{T}_4^k$	137,6
Стандартное отклонение, $S_{T_4^k}$	42,7
Минимальное значение, $T_{4_{\min}}^k$	49,0
1-ый квартиль, $T_{4_{1q}}^k$	111,4
Медиана, $T_{4_{med}}^k$	133,3
3-й квартиль, $T_{4_{3q}}^k$	149,8
Максимальное значение, $T_{4_{\max}}^k$	268,8

Таблица 4

Сценарный анализ продолжительности крепления  $T_6^k$ 

Характеристика	Значение
Количество элементов, $n$	54
Среднее значение, $\bar{T}_6^k$	332,6
Стандартное отклонение, $S_{T_6^k}$	55,3
Минимальное значение, $T_{6_{\min}}^k$	172,8
1-й квартиль, $T_{6_{1q}}^k$	304,6
Медиана, $T_{6_{med}}^k$	336,3
3-й квартиль, $T_{6_{3q}}^k$	368,5
Максимальное значение, $T_{6_{\max}}^k$	478,8

Значения для показателя  $T_4^k$ , соответствующие первому квартилю, медиане и третьему квартилю статистического распределения:

- пессимистический прогноз  $T_4^{\max} = 149,8$  ч;
- базовый прогноз  $T_4^{\text{base}} = 133,3$  ч;
- оптимистический прогноз  $T_4^{\min} = 111,4$  ч.

По результатам рассмотрения сценариев окончательно примем следующие значения для показателя  $T_6^k$ , соответствующие первому квартилю, медиане и третьему квартилю статистического распределения:

- пессимистический прогноз  $T_6^{\max} = 368,5$  ч;
- базовый прогноз  $T_6^{\text{base}} = 336,3$  ч;
- оптимистический прогноз  $T_6^{\min} = 304,6$  ч.

Таким образом, результаты проведенного аналогово-сценарного моделирования позволят предусмотреть в прогнозе строительства скважин возможные варианты протекания производственных процессов.

Пессимистическому, базовому и оптимистическому прогнозу отвечают, соответственно, третий квартиль, медиана и первый квартиль статистического распределения, что позволит минимизировать влияние отдельных выбросов данных на показатели безметровых работ.

### Комбинированная ансамблево-сценарная методика прогнозирования интервалов бурения скважин

Перейдем к рассмотрению специфики прогнозирования компонентов модели, характерных для участков бурения скважины.

Временные ряды бурения скважин на отдельных участках строительства имеют короткую длину, что накладывает существенные ограничения на возможности применения методов прогнозирования с использованием прогнозных моделей. С другой стороны, как показано выше, рассматриваемая выборка данных характеризуется длинной историей, что позволит устранить негативное влияние эффекта короткой длины за счет последовательного посекционного присоединения уровней временных рядов из выборки данных к исходному временному ряду, что соответствует процедуре ансамблевого моделирования.

Другим важным аспектом применения ансамблей непосредственно для решения поставленной задачи прогнозирования временных рядов бурения скважин является возможность выразить неопределенность, характеризующуюся колебаниями глубины спуска обсадных колонн.

В результате проведения описанной процедуры ансамблевого моделирования [7] будет получено три преобразованных временных ряда с длинной историей, для прогнозирования которых может быть использован метод сценарного моделирования.

В ходе проведенного анализа рассматриваемой выборки данных с фактическими результатами строительства нефтегазовых скважин установлено, что максимальной длине временных рядов скорости бурения  $V_{1i}^k, V_{3i}^k, V_{5i}^k$  соответствуют значения  $l_1 = 3, l_3 = 12, l_5 = 14$ .

Проведем сценарный анализ скорости бурения  $V_{1i}^k$  под направление. С этой целью для каждой итерации  $i = 1, 2, l_1 = 3$  определим показатели статистического распределения. Результаты анализа представлены в табл. 5.

Таблица 5

Сценарный анализ  $V_{1i}^k$

Шаг итерации, $i_1$	Количество элементов, $N$	$V_{1\min} = V_{1q}$	$V_{1\text{base}} = V_{1\text{med}}$	$V_{1\max} = V_{1q_3}$
1	54	72,00	89,57	129,14
2	19	48,00	59,29	85,85
3	3	34,91	40,26	43,64

На следующем шаге проведем сценарный анализ скорости бурения  $V_{3i}^k$  под кондуктор. С этой целью для каждой итерации  $i = 1, 2, \dots, l_3 = 12$  определим показатели статистического распределения. Результаты анализа представлены в табл. 6.

