

УДК 62-9, 502

DOI: [10.26102/2310-6018/2020.31.4.005](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2020.31.4.005)

Анализ необходимой априорной информации для оценки взаимного влияния техногенного объекта и прилегающих территорий для создания информационно-измерительных систем контроля основных параметров технологического процесса

Е.С. Сулоева, Е.Н. Жданова, М.М. Филиппов

*Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»
им. В.И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург, Россия*

Резюме: В связи с насыщенностью техногенного производства всё чаще возникают различные чрезвычайные ситуации, примерами которых могут являться пожары и взрывы. Одной из причин можно назвать неправильное функционирование технологических процессов вследствие работы при критических значениях контролируемых параметров. Подобный режим работы техногенного объекта увеличивает возможность возникновения аварии, которая в свою очередь причиняет значительный вред экологии, прилегающим объектам, населению. Окружающая среда также может оказывать воздействия, проводящие к ЧС на техногенном объекте. Следовательно, необходимо комплексно исследовать влияние окружающей среды и технологического процесса. В статье рассматривается взаимное влияние техногенного объекта, на примере компрессорной станции магистрального газопровода и прилегающих территорий для анализа и формирования рекомендаций по учету параметров для безопасности функционирования технологического процесса компрессорной станции. Произведен анализ априорных знаний, необходимых для корректного функционирования технологического процесса, выделены режимы работы, указаны данные, обеспечивающие энергоэффективную работу, рассмотрены аварийные ситуации на техногенном объекте. Проанализировано множество возможных информативных параметров, обеспечивающих адекватную оценку состояния технологического процесса компрессорной станции. Приведены результаты анализа, необходимые корректного функционирования информационно-измерительной системы контроля характеристик технологического процесса.

Ключевые слова: априорные знания, информационно-измерительная система, технологический процесс, геотаксон, экологический ущерб

Для цитирования: Сулоева Е.С., Жданова Е.Н., Филиппов М.М. Анализ необходимой априорной информации для оценки взаимного влияния техногенного объекта и прилегающих территорий для создания информационно-измерительных систем контроля основных параметров технологического процесса. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2020;8(4). Доступно по: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=851> DOI: 10.26102/2310-6018/2020.31.4.005

Analysis of the necessary a priori information for assessing the mutual influence of a technogenic object and adjacent territories for the creation of information and measurement systems for monitoring the main parameters of the technological process

E.S. Suloeva, E.N. Zhdanova, M.M. Filippov

*Saint-Petersburg Electrotechnical University "LETI",
Saint-Petersburg, Russian Federation*

Abstract: In connection with the saturation of technogenic production, fires and explosions are increasingly occurring, examples of which may be fires and explosions. Accidents at man-made facilities cause significant harm to the environment, adjacent facilities, and the population. One of the reasons can be called the improper functioning of technological processes due to operation at critical values of the controlled parameters. The environment can also have disaster-causing impacts due to malfunctioning technological processes. Therefore, it is necessary to comprehensively study the influence of the environment and the technological process. Thus, the article examines the mutual influence of a technogenic object, using the example of a compressor station of a main gas pipeline, and adjacent territories for the analysis and formation of recommendations on the safety of the operation of the technological process of the compressor station. The analysis of a priori knowledge necessary for the correct functioning of the technological process is carried out, the operating modes are highlighted, the data providing energy efficient operation are highlighted, emergency situations at the technogenic facility are considered. A set of possible informative parameters providing an adequate assessment of the state of the technological process of a compressor station is analyzed. The results of the analysis required for the correct functioning of the information-measuring system for monitoring the characteristics of the technological process are presented.

Keywords: a priori knowledge, information-measuring system, technological process, geotaxon, environmental damage

For citation: Suloeva E.S., Zhdanova E.N., Filippov M.M. Analysis of the necessary a priori information for assessing the mutual influence of a technogenic object and adjacent territories for the creation of information and measurement systems for monitoring the main parameters of the technological process. *Modeling, optimization and information technology*. 2020;8(4). Available from: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=851> DOI: 10.26102/2310-6018/2020.31.4.005 (In Russ).

Введение

Современные технологические процессы работы магистрального трубопроводного транспорта являются весьма сложными и опасными. Они характеризуются высокими значениями параметров температуры, давления, а сам природный газ обладает токсическими и пожароопасными свойствами. Несмотря на то, что в настоящее время магистральный трубопроводный транспорт является довольно безопасным в эксплуатации, некоторые процессы отличаются большой движущей силой, что может привести к взрыву или возникновению пожарной ситуации на объекте. Причинами, вызывающими опасные последствия, являются:

- возникновение пожара;
- возникновение взрыва;
- загрязнение окружающей среды;
- износ оборудования.

