

ОБОСНОВАНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ СОЗДАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ХРАНИЛИЩ ГАЗА И ФОРМИРОВАНИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ НА ОСНОВЕ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА ОБЪЕМОМ ГАЗОПОТРЕБЛЕНИЯ

УДК 621.6

И.Л. Лопес Перес, *Petróleos de Venezuela, S.A.* (Пуэрто-ла-Крус, Венесуэла)

Р.В. Агинец, д.т.н., проф., АО «Гипрогазцентр» (Нижний Новгород, РФ),
aginey@ggc.nnov.ru

В статье показано, что подземные хранилища газа в значительной мере способствуют повышению надежности поставок газа, позволяя гарантированно обеспечивать потребителей независимо от времени года, колебаний температуры и других факторов. Рассмотрены два варианта газопотребления: для стран с выраженной сезонной неравномерностью, где необходимость создания подземных хранилищ газа доказана, и для стран с неравномерностью потребления газа, обусловленной конъюнктурой рынка или квазиравномерным газопотреблением, с отсутствием значительных колебаний температуры в течение года, когда необходимость создания резервов газа не очевидна. Для оценки неравномерности газопотребления и обоснования необходимости создания подземных хранилищ газа в российской практике используются такие показатели, как коэффициент неравномерности газопотребления, объем неравномерности газопотребления и относительная неравномерность, которые были рассчитаны на первом этапе сравнительного анализа фактического потребления газа тремя потребителями России и четырьмя потребителями Венесуэлы. Установлено, что данные показатели, особенно при незначительных величинах, не всегда могут однозначно свидетельствовать о необходимости резервирования объемов газа. Обоснование необходимости создания и определение режима работы хранилищ для стран с теплым климатом является более сложной задачей, для решения которой предложен алгоритм на основе гармонического или спектрального анализа. Доказана целесообразность использования спектрального анализа на основе преобразования Фурье для решения задач анализа потребления газа и обоснования необходимости создания и определения типа подземного хранилища.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: НЕРАВНОМЕРНОСТЬ ГАЗОПОТРЕБЛЕНИЯ, ПОДЗЕМНОЕ ХРАНИЛИЩЕ ГАЗА, СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ, ДИСКРЕТНОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ФУРЬЕ.

НЕРАВНОМЕРНОСТЬ ГАЗОПОТРЕБЛЕНИЯ И СПОСОБЫ УМЕНЬШЕНИЯ ЕЕ ВЛИЯНИЯ НА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДОБЫЧИ И ТРАНСПОРТА ГАЗА

Потребление газа характеризуется наличием неравномерности. В зависимости от выбранного временного периода принято различать суточную, недельную, сезонную или годовую неравномерности. Неравномерный режим потребления газа, обусловленный объективными и случайными факторами, оказывает существенное влияние на загрузку мощностей

промыслов и газопроводов. Это влияние выражается в том, что, с одной стороны, производственные мощности могут быть недоиспользованы, а с другой – могут оказаться не в состоянии обеспечить требуемые объемы поставки газа при пиковом спросе.

В связи с этим формируется технико-экономическая задача, которая сводится к устранению несогласованности в режимах подачи и потребления газа таким образом, чтобы мощности по добыче и транспорту газа работали с максимальной загрузкой, а потребители получали газ в требуе-

мом объеме в течение всего года, включая периоды пиковых спросов. На этом базируется классическое понятие неравномерности газопотребления. В российской практике для оценки неравномерности газопотребления используются следующие показатели [1, 2]:

- коэффициент неравномерности газопотребления, характеризующий неравномерную работу мощностей K ;
- объем неравномерности газопотребления, отражающий глубину этого процесса V_n ;
- относительная неравномерность V .

Lopez Perez I.L., Petróleos de Venezuela, S.A. (Puerto La Cruz, Venezuela)

Aginey R.V., Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Giprogazcentr JSC (Nizhny Novgorod, Russian Federation), aginey@ggc.nnov.ru

Substantiation of necessity of creating underground gas storages and forming operation modes on the basis of spectral analysis of gas consumption

The article shows that the underground gas storages considerably improve reliability of gas supply, allowing to provide consumers irrespective of season, temperature fluctuations and other circumstances. Two versions of gas consumption are considered. First is for the countries with the expressed seasonal irregularity of gas consumption, where the need to create underground gas storages is proved. The second is for the countries with the irregularity of gas consumption, caused by market condition or quasi-uniform gas consumption, with the absence of significant temperature fluctuations during the year when the need to create reserves of gas is not obvious. For assessment of unevenness of gas consumption and substantiation of necessity of creation of the underground gas storages, the following indicators are used in Russian practice: the coefficient of irregularity of gas consumption, the volume of irregularity of gas consumption; the relative irregularity. These indicators were calculated at the first analysis stage of the actual gas consumption of the three consumers from Russia and four consumers from Venezuela. It is determined that these indicators, especially the components of the marginal values, cannot always unambiguously confirm the necessity of gas volumes reserving. The substantiation of establishment and determination of the operation mode of storages for the countries with warm climate is a more complex task. The based on the harmonic or spectral analysis is presented in the article for its solution. The obtained results allow recommending the use of the spectral analysis based on the Fourier discrete transformation for solving problems of analysis of gas consumption, substantiation the need for creating and defining the type of underground storage that will allow to optimize the technological parameters of exploitation and to minimize capital investment in the construction of underground gas storages.

