Ю. В. Полищук, канд. техн. наук, доц., youra_polishuk@bk.ru,
Оренбургский государственный университет"

Мониторинг информационной энтропии в задачах описания больших технических систем

Рассмотрена задача мониторинга информационной энтропии больших технических систем, которая заключается в автоматизированном контроле количественной оценки информационной энтропии системы и позволяет сделать вывод о возможности принятия управленческих решений на основе хранящихся фактографических данных.

Ключевые слова: энтропия системы, квазиструктурированная информация, обработка электронных документов, управление, большие технические системы

Проблема информационной энтропии больших технических систем

Системный подход к комплексной автоматизации производственных процессов требует развития единой информационной теории управления [1]. Работы по ее созданию выполнялись под руководством академика Б. Н. Петрова, который в своих работах отмечал: "Энтропия характеризует неопределенность управления, т. е. его качество". Таким образом, потеря информации в автоматизированной системе не должна превышать определенной величины. В контексте настоящей работы рассмотрен вопрос количественной оценки энтропии больших технических систем (БТС).

Процесс эксплуатации БТС порождает необходимость принятия управленческих решений, которые характеризуются высокой сложностью процесса управления, появлением нестандартных эксплуатационных ситуаций, необходимостью адаптации процесса управления к возмущениям внешней среды, разноформатностью сопутствующего эксплуатационного контента (СЭК), включающего в себя всю информацию о состоянии БТС в виде электронной документации и формализованных фактографических данных, расхождением между реальным состоянием управляемой системы и ее отображением в СЭК.

Принятие управленческих решений для БТС реализует группа лиц, принимающих решения (ГЛПР), на основе анализа фактографических данных, получаемых из СЭК. Необходимость участия ГЛПР в процессе принятия решений продиктована масштабом управляемой системы и сложностью процесса управления.

Сложность БТС, а также трудоемкость получения и обработки фактографических данных СЭК способствуют расхождению реального состояния управляемой системы и состояния, отраженного в СЭК. Последнее способствует повышению информационной энтропии БТС и принятию ГЛПР некорректных управленческих решений. Таким образом, принятие корректных управленческих решений для БТС допустимо только в случае соблюдения условия о допустимом значении информационной энтропии.

Задача квалиметрической оценки информационной энтропии на основе квазиструктурированных моделей эксплуатационного контента

В контексте данной работы под квалиметрической оценкой информационной энтропии будем понимать количественную оценку качества процесса управления с позиции полноты знаний о системе.

Фактографические данные о состоянии БТС поступают в единое хранилище СЭК в виде импульсных информационных потоков, которые представлены электронными документами с квазиструктурированным информационным наполнением, т. е. информацией, в которой можно выделить некую структуру, которая заранее целиком или частично неизвестна либо может меняться с течением времени [2].

По каждому информационному потоку поступает определенная фактографическая информация, представленная набором документов, как правило, через фиксированный интервал времени, который будем называть шагом импульса информационного потока. Шаг импульса информационного потока может изменяться во время эксплуатации БТС как по требованию ГЛПР, так и в связи с появлением нестандартных эксплуатационных ситуаций (например, внепланового ремонта, аварии или нехватки персонала и др.).

Получаемые из СЭК фактографические данные характеризуют состояние различных параметров БТС в определенный момент времени. Выделяют две основные категории параметров: статические и динамические. Для статических параметров время их получения от БТС не важно, так как их значения не меняются во времени. Динамические параметры характеризуются "устареванием", т. е. расхождением значения хранимого параметра и реального значения данного параметра в настоящий момент, что обусловлено изменениями значения параметра во времени. В зависимости от вида динамического параметра ГЛПР формирует функцию "устаревания" для данного параметра в зависимости от времени его существования.

На этапе проектирования БТС определяется такое число информационных потоков фактографиче-

ских параметров с заданными шагами импульсов, чтобы их знание с учетом их функций "устаревания" было достаточным для принятия корректных управленческих решений в любой момент времени. На практике при эксплуатации БТС возникает расхождение реального состояния управляемой системы и состояния, отраженного в СЭК. Данное расхождение затрудняет или делает невозможным для ГЛПР идентификацию реального состояния БТС в момент принятия решения.