Изучив текущую ситуацию по созданию информационно-измерительных систем мониторинга, можно заметить отсутствие однозначной методики формирования оценки взаимного влияния территорий, примыкающих к технологическим объектам.

Также возникает проблема, которая состоит в вариативности кортежей априорных данных, состоящих из переменного количества случайных и неслучайных параметров, ввиду нехватки (ограниченного количества), недостоверности данных, неточности измерений.

Решение данных проблем позволит прогнозировать возникновение чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера с учетом параметров окружающей среды и рельефа местности, и формировать рекомендации по расположению техногенных объектов и планированию окружающих территорий. Данная статья посвящена анализу и

формированию рекомендаций по безопасности функционирования технологического процесса.

Материалы и методы

Усложнение производственной деятельности и возникновение все более сложных технологических процессов требуют полного контроля для исправной работы. От правильного функционирования современных технологических процессов зависит множество сфер жизни людей, а также воздействие на окружающую среду техногенных объектов.

Технологический процесс в широком смысле представляет собой последовательную упорядоченную деятельность от простейших операций до производственного процесса. Согласно ГОСТ 3.1109-82 технологический процесс – часть производственного процесса, содержащая целенаправленные действия по изменению и (или) определению состояния предмета труда. Технологический процесс может являться частью еще более сложного процесса, либо технологический процесс можно разделить на множество простых операций. Технологические операции можно объединить в технологические переходы, которые являются составными этапами технологического процесса[1].

Кортеж априорных данных [2], необходимый для корректной организации технологического процесса, зависит от его специфики и чаще всего связан с контролируемыми параметрами. Поэтому предлагается рассмотреть в качестве примера технологический процесс работы компрессорной станции магистрального газопровода. От режимов работы компрессорных станции (КС) зависит функционирование газотранспортной системы в целом. Основными этапами технологического процесса КС являются [3]:

- 1) очистка газа от жидких и механических примесей;
- 2) секция газоперекачивающих аппаратов;
- 3) охлаждение газа после сжатия.

Так как при движении газа по трубопроводу его давление уменьшается, то для обеспечения максимальной производительности трубопровода необходимо поддерживать рабочее давление. Это осуществляется при помощи системы газоперекачивающих аппаратов (ГПА), основным параметром которых является степень повышения давления. Эта величина зависит от давления на выходе турбины и давления на ее входе.

После выхода с газоперекачивающих аппаратов для повышения энергетической эффективности КС необходимо провести охлаждение газа. Данная процедура осуществляется при помощи аппаратов воздушного охлаждения (АВО). Степень охлаждения зависит от температуры окружающего воздуха, что затрудняет эксплуатацию в летнее время. Чрезмерное охлаждение также не допустимо из-за появления осадков в газовой смеси и повышением энергозатрат на дальнейшее сжатие. Максимальной допустимой температурой является +45°C, дальнейшее повышение температуры приводит к разрушению изоляции трубопровода [4].

Таким образом, для транспортировки газа по магистральным газопроводам на большие расстояния, необходимо поддержание определенного уровня параметров газовой смеси в газопроводе, таких как давление и температура. Также основным параметром компрессорной станции является пропускная способность газопровода, которая является косвенным измерением указанных выше давления и температуры. От значения этих основных параметров зависит работоспособность оборудования, используемого при осуществлении технологических операций. Контроль этих

параметров осуществляется в соответствии документом, устанавливающим требования к безопасной работе КС. Примером такого документа являются «Правила устройства и безопасной эксплуатации стационарных компрессорных установок, воздухопроводов и газопроводов» [5], на основе которых устанавливается перечень измерительных приборов для контроля технологического процесса. В пункте 2.19 прописано, что «Все компрессорные установки следует снабжать контрольно-измерительными приборами».

Эффективность работы КС связана с регулированием параметров, контроль которых осуществляет информационно-измерительная система. К ним относятся температура на выходе с компрессорной станции и давление на выходе с КС (давление нагнетания). Информационно-измерительная система при этом включает в себя: манометры; термометры или другие датчики для указания температуры сжатого воздуха или газа; приборы для измерения давления и температуры вспомогательного оборудования, приводящегося в движение. Подробнее о датчиках, диапазонах измерений, классах точности и их назначении можно найти в [6].