Таблица 6

Сценарный анализ  $V_{3i}^k$ 

Шаг итерации, $i_3$	Количество элементов, $N$	$V_{3min} = V_{1q}$	$V_{3base} = V_{med}$	$V_{3max} = V_{3q}$
1	54	89,30	178,00	272,12
2	49	155,87	230,00	298,00
3	36	122,86	199,49	282,48
4	27	60,00	111,00	216,00
5	20	51,00	85,21	203,89
6	12	70,29	110,81	200,43
7	9	150,00	180,91	234,00
8	7	128,73	138,83	154,96
9	6	63,16	142,00	218,78
10	4	91,19	110,74	142,34
11	1	81,51	81,51	81,51
12	1	74,00	74,00	74,00

На заключительном шаге проведем сценарный анализ скорости бурения  $V_{5i}^k$  под эксплуатационную колонну. С этой целью для каждой итерации  $i = 1, 2, \dots, l_5 = 14$  определим показатели статистического распределения. Результаты анализа представлены в табл. 7.

Таблица 7

Сценарный анализ  $V_{5i}^k$ 

Шаг итерации, $i_5$	Количество элементов, $N$	$V_{5min} = V_{1q}$	$V_{5base} = V_{med}$	$V_{5max} = V_{3q}$
1	54	128,00	217,65	286,57
2	54	232,00	281,64	309,00
3	53	180,08	240,61	294,30
4	53	171,00	210,58	251,56
5	50	114,00	190,07	255,00
6	46	112,00	201,00	244,50
7	43	135,00	203,73	248,02
8	39	128,00	181,00	209,00
9	33	116,57	172,00	198,40
10	25	145,73	190,55	206,00
11	21	85,00	122,00	186,00
12	11	80,00	93,96	180,28
13	6	137,29	152,91	198,80
14	1	111,00	111,00	111,00

Таким образом, предложенная методика ансамблево-сценарного моделирования позволила получить прогнозные сценарии скорости бурения нефтегазовых скважин для каждого шага итерации в разрезе отдельных видов строительных работ, что позволит учесть в общей модели прогнозирования различия, связанные с технологическими и геологическими особенностями процесса строительства скважин.

#### Агрегирование прогнозов и оценка точности прогнозирования продолжительности строительства нефтегазовых скважин

На заключительном этапе прогнозирования продолжительности строительства нефтегазовых скважин необходимо выполнить агрегирование прогнозов в соответствии с общей аддитивной моделью прогнозирования (2).

Для этого первоначально нужно преобразовать сценарные прогнозы для технической скорости бурения, представленные в табл. 5–7, во временную шкалу. Результаты преобразований для стандартной конструкции скважины, у которой  $H_1 = 60$  м,  $H_3 = 840$  м,  $H_5 = 1\ 900$  м, представлены в табл. 8.

Таблица 8

## Сценарная продолжительность бурения скважин

Вид строительных работ	$T_{\min}$	$\bar{T}$	$T_{\max}$
Направление	11,15	16,08	20,00
Кондуктор	70,94	127,86	196,56
Эксплуатационная колонна	169,26	216,25	341,41
Итого	251,35	360,19	557,97

На следующем шаге сведем все результаты прогнозирования в соответствии с общей аддитивной моделью прогнозирования (1). Итоговые результаты представлены в табл. 9.

Таблица 9

## Итоговые результаты сценарного прогнозирования продолжительности строительства нефтегазовых скважин

Вид строительных работ	Вид этапа работ	$T_{\min}$	$T_{\text{med}}$	$T_{\max}$
Направление	Бурение	11,15	16,08	20,00
	Крепление	34,70	41,20	50,50
Кондуктор	Бурение	70,94	127,86	196,56
	Крепление	111,40	133,30	149,80
Эксплуатационная колонна	Бурение	169,26	216,25	341,41
	Крепление	304,60	336,30	368,50
НПВ		55,80	101,90	253,40
Итого		757,85	972,89	1 380,17

Окончательно проведем оценку ошибки сформированных прогнозов по критериям  $MAE$  и  $MAPE$  для тестовой выборки, представленной 14-ю объектами-аналогами, и сравним полученные результаты с утвержденной нормативной продолжительностью строительства  $T = 1\ 020$  ч. Результаты расчетов ошибки прогнозирования представлены в табл. 10.