Для примера рассмотрим диаграмму информационной энтропии установившегося процесса эксплуатации условного БТС (рис. 1, см. третью сторону обложки). Информация о состоянии условного БТС поступает в виде $N_{ИП}$ информационных потоков (ИП), которые отображены на двух верхних диаграммах рис. 1. По первому и последнему ИП в СЭК поступает информация о состоянии динамических параметров. Для информации по рассматриваемым ИП используются различные функции "устаревания", имеющие различный шаг импульса. Стоит отметить, что ИП вносят различный вклад в суммарную энтропию БТС, которая изображена на нижней диаграмме рис. 1. По остальным ИП 2, ..., $N_{ИП} - 1$ в СЭК поступает информация о состоянии статических параметров, которые не меняются с течением времени и поэтому вносят постоянный фиксированный вклад в суммарную энтропию БТС. На диаграмме суммарного ИП выделен пороговый уровень допустимой информационной энтропии, который определяет ГЛПР. В случаях, когда график суммарной информационной энтропии находится ниже допустимого уровня энтропии ГЛПР, в СЭК хранится достаточное количество актуальной информации для идентификации состояния БТС и принятия корректных управленческих решений, в противном случае требуется дополнительная информация о состоянии управляемой системы.

Таким образом, задача мониторинга информационной энтропии БТС заключается в автоматизированном контроле количественной оценки информационной энтропии системы.

Анализ рис. 1 (см. третью сторону обложки) позволяет сделать вывод о необходимости ускорения процессов обработки ИП, идентифицирующих состояние БТС, так как увеличение скорости обработки снижает значение суммарной энтропии системы. Трудоемкость обработки фактографической информации, поступающей по ИП, усложняется разнообразностью и квазиструктурированностью контентов поступающих документов. Решение задачи ускорения обработки данных может быть реализовано за счет применения универсального интерфейса доступа к фактографическим данным электронных документов.

Вероятность возможных состояний для БТС снижается при увеличении числа известных характеризующих систему параметров, а информационная энтропия определяется как логарифм отношения всех известных параметров к их теоретическому

числу с учетом весомости данных параметров, взятый со знаком минус [3]:

$$H_{Энтр} = -\log_2 \frac{F_{ст}(P_{ст}, K_{ст}) + F_{дин}(P_{дин}, F_{уст}, K_{дин})}{F_{ст}(GP_{ст}(T_{эксп}), K_{ст}) + F_{дин}(GP_{дин}(T_{эксп}), F_{уст}, K_{дин})}, \quad (1)$$

где $F_{ст}$, $F_{дин}$ — функции, вычисляющие суммы произведений мощностей множеств статических и динамических (с учетом функции "устаревания") параметров на соответствующие весовые коэффициенты; $P_{ст}$, $P_{дин}$ — множества известных соответственно статических и динамических (с временем их существования) параметров системы; $K_{ст}$, $K_{дин}$ — множества весовых коэффициентов, соответствующих статическим и динамическим параметрам; $GP_{ст}$, $GP_{дин}$ — функции, генерирующие множества теоретически возможных соответственно статических и динамических параметров системы за указанный период; $T_{эксп}$ — время эксплуатации системы.

Для реализации универсального интерфейса доступа предложена математическая модель информационного наполнения документа:

$$S = \langle root, sObj, LObj, minOccurs, maxOccurs, sMet, Obj_smet \rangle, \quad (2)$$

где $root$ — корневой объект, $root \in sObj$; $sObj$ — конечное множество объектов, каждый из которых содержит фрагмент информационного наполнения документа (текст, рисунок и т. д.) или выполняет роль контейнера для одного или нескольких объектов.

Для объектов-контейнеров доступны следующие метасвойства: $smet_c$ — определяет объект в качестве контейнера; $mixed$ — разрешает использование объектов-потомков в произвольном порядке. $LObj$ — отображение, определенное на множестве $sObj$, такое что $sObj \xrightarrow{LObj} \{obj_1, \dots, obj_n\}$, где $obj_1 \in sObj$ — дочерний объект; n — число дочерних объектов; Obj_smet — отображение, определенное на множестве $sObj$, такое что $sObj \xrightarrow{Obj_smet} \{smet_c | smet_c, mixed | smet_1, \dots, smet_k\}$, где $smet_i \in sMet$ — метасвойство ограничения на содержимое объекта; $minOccurs$ — функция, определяющая минимально возможное число раз использования объекта в модели; $maxOccurs$ — функция, определяющая максимально возможное число раз использования объекта в модели.

Рассмотрим графическое представление электронного документа (рис. 2).