Температура газа на выходе с компрессорной станции регулируется системой аппаратов воздушного охлаждения, и должна быть не более +45°C (в соответствии с требованиями по безопасной эксплуатации), а также зависит от температуры окружающей среды. В тоже время температура на входе АВО рассчитывается исходя из средней температуры расчетного периода [3]. Снижение температуры на выходе с КС позволяет снизить энергозатраты на сжатие газа на последующих КС и тем самым повысить общую эффективность газопровода. Формализовано температура на выходе с ГПА $T_{1н}$ (после сжатия) определяется по [7] и зависит от температуры на входе $T_{1н}$ через степень повышения давления ε_n

$$T_{2н} = T_{1н} * \varepsilon_n^{m_T} \approx T_{1н} * \varepsilon_n^{\eta_n^{0,235}}, \quad (1)$$

где η_n – политропный коэффициент полезного действия (КПД), если температура после сжатия превышает +45°C, то должны быть включены аппараты воздушного охлаждения. АВО обеспечивают охлаждение газа в пределах $T_{г} = T_{в} + (10-15)$ где $T_{г}$ – температура газа после АВО; $T_{в}$ – температура окружающего воздуха.

Давление на выходе КС $P_{вых}$ в свою очередь зависит от режима работы ГПА и может контролироваться скоростью вращением вала ГПА, которая обеспечивает необходимую степень сжатия газа. Минимальное давление на выходе с КС зависит от количества ступеней очистки газа от примесей на входе КС, характеристик ГПА, наличием АВО. Формализовано:

$$P_{вых} = ((P_{вх} - \delta P_{вх}) * \varepsilon_n) + \delta P_{вых}, \quad (2)$$

где $P_{вх}$ – давления в узлах подключения КС к трубопроводу (МПа); $\delta P_{вх}$, $\delta P_{вых}$ – потери давления в трубопроводах и оборудовании на входе (выходе) КС. Поддержание давления нагнетания на выходе КС при максимальных допустимых значениях позволяет повысить эффективность работы последующих КС и всего трубопровода в целом за счет меньших затрат на сжатие газа [8].

Обсуждение

Следует провести анализ режимов работы КС в зависимости от параметров давления и температуры. Здесь можно рассмотреть режимы, требующие дополнительного воздействия:

1. Давление на выходе с компрессорной станции недостаточно и температура на выходе КС выше допустимых значений. В какой ситуации необходимо увеличить количество оборотов турбины для повышения степени сжатия, а также уменьшить температуру на выходе путем включения дополнительных АВО.

2. Давление на выходе с компрессорной станции недостаточно, температура оптимальна. Для достижения оптимального режима работы необходимо увеличить степень сжатия в газоперекачивающих аппаратах.

3. Давление на выходе поддерживается на допустимом уровне, но температура на выходе превышает допустимые значения. Для этого режима работы необходимо включить систему АВО.

4. Режим работы КС, обеспечивающий максимальную энергоэффективность газопровода в целом, поддерживается при давлении на выходе в максимально допустимых значениях, а температуры на выходе - в оптимальных значениях.

5. Давление и температура на выходе выше допустимых значений. Носит наименование критического режима [9]. Следует снизить степень сжатия за счет уменьшения количества оборотов турбины, также необходимо снизить температуру за счет включения дополнительных АВО. Если данные после данных действий какой-либо из параметров не уменьшился необходимо провести отключение КС.

Результаты

Стоит обратить внимание, что энергоэффективность работы КС поддерживается на верхней границе допустимых значений. Так как выходное давление напрямую зависит от давления входного, то в узлах подключения КС к трубопроводу следует производить контроль информационно-измерительной системой для предотвращения искажений при некорректно определенных априорных знаниях параметров давления и температуры на входе КС. Здесь можно выделить ложные срабатывания индикаторов, отвечающих за допустимый уровень параметров температуры и давления, включение управляющих воздействий (АВО) для параметра температуры.

С другой стороны, отсутствие указанных выше мероприятий по вхождению КС в режим работы с оптимальными показателями может привести к чрезвычайным ситуациям (ЧС) на КС, т.к. компрессорная станция классифицируется как взрывопожароопасный объект.

Повышенная пожарная опасность на КС объясняется работой с горючими веществами под высоким давлением. В качестве основных причин пожаров называют [7]:

- 1) утечку ГСМ из ГПА с попаданием в камеры сгорания;
- 2) попадание посторонних предметов в газотурбинные установки или нагнетатели;
- 3) превышение допустимых предельных значений температуры турбины и газа;
- 4) повышенная загазованность.