Таблица 10

## Сравнительный анализ результатов прогнозирования

Метод прогнозирования	$MAE$	$MAPE, \%$
Нормативный метод	135,6	14,9
Сценарный метод, $T_{\min}$	207,5	19,8
Сценарный метод, $T_{\text{med}}$	122,2	12,9
Сценарный метод, $T_{\max}$	419,5	47,3

Таким образом, разработанная методика позволила повысить точность прогнозирования продолжительности строительства нефтегазовых скважин, что подтверждается снижением  $MAPE$  с 14,9 до 12,9 % при использовании базового прогнозного сценария.

**Заключение**

В ходе исследования получены следующие, ранее не опубликованные научные результаты:

- 1) разработана единая аддитивная структурная модель прогнозирования временных рядов для производственных систем, характеризующихся нестационарностью и нелинейностью;
- 2) разработана комбинированная аналогово-сценарная методика прогнозирования участков производственного процесса, характеризующихся нулевыми значениями уровней временного ряда;
- 3) разработана комбинированная ансамблево-сценарная методика прогнозирования участков производственного процесса с ненулевыми значениями уровней временного ряда.

Разработанная комплексная методика прогнозирования продолжительности строительства нефтегазовых скважин, характеризующихся длинной историей и участками разрывов данных, предусматривает реализацию процедуры структурной декомпозиции производственной системы и применения комбинированных методов аналогово-сценарного и ансамблево-сценарного прогнозирования.

Анализ практических результатов от внедрения методики в процесс планирования производственной деятельности на буровых предприятиях позволяет сделать вывод о снижении ошибки прогнозирования по критерию *MAPE* с 14,9 до 12,9 %.

Область действия предложенной методики ограничивается временными рядами с длинной историей, что связано с применяемыми методами статистической обработки данных, высокая результативность которых может быть достигнута только в условиях обработки большого набора ретроспективных данных измеряемого показателя.

Для решения задачи прогнозирования временных рядов производственных систем с короткой историей могут быть использованы методы интуитивного экспертного анкетирования.

#### *СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ*

1. Чучуева И. А. Модель прогнозирования временных рядов по выборке максимального подобия: дис. ... канд. техн. наук. М., 2012. 155 с.
2. Басарыгин Ю. М., Булатов А. И., Проселков Ю. М. Осложнения и аварии при бурении нефтяных и газовых скважин: учеб. для вузов. М.: Недра-Бизнесцентр, 2000. 679 с.
3. Басарыгин Ю. М., Булатов А. И., Проселков Ю. М. Технология бурения нефтяных и газовых скважин: учеб. для вузов. М.: Недра-Бизнесцентр, 2001. 674 с.
4. Булатов А. И., Демихов В. И., Макаренко П. П. Контроль процессов бурения нефтяных и газовых скважин. М.: ОАО Изд-во «Недра», 1998. 345 с.
5. Мартынюк В. Ф. Методология применения анализа риска в целях обеспечения промышленной безопасности на объектах нефтегазового комплекса: дис. ... д-ра техн. наук. М., 2009. 318 с.
6. Власенко А. В., Жданов А. А. Формализация представлений о производственной системе на примере процесса бурения нефтяных и газовых скважин // Евразийское научное объединение. 2018. Т. 1. № 5 (39). С. 43–46.
7. Власенко А. В., Жданов А. А. Методика вероятностного прогноза нестационарных временных рядов // Наука нового времени: от идеи к результату: сб. науч. статей по итогам Междунар. науч.-практ. конф. (Санкт-Петербург, 18–19 августа 2017 г.). СПб.: КУЛЬТ-ИНФОРМ-ПРЕСС, 2017. С. 113–117.

Статья поступила в редакцию 01.07.2019

#### *ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ*

*Жданов Андрей Андреевич* – Россия, 350072, Краснодар; Кубанский государственный технологический университет; аспирант кафедры компьютерных технологий и информационной безопасности; Zhdanovandrey234@mail.ru.