Рис. 2. Граф информационного наполнения документа

Документ, представленный на рис. 2, состоит из пяти объектов. Объект А выполняет роль контейнера для объектов В и С, объект В выполняет роль контейнера для объектов D и Е. Объекты А, В, D обязательно должны быть использованы при разработке документа, объект С является необязательным к использованию, объект Е в рассматриваемом примере должен быть использован от трех до пяти раз. Объекту-контейнеру А соответствует метасвойство ограничения *smet_c*, а для объекта-контейнера В определено дополнительно метасвойство *mixed*. Объект С представлен числовым наполнением, т. е. ему соответствует метасвойство ограничения *smet₂*. Объекты D, Е имеют символьное информационное наполнение, которому соответствует метасвойство ограничения *smet₁*.

Применение единой квазиструктурированной модели информационного наполнения к коллекции однотипных документов реализует маркировку фактографических данных, расположенных непосредственно в документах. Таким образом, не происходит дублирование данных и извлечение их из документа-первоисточника. Последнее снижает риск появления ошибок. Разметка содержимого может выполняться в автоматизированном режиме на основе уже размеченных аналогичных документов [4]. Способ синтеза моделей данного вида рассмотрен в работе [5].

Практическое решение задачи оценки информационной энтропии

В качестве примера выполним квалитетрическую оценку информационнй энтропии коллекторно-лучевой системы сбора продукции (КСС) газоконденсатного месторождения [7]. Данная разновидность систем сбора продукции применяется на Оренбургском газоконденсатном месторождении (ОГКМ), которое эксплуатируется с 1974 г. и в данный момент находится на этапе падающей добычи [8].

Рис. 3. Схема коллекторно-лучевой системы сбора продукции с трех скважин

шлейфу в некоторых случаях приводит к задавливанию скважин. Таким образом, границами системы являются газоносный пласт и блок входных нитей (БВН).

Рассмотрим КСС совместно с насосно-компрессорными трубами (НКТ) и контурами влияния скважин. На рис. 3 показана схема наиболее распространенной в условиях ОГКМ КСС, обеспечивающей сбор продукции с трех скважин.

Продукция поступает к забою скважины из пласта, где находится под пластовым давлением $p_{пл}$. При движении к забою скважины происходит снижение давления до значения p_3 (забойное давление). Таким образом, в границах контура влияния скважины образуется депрессионная воронка [9]. Далее продукция попадает в НКТ, по которым поднимается от забоя скважины до КСС, где на входе установлены регулирующие и снижающие давление до значения p_y (устьевое давление) задвижки с местным сопротивлением $p_{зд}$. При перемещении продукции по КСС давление в шлейфах падает, а в тройниках выравнивается по двум направлениям. При дальнейшем движении по шлейфу падение давления позволяет продукции попадать на БВН с давлением, заданным технологическим режимом.

Границы рассматриваемой системы задаются известными статическими давлениями газа: пластовое давление $p_{пл}$ определяется геологией продуктивного пласта, а уравнение на блоке входных нитей $p_{БВН}$ — технологическим режимом эксплуатации месторождения. Таким образом, внутренней характеристикой рассматриваемой системы является давление газа [10]. Установив его на границах участков КСС, найдем все ее параметры.

Основными элементами системы, кроме пласта и БВН, являются: забой скважин, НКТ, соединительные трубопроводы (нити) и тройники. Пласт, забой скважины, БВН и тройники характеризуются значениями статических давлений, а трубопроводы и НКТ — падениями статических давлений между границами участков, которые определены пост-

янными значениями множества конструктивно-технологических параметров.

Потери статического давления при движении потока от газоносного пласта до БВН происходят в трех зонах: при забойной зоне скважин, подъеме газа на поверхность и трении его о стенки ствола, в трубопроводе [11]. Для принятия корректных управляющих воздействий на КСС должны быть установлены все конструктивные параметры скважин и шлейфов из состава системы, например, внутренние диаметры труб, рельеф шлейфов и т. д. Несмотря на длительный период эксплуатации месторождения, перечисленные параметры известны в полном объеме не для всех КСС из состава ОГКМ. Рассмотренные параметры относятся к категории статических и характеризуют полноту знаний о состоянии системы.