Для недопущения развития ЧС в системе управления станции существуют системы защиты предназначенные для отключения оборудования при таких ситуациях.

Несмотря на это в годовых отчетах надзорного органа [5] указываются случаи аварий на КС, причиной которых становились механические повреждения, браки и износ оборудования. Авария на КС может привести к разрушению компрессорной станции, а также к выбросу токсичных соединений и к прекращению работы газопровода из-за его разрыва, что также приведет к экологическому ущербу окружающей среды.

С другой стороны, прилегающая к КС территория может оказать воздействие на техногенный объект: от увеличения погрешности измерения температуры на надземных

и подземных участках в различное время года, а также коррозии конструкций магистрального газопровода; до аварийных ситуаций, связанных с природными ЧС, возникающими вблизи техногенного объекта.

Исходя из вышесказанного, для обеспечения безопасности технологических процессов необходимо:

- 1) определять взаимодействие параметров;
- 2) анализировать прилегающую территорию;
- 3) находить приемлемые границы для избегания аварийной ситуации;
- 4) определять способы предотвращения опасных последствий.

Таким образом, для оценки взаимовлияния технологического объекта и прилегающей к нему территории необходимо провести анализ с целью определения степени опасного воздействия. В связи с этим целесообразно поделить рассматриваемую территорию на геотаксоны. Геотаксон – определенная площадь земной поверхности, либо материальная точка с заданным пространственно-географическим положением, с описанием ландшафтно-географической, техногенной и других ситуаций, которым задаются перечень и характеристики природных и техногенных опасностей [10].

В связи с необходимостью обобщения и упорядочивания большого объема разнородных данных, а также для понимания группы объектов, которые обладают индивидуальными параметрами, отличающими их от других объектов, разумно ввести классификацию групп геотаксонов на основе множества информативных параметров.



Рисунок 1 – Классификация групп геотаксонов
Figure 1 – Classification of groups of geotaxons

На Рисунке 1 представлена такая классификация. В зависимости от задачи оценки и вида техногенного объекта классификация может быть расширена.

Геотаксоны формируются в зависимости от типа, вида, назначения территории различной формы и площади; оцениваются геотаксоны разных степеней опасности; количество задается в зависимости от рассматриваемой ситуации. Априорная

информация, необходимая для формирования степеней опасности геотаксонов в рассматриваемом примере:

$$G_n = \{c, p, S, b, l, L, f, T, \dots\}, \quad (3)$$

где c – целевое назначение зеленых насаждений; p – пожароопасность; S – площадь объекта; b – тип берегоукрепительных сооружений; l – протяженность; L – тип ландшафта; f – коэффициент интенсивности влияния геотаксона на техногенный объект; T – параметры окружающей среды.

В выражении (3) для выбранного в качестве примера технологического процесса КС значимыми будут следующие параметры:

- 1) пожароопасность (из-за работы с горючими материалами);
- 2) тип ландшафта (из-за большого количества жестких и скользящих опор при прокладке надземных трубопроводов компрессорных агрегатов);
- 3) параметры окружающей среды (скорость и направление ветра, температура окружающей среды, осадки);
- 4) расстояние от влияющего объекта до рассматриваемой территории
- 5) параметры техногенного объекта (его площадь, протяженность, состав и количество загрязняющих веществ)

В данных выражениях представлен минимальный состав данных, который необходим для реализации системы. Количество данных может быть расширено, что может способствовать уточнению получаемых результатов. Полный список параметров формируется экспертным путем.