KEYWORDS: GAS CONSUMPTION IRREGULARITY, UNDERGROUND GAS STORAGE, SPECTRAL ANALYSIS, DISCRETE FOURIER TRANSFORMATION.

Первый показатель определяется отношением максимально-суточного объема потребления q_{\max} , м³, к среднесуточному потреблению за год q_{cp} , м³:

$$K = \frac{q_{\max}}{q_{\text{cp}}} \quad (1)$$

Второй – интегральный показатель определяется как сумма объемов потребления, превышающая уровень среднемесячного газопотребления:

$$V_n = \sum_1^{t_n} (q_i^* - q_{\text{cp}}), \quad (2)$$

где q_i^* – расход газа, превышающий среднесуточное потребление, м³/ч (при ст. у.); t_n – число суток, когда расход газопотребления q_i^* превышает среднесуточный уровень q_{cp} .

Для оценки процесса неравномерного газопотребления чаще всего используется относительная величина неравномерности газопотребления, которая рассчитывается как отношение объема неравномерности газопотребления к уровню расхода газа за год:

$$V = \frac{V_n}{Q}, \quad (3)$$

где Q – суммарное потребление газа за год, м³.

В России и европейских странах коэффициенты неравномерности газопотребления принимаются равными 1,5–1,8, а относительная неравномерность составляет 7–15 %.

В настоящее время для уменьшения отрицательного влияния неравномерности газопотребления на технико-экономические показатели добычи и транспорта газа применяются мероприятия, которые можно условно разделить на следующие группы:

1) мероприятия по изменению конфигурации графика газопотребления в сторону его выравнивания за счет подбора потребителей с учетом их режимов потребления, организация буферных потребителей;

2) использование технических средств, замещающих мощности промыслов и газопроводов в периоды пониженного спроса на газ и выдачи его в сеть при максимальных расходах.

Основным и наиболее эффективным средством создания различных, в том числе крупных, резервов газа для решения вопросов бесперебойного газоснабжения потребителей являются подземные хранилища газа (ПХГ).

Для большинства стран, использующих газ, неравномерность газопотребления в основном обусловлена объективными факторами – уровнем развития промышленности, спецификой технологии некоторых производств и понижением температуры окружающей среды зимой и, как следствие, увеличением расхода газа на отопление жилых и общественных зданий. В этих странах неравномерность газопотребления формируется в первую очередь коммунально-бытовым сектором экономики.

В странах с теплым климатом, где нет ярко выраженных сезонных скачков температуры, неравномерность обусловлена временными остановками или снижением производства либо, напротив, максимальной нагрузкой производственных мощностей. Процесс газопотребления