### **INTEGRATED METHODS OF FORECASTING TIME SERIES OF DYNAMICS OF CONSTRUCTING OIL AND GAS WELLS USING ADDITIVE STRUCTURAL MODELING**

*A. A. Zhdanov*

*Kuban State Technological University,  
Krasnodar, Russian Federation*

**Abstract.** The paper presents the solution for a problem of forecasting in production systems, which means determining the future values of time series levels, their deviation from actual values being minimized. The construction process of oil and gas wells includes two groups of deterministic homogeneous components which correspond to the intervals of drilling and casing wells, as well as to a component of irregular random impact on the production system proportionate to unproductive time. The time series for the construction of oil and gas wells can be described by an additive structural model, the elements of which are represented by homogeneous components. To forecast

work intervals corresponding to zero penetration rates there has been proposed a combined analog-scenario forecasting method. To forecast the intervals of work corresponding to the intervals of drilling wells, a combined method of ensemble-scenario forecasting has been proposed. Scenario forecasting results corresponding to the first quartile, median, and third quartile of statistical distribution are aggregated into an additive structural model of the production system. Evaluation of forecasting effect was made according to *MAE* and *MAPE* criteria. The aggregated baseline scenario of the developed methodology demonstrated highest accuracy, the error of which made 12.9%, according to the *MAPE* criterion, which is better than the results of the standard forecasting method used in operation of drilling enterprises, for which the calculated *MAPE* value made 14.9%.

**Key words:** time series, construction of oil and gas wells, additive structural forecasting model, analog-scenario forecasting, ensemble-scenario forecasting.

**For citation:** Zhdanov A. A. Integrated methods of forecasting time series of dynamics of constructing oil and gas wells using additive structural modeling. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Management, Computer Science and Informatics*. 2019;4:18-27. (In Russ.) DOI: 10.24143/2072-9502-2019-4-18-27.

#### REFERENCES

1. Chuchueva I. A. *Model' prognozirovaniia vremennykh riadov po vyborke maksimal'nogo podobiia. Dissertatsiia ... kand. tekhn. nauk* [Time series prediction model for maximum similarity sample. Diss. ... Cand. Tech.Sci.]. Moscow, 2012. 155 p.
2. Basarygin Iu. M., Bulatov A. I., Proselkov Iu. M. *Oslozhneniia i avarii pri burenii neflianykh i gazovykh skvazhin: uchebnik dlia vuzov* [Complications and accidents in drilling oil and gas wells: textbook for universities]. Moscow, OOO «Nedra-Biznestsentr» Publ., 2000. 679 p.
3. Basarygin Iu. M., Bulatov A. I., Proselkov Iu. M. *Tekhnologiia bureniia neflianykh i gazovykh skvazhin: uchebnik dlia vuzov* [Oil and gas well drilling technology: Textbook for universities]. Moscow, OOO «Nedra-Biznestsentr» Publ., 2001. 674 p.
4. Bulatov A. I., Demikhov V. I., Makarenko P. P. *Kontrol' protsessov bureniia neflianykh i gazovykh skvazhin* [Monitoring of oil and gas well drilling processes]. Moscow, OAO Izd-vo «Nedra» Publ., 1998. 345 p.
5. Martyniuk V. F. *Metodologiia primeneniia analiza riska v tseliakh obespecheniia promyshlennoi bezopasnosti na ob'ektakh neftegazovogo kompleksa. Dissertatsiia ... d-ra tekhn. nauk* [Methodology of applying risk analysis to ensure industrial safety at oil and gas facilities. Diss. ... Dr.Tech.Sci.]. Moscow, 2009. 318 p.
6. Vlasenko A. V., Zhdanov A. A. Formalizatsiia predstavlenii o proizvodstvennoi sisteme na primere protsessa bureniia neflianykh i gazovykh skvazhin [Formalization of ideas related to production system on the example of oil and gas wells drilling process]. *Evraziiskoe nauchnoe ob'edinenie*, 2018, vol. 1, no. 5 (39), pp. 43-46.
7. Vlasenko A. V., Zhdanov A. A. Metodika veroiatnostnogo prognoza nestatsionarnykh vremennykh riadov [Methods of probabilistic forecasting non-stationary time series]. *Nauka novogo vremeni: ot idei k rezul'tatu: sbornik nauchnykh statei po itogam Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (Sankt-Peterburg, 18–19 avgusta 2017 g.)*. Saint-Petersburg, OOO «KUL'T-INFORM-PRESS», 2017. Pp. 113-117.

The article submitted to the editors 01.07.2019

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

**Zhdanov Andrey Andreevich** – Russia, 350072, Krasnodar; Kuban State Technological University; Postgraduate Student of the Department of Computer Technologies and Information Security; Zhdanovandrey234@mail.ru.