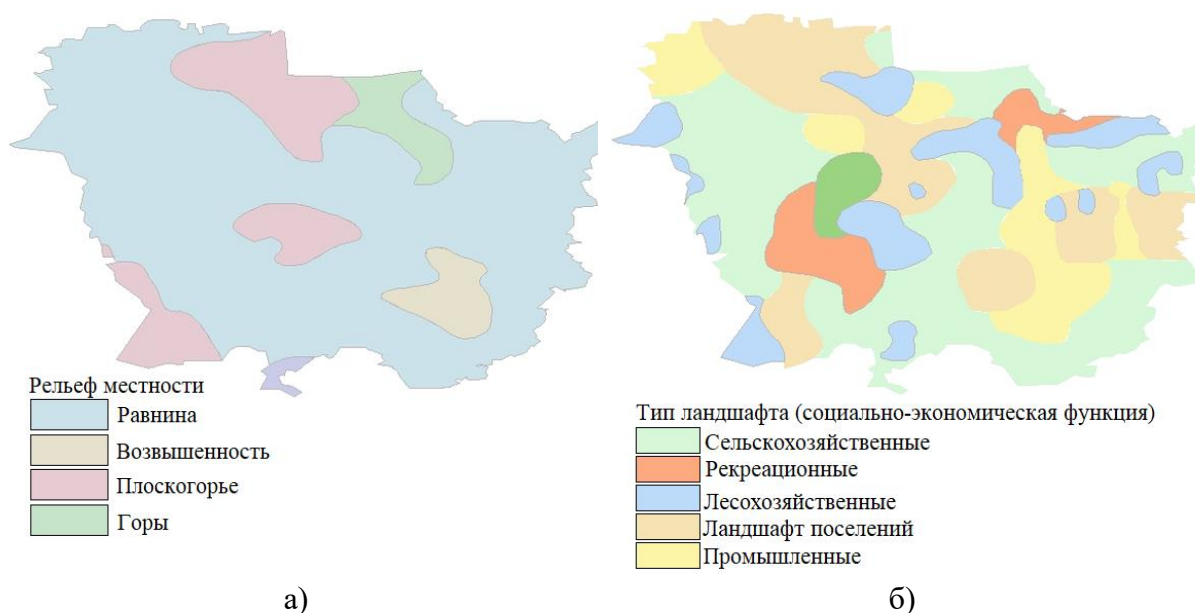


Рисунок 2 – Примеры деления территории на геотаксоны по рельефу местности (а) и по типу ландшафта (б)

Figure 2 – Examples of dividing the territory on geotaxons on the terrain (a) and the type of landscape (b)

На Рисунке 2 представлены примеры деления территории на геотаксоны по рельефу местности и типу ландшафта.

Каждому геотаксону присваивается своя степень опасности на основании мнения экспертов. Для проверки совпадения распределений мнений экспертов между собой проверяется согласованность экспертов (линейные и непараметрические парные

коэффициенты корреляции, т.к. реальные данные отличны от нормальных, то принято использовать ранговый коэффициент Спирмена или Кендела).

Заключение

Рассмотрены априорные данные, корреляция которых осуществляется с использованием контролируемых параметров, необходимых для корректной эксплуатации техногенного объекта и зависящих от специфики технологического процесса.

На примере конкретного техногенного объекта показаны возможные режимы работы:

- при нормальных значениях контролируемых параметров;
- при выдохе одного из контролируемых параметров из диапазона допустимых значений;
- при энергоэффективном режиме, для которого характерно, что контролируемые параметры находятся на уровне верхней границы допустимых значений.

Эффективность в этом режиме работы сопряжена с дополнительными рисками, к которым отнесены различные ЧС на техногенном объекте. В связи с чем, были проанализированы возможные условия, которые вызывают аварийные ситуации, влияют на безопасность технологического процесса, а также могут нанести экологический ущерб.

Приведена классификация групп геотаксонов, позволяющая детализировать и уточнять характеристики воздействия техногенных объектов друг на друга и на окружающую среду для формирования информации о необходимости корректировки местоположения и вида объектов, условий его эксплуатации. Для оценки взаимного влияния групп геотаксонов на техногенный объект проводится оценка опасности, которая объединяет в себе разнородные данные каждого параметра.

Представлено обобщенное формализованное описание информативных параметров для оценки взаимного влияния техногенного объекта и прилегающих территорий. Для выбранного технологического процесса указаны значимые параметры, относящиеся как к техногенному объекту, так и к прилегающим территориям.

Перспективным решением обеспечения безопасности технологических процессов является непосредственная диагностика текущего состояния техногенного объекта и прилегающих к нему территорий, при этом необходимо учитывать особенности самого техногенного объекта. Проведенный анализ, использующий параметры взаимного влияния, позволит повысить адекватность значений выходных данных, основанных на корректных априорных знаниях; поможет спрогнозировать различные ЧС техногенного и природного характера для минимизации аварийности технологических процессов; разработать информационно-измерительную систему для контроля основных характеристик технологического процесса с учетом влияния параметров окружающей среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 3.1109-82 от 01.01.1983 (с изм. N 1 от 02.2012). *Единая система технологической документации (ЕСТД). Термины и определения основных понятий.* 2012:98.