В качестве динамических параметров данной системы, определяющих полноту знаний о ней, рассмотрим пластовые, забойные и устьевые давления, а также значения дебитов газа, конденсата и воды для всех скважин из состава КСС. Значения пластовых и забойных давлений ГЛПР получает из результатов гидродинамических исследований скважин (ГИС), проведение которых дает понимание состояния скважин. В условиях ОГКМ ГИС должны выполняться не реже одного раза в квартал для каждой скважины из состава КСС. Значения дебитов и устьевых давлений принимают по результатам геолого-технологического отчета, который в условиях ОГКМ формируется в конце каждого месяца. В качестве функции "устаревания" для всех динамических параметров используем экспоненциальную зависимость от времени их существования, на основе которой строятся кривые падения главных эксплуатационных показателей ОГКМ. Масштаб функции "устаревания" зависит от скорости изменения состояния конкретной БТС.

Для КСС функцию "устаревания" запишем в виде

$$F_{уст} = \exp(-\sqrt{T}), \quad (3)$$

где T — число календарных месяцев с момента получения значения динамического параметра.

Таким образом, если значение динамического параметра получено в текущем месяце ($T = 0$), то функция "устаревания" для него $F_{уст} = 1$. Учет снижения значимости для динамических параметров БТС реализуется путем умножения значения веса параметра на значение функции "устаревания".

Стоит отметить, что в условиях эксплуатации БТС

фактическое известное число параметров системы, как правило, меньше теоретического. Например, в условиях ОГКМ ГИС должны выполняться не реже одного раза в квартал для каждой скважины из состава КСС, но необходимость обеспечения заданного объема добычи газа на месторождении не позволяет проводить данные исследования в полном объеме, так как на время проведения исследований от скважины не поступает продукция. Конструктивные параметры КСС ОГКМ также известны не в полном объеме.

Процесс обработки ГИС осложнен разнообразностью и квазиструктурированностью контента поступающих документов, что обусловлено отсутствием требований к формату и контенту документов данного вида. Дополнительную сложность вносит тот факт, что ГИС в условиях ОГКМ выполняют несколько подрядных организаций. В результате документы ГИС поступают в форматах MS Word или MS Excel с квазиструктурированным содержанием. Эффективным решением перечисленных проблем является применение единой квазиструктурированной модели информационного наполнения (2) к коллекции однотипных документов.

Пример фрагмента электронного документа с информацией о результатах выполненных гидродинамических исследований на газовой скважине формата MS Word с размеченными фактографическими данными изображен на рис. 4. Модель документа ГИС подробно рассмотрена в работе [4].

В результате разметки содержимого электронного документа реализуется доступ к фактографическому содержанию его контента в автоматизированном режиме. Аналогично обрабатываются все соответствующие документы, поступающие в СЭК от БТС.

Для квалиметрической оценки информационной энтропии КСС будем использовать формулу (1)

Рис. 4. Фрагмент электронного документа MS Word с размеченными фактографическими данными

с учетом функции "устаревания" (3) для ее динамических параметров. Таким образом, для КСС с полностью неизвестными параметрами информационная энтропия равна "стартовой энтропии", а для КСС с полностью известными параметрами — "0". Значение "стартовой энтропии" зависит от теоретического числа параметров описания БТС с учетом весомости данных параметров.

Предлагаемые значения весовых коэффициентов для статических и динамических параметров КСС представлены в табл. 1 и 2 соответственно.

Для большинства КСС известны конструктивные (статические) параметры скважин и шлейфа, за исключением рельефа шлейфа. По этой причине они сгруппированы и представлены двумя параметрами. Значения весов данных параметров объясняются их важностью. Отсутствие знания значений рассмотренных параметров препятствует моделированию КСС, а влияние рельефа учитывается в случаях эксплуатации обводненных скважин. Значения дебита газа, конденсата, воды и устьевого давления скважин получают ежемесячно из одного документа. Поэтому их состояние можно характеризовать одним параметром. В качестве оставшихся динамических параметров для скважин выбраны значения пластовых и забойных давлений. Трудоемкость получения пластового давления выше, чем забойного, что обусловлено геологическими особенностями продуктивных пластов ОГКМ. Для получения пластового давления необходимо дожидаться полного восстановления давления в забое

скважины, что требует более длительной остановки скважины.

Таким образом, при определении значений весовых коэффициентов учитывалась их значимость при моделировании КСС и трудоемкость их получения.

Проведем квалиметрическую оценку информационной энтропии двух схожих по характеристикам КСС, в состав которых входят по три скважины. Рассмотрим период их эксплуатации, начиная с июня 1988 г. по настоящий момент. В обозначенный период конструкции шлейфов и скважин КСС не подвергались модификациям, т. е. система сбора функционировала в установившемся режиме. Задвижки, размещенные на устьях скважин, находились в полностью открытом состоянии в обеих системах сбора продукции. Определим названия для систем сбора: КСС1 и КСС2, для которой отсутствует информация о рельефе шлейфа. Результаты идентификации данных КСС представлены в табл. 3.