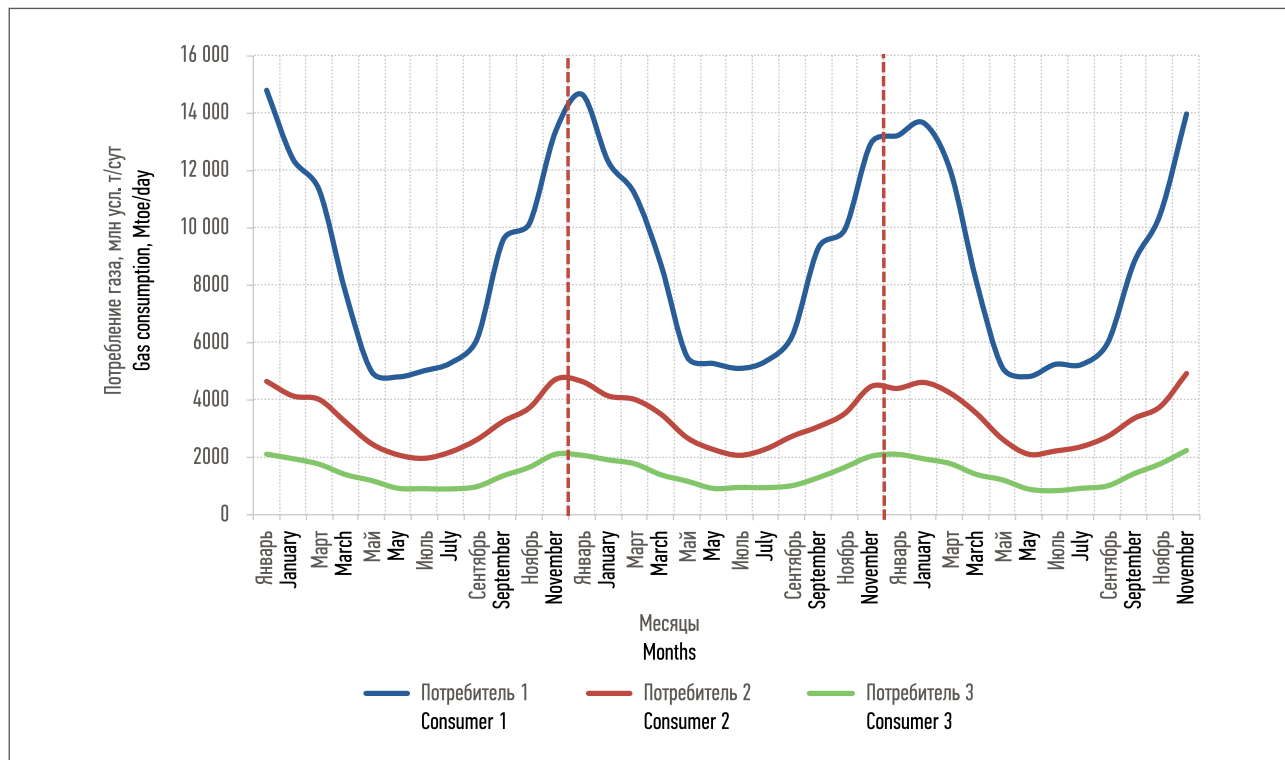


Рис. 1. Газопотребление России и большинства стран Европы и США, обусловленное сезонной неравномерностью
Fig. 1. Seasonal irregularity of gas consumption in Russian Federation, most of European countries and in the United States of America

носит неравномерный характер, что связано с воздействием случайных факторов или конъюнктуры рынка. Для обозначения такого режима газопотребления предложен термин «квазиравномерный режим».

Создание ПХГ для регулирования сезонной неравномерности газопотребления в настоящее время является общепризнанной мировой практикой и позволяет эффективно и надежно решать задачи обеспечения потребителей дополнительными объемами газа.

КЛАССИФИКАЦИЯ ПОДЗЕМНЫХ ХРАНИЛИЩ ГАЗА ПО ТИПУ ЭКСПЛУАТАЦИИ

В России разработана классификация ПХГ, включающая базисный, пиковый и газгольдерный (мультициклический) типы, а также их различные модификации [3].

К базисному типу ПХГ относится большая часть мировых хранилищ. Эксплуатация осуществляется циклично, с закачкой газа с апреля по октябрь и отбором,

соответственно, с ноября по март. Хранилища данного типа характеризуются, как правило, наличием большого объема активного газа и относительно постоянной суточной производительностью как при отборе, так и при закачке. «Пиковые» ПХГ, как правило, создаются в соляных кавернах, обладающих при относительно небольших объемах высокой суточной производительностью. Газгольдерные, или мультициклические ПХГ в отличие от пиковых позволяют проводить кратковременные закачки газа в сезон отбора. Переключение режимов «закачка – отбор» занимает от нескольких суток до нескольких часов в зависимости от технологии эксплуатации ПХГ.

В последнее время подземные хранилища газа все чаще используются как многофункциональные объекты. Они обеспечивают регулирование нескольких видов неравномерности, резервирование потребления, транспортировки и добычи газа. В зависимости от решаемых задач наиболее

предпочтительными являются два основных комбинированных режима эксплуатации ПХГ:

- базисный мультициклический – технологический режим циклической эксплуатации с небольшими отклонениями суточной производительности на закачку и отбор от среднемесячных значений с краткосрочным чередованием циклов закачки/отбора газа. Цикл такого режима эксплуатации включает периоды переключения (смены направления) суточной производительности и кратковременной закачки или отбора во время обратного переключения производительности. Продолжительность одного цикла эксплуатации может составлять несколько суток, а цикличность в течение года – достигать десятков единиц;

- базисный пиковый мультициклический – отличается от предыдущего режима наличием краткосрочных периодов максимальных отборов газа, характеризующихся значительным увеличением суточ-

ной производительности закачки/отбора в течение нескольких суток относительно среднемесячных значений.

Обоснование необходимости создания и выбора типа ПХГ для стран с теплым климатом, где неравномерность газопотребления обусловлена рыночной конъюнктурой или различными случайными техническими (ремонтные работы системы магистрального транспорта, профилактические работы или остановки на газоперерабатывающих заводах и т. д.) и экологическими (засухи, наводнения и т. д.) факторами, является более сложной задачей.

АНАЛИЗ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ГАЗОПОТРЕБЛЕНИЯ В РОССИИ И ВЕНЕСУЭЛЕ

Рассмотрим два варианта газопотребления, распространенных:

- в России, большинстве стран Европы и США – с ярко выраженной сезонной неравномерностью (рис. 1);

- в странах с неравномерным или квазиравномерным потреблением газа, обусловленным конъюнктурой рынка, с отсутствием