2. Цветков Э.И., Сулоева Е.С. Анализ параметров, определяющих достоверность результатов оценки пригодности средств измерений установленным требованиям. *Измерительная техника*. 2018;3:3-13. DOI: 10.1007/s11018-018-1517-z
3. Козаченко А.Н. Эксплуатация компрессорных станций магистральных газопроводов. *Нефть и газ*. 1999:463.
4. *Системы промышленного охлаждения газа на компрессорных станциях*. Доступно по: <http://holod-ru.com/about/publikaczii/sistemyi-oxlazhdeniya-gaza-na-kompressornyx-stancziyax.html> (дата обращения: 10.10.2020)
5. Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору. Доступно по: www.gosnadzor.ru (дата обращения: 10.10.2020)
6. СТО Газпром 2-3.5-113-2007 от 15.11.2007. *Методика оценки энергоэффективности газотранспортных объектов и систем*. 2007:118.
7. СТО Газпром 2-3.5-051-2006 от 03.07.2006. *Нормы технологического проектирования магистральных газопроводов*. 2006:187.
8. ГОСТ 25070-2013 от 01.01.2015. *Этилен. Технические условия*. 2015:6.
9. Коберси И.С., Шадрина В.В. Управления технологическими процессами на компрессорной станции. *Известия ЮФУ. Технические науки*. 2008;84:140-147.
10. Жданова Е.Н. Алгоритмическое обеспечение информационно-измерительной системы для оценки взаимного влияния территорий. *Дис. ... кан. техн. наук. Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)*. 2019:129.

REFERENCES

1. GOST 3.1109-82 from 01.01.1983. (with ed. N 1 from 02.2012). *Unified system of technological documentation (ESTD). Terms and definitions of basic concepts*. 2012:98.
2. Tsvetkov E.I., Suloeva E.S. Analysis of parameters that determine the reliability of the results of the assessment of the suitability of measuring instruments to the established requirements. *Izmeritel'naya tekhnika*. 2018;3:3-13. (In Russ) DOI: 10.1007/s11018-018-1517-z
3. Kozachenko A.N. Operation of compressor stations of main gas pipelines. *Neft' I gaz*. 1999: 463. (In Russ)
4. *Industrial gas cooling systems at compressor stations*. Available at: <http://holod-ru.com/about/publikaczii/sistemyi-oxlazhdeniya-gaza-na-kompressornyx-stancziyax.html> (In Russ) (accessed 10.10.2020)
5. Federal'naya sluzhba po ekologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru. Available at: www.gosnadzor.ru (In Russ) (accessed 10.10.2020)
6. STO Gazprom 2-3.5-113-2007 from 15.11.2007. *Methodology for evaluating the energy efficiency of gas transmission facilities and systems*. 2007: 118. (In Russ)
7. STO Gazprom 2-3.5-051-2006 from 03.07.2006. Norms of technological design of main gas pipelines. 2006:187. (In Russ)
8. GOST 25070-2013 from 01.01.2015. *Ethylene. Technical conditions*. 2015: 6. (In Russ)
9. Kobersi I.S., Shadrina V.V. Process control at the compressor station. *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki*. 2008;84:140-147. (In Russ)
10. Zhdanova E. N. Algorithmic support of an information and measurement system for assessing the mutual influence of territories. *Dis. ... kan. tekhn. nauk. Sankt-Peterburgskiy gosudarstvennyy elektrotekhnicheskij universitet «LETI» im. V.I. Ul'yanova (Lenina)*. 2019:129. (In Russ)

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Жданова Екатерина Николаевна, ассистент, кафедра Информационно-измерительных систем и технологий, Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург, Российская Федерация.
e-mail: enzhdanova@etu.ru

Ekaterina N. Zhdanova, Assistant, Information measuring system and technologies Department, Saint-Petersburg Electrotechnical University LETI, Saint-Petersburg, Russian Federation

Сулоева Елена Сергеевна к.т.н. доцент, кафедра Информационно-измерительных систем и технологий, Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург, Российская Федерация.
e-mail: suloewa@list.ru
ORCID: [0000-0002-1293-4383](https://orcid.org/0000-0002-1293-4383)

Elena S. Suloeva, Phd In Engineering, Associate Professor, Information measuring system and technologies Department, Saint-Petersburg Electrotechnical University LETI, Saint-Petersburg, Russian Federation

Филиппов Максим Максимович, студент, кафедра Информационно-измерительных систем и технологий, Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург, Российская Федерация.
e-mail: maksimfilippovleti@gmail.com

Maxim M. Filippov, Student, Information measuring system and technologies Department, Saint-Petersburg Electrotechnical University LETI, Saint-Petersburg, Russian Federation