Анализ результатов, представленных в табл. 3, позволяет сделать следующий вывод: КСС2 обладает меньшим значением информационной энтропии без учета статических параметров, что обусловлено регулярными ГИС по всем ее скважинам в конце рассматриваемого периода, но при учете статических параметров значение ее энтропии больше, чем у КСС1, в связи с отсутствием информации о рельефе шлейфа скважин. Полученный результат дает возможность ГЛПР оценить уровень информационной энтропии всех рассматриваемых систем, что позволяет реализовать возможность синтеза допустимого порогового значения. Соблюдение допустимого значения энтропии для БТС снижает вероятность принятия некорректных управляющих воздействий, обусловленных расхождениями между реальным и отраженным в эксплуатационной документации состояниями. В качестве порогового значения выбирается среднее значение энтропии для анализируемых систем в определенный момент времени. Пороговое значение энтропии подвергается корректировке со стороны ГЛПР в зависимости от оперативной обстановки на БТС.

Таблица 1

Значения весовых коэффициентов для статических параметров КСС

Параметр	Весовой коэффициент
Конструктивные параметры скважин КСС и шлейфа (за исключением его рельефа)	30
Рельеф шлейфа	20

Таблица 2

Значения весовых коэффициентов для динамических параметров КСС

Параметр	Весовой коэффициент
Дебиты газа, конденсата, воды и устьевое давление скважины	1
Пластовое давление скважины	10
Забойное давление скважины	3

Таблица 3

Результаты квалиметрической идентификации КСС

Информационная энтропия	КСС1	КСС2
Без учета статических параметров	0,624 256 556	0,490 918 525
С учетом статических параметров	0,164 869 019	0,711 980 080

Закключение

Рассмотренный способ мониторинга информационной энтропии БТС на основе квазиструктурированных моделей эксплуатационного контента повышает эффективность принятия управленческих решений за счет автоматизированной оценки полноты знаний о системе, а использование квазиструктурированных моделей информационного наполнения повышает эффективность обработки разноформатных документов с квазиструктурированным контентом.

Список литературы

1. Петров Б. Н. Избранные труды. Т. 1. Теория автоматического управления. М.: Наука, 1983. 432 с.

2. Палей Д. Моделирование квазиструктурированных данных // Открытые системы. 2002. № 9. С. 57–64.
3. Полищук Ю. В. Квалиметрическая идентификация больших и сложных технических систем по сопутствующему эксплуатационному контенту // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2014. № 6. С. 34–38.
4. Полищук Ю. В., Ларин А. В. Автоматизация процесса разметки управленческого контента электронных документов с квазиструктурированным информационным наполнением на основе паттернов // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2013. № 3. С. 55–60.
5. Полищук Ю. В., Черных Т. А. Синтез квазиструктурированных моделей информационного наполнения электронных документов // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2012. № 6. С. 20–27.

6. Хабибуллин И. Самоучитель XML. М.: Книга по Требованию, 2012. 333 с.
7. Волков Н. М., Михеев А. П., Колев К. А. Справочник работника газовой промышленности. М.: Недра, 1989. 296 с.
8. Нургалиев Д. М. Повышение надежности газопроводов сероводородосодержащего газа ОГКМ в период падающей добычи углеводородного сырья: Автореферат канд. тех. наук. Уфа, 2002. 17 с.
9. Коротаев Ю. П., Тагиев В. Г., Гергедава Ш. К. Системное моделирование оптимальных режимов эксплуатации объектов добычи природного газа. М.: Недра, 1989. 264 с.
10. Закиров С. Н. и др. Новые принципы и технологии разработки месторождений нефти и газа. М.: Недра, 2004. 520 с.
11. Ермилов О. М., Ремизов В. В., Ширковский А. П., Чугунов Л. С. Физика пласта, добыча и подземное хранение газа. М.: Наука, 1996. 541 с.

Monitoring of the Information Entropy for the Description of Large Technical Systems

Yu. V. Polishchuk, Youra_Polishuk@bk.ru,
Orenburg State University, Orenburg, 460018, Russian Federation

Received on January 17, 2015

The complexity of control of large technical systems coupled with the time-consuming process of obtaining and processing of the factual data from the operational documentation contributes to the situation with discrepancies in the real state of the system and the status reflected in the documentation. This reduces the information entropy of the system and the number of incorrect management decisions. Thus, adoption of control solutions for large and complex technical systems is only possible, if they meet the conditions of the admissible value of the entropy. The task of monitoring of the information entropy of large complex technical systems should be solved with an automated control of quantifying the information entropy of the system, which leads to conclusion about a possibility of making control solutions based on the stored factual data. The paper describes the method of a qualimetric evaluation of the information entropy of large technical systems based on operational models of a semistructured content. This method is based on an automated analysis of a group of decision-makers of the factual content associated with the operational documentation generated during operation of the identified system. Use of the semistructured content model implements a universal interface with access to the factual data of the electronic documents, which reduces the number of the processing errors and increases the processing speed of the factual content. The latter reduces the total information entropy of the driven system.

Keywords: entropy of a system, semistructured data, electronic documents processing, control, large technical systems

For citation:

Polishchuk Y. V. Monitoring of the information entropy for the description of large technical systems, *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2015, vol. 16, no. 6, pp. 396–401.

DOI: 10.17587/mau.16.396-401

References

1. Petrov B. N. *Izbrannyye trudy. Tom. I. Teoriya avtomaticheskogo upravleniya* (Selected Works. V. 1. Automatic Control Theory), Moscow, Nauka, 1983, 432 p. (in Russian).
2. Paley D. Modelirovaniye kvazistrukturirovannykh dannykh (Modeling semistructured data), *Otkrytye Sistemy*, 2002, no. 9, pp. 57–64 (in Russian).
3. Polishchuk Yu. V. Kvalimetriceskaya identifikatsiya bol'shikh i slozhnykh tekhnicheskikh sistem po soputstvuyushhemu ekspluatatsionnomu kontentu (Qualimetric identification of large and complex technical systems associated operational content), *Vestnik Komp'yuternykh i Informatsionnykh Tekhnologiy*, 2014, no. 6, pp. 34–38 (in Russian).
4. Polishchuk Yu. V., Larin A. V. Avtomatizatsiya processa razmetki upravlencheskogo kontenta jelektronnykh dokumentov s kvazistrukturirovannym informatsionnym napolneniem na osnove patternov (Automating the process of marking the content management of electronic documents with semistructured content based on patterns), *Vestnik Komp'yuternykh i Informatsionnykh Tekhnologiy*, 2013, no. 3, pp. 55–60 (in Russian).
5. Polishchuk Yu. V., Chernykh T. A. Sintez kvazistrukturirovannykh modeley informatsionnogo napolneniya jelektronnykh dokumentov (Syn-

thesis semistructured content model of electronic documents), *Vestnik Komp'yuternykh i Informatsionnykh Tekhnologiy*, 2012, no. 6, pp. 20–27 (in Russian).

6. Habibullin I. *Samouchitel' XML* (Teach yourself XML), Moscow, Kniga po Trebovaniyu, 2012, 333 p. (in Russian).
7. Volkov N. M., Miheev A. P., Koley K. A. *Spravochnik rabotnika gazovoy promyshlennosti* (Directory of gas industry workers), Moscow, Nedra, 1989, 296 p. (in Russian).
8. Nurgaliev D. M. Povysheniye nadezhnosti gazoprovodov serovodorodo-soderzhashhego gaza OGKM v period padajushhej dobychi uglevodorodnogo syr'ya: Avtoreferat kand. teh. nauk, Ufa, 2002, 17 p. (in Russian).
9. Korotaev Ju. P., Tagiev V. G., Gergedava Sh. K. *Sistemnoye modelirovaniye optimal'nykh rezhimov jekspluatatsii ob'ektov dobychi prirodnogo gaza* (System modeling optimum operation of natural gas facilities), Moscow, Nedra, 1989, 264 p. (in Russian).
10. Zakirov S. N. i dr. *Novye principy i tehnologii razrabotki mestorozhdenij nefi i gaza* (New principles and technologies to develop oil and gas fields), Moscow, Nedra, 2004. 520 p. (in Russian).
11. Ermilov O. M., Remizov V. V., Shirkovskij A. I., Chugunov L. C. *Fizika plasta, dobycha i podzemnoe hranenie gaza* (Physics of the reservoir, production and underground gas storage), Moscow, Nauka, 1996, 541 p. (in Russian).

Corresponding author:

Polishchuk Yuri V., PhD, Associate Professor of Computer Security mathematical software and information systems of Orenburg State University, Orenburg, 460018, Russian Federation.
e-mail: Youra_Polishuk@bk.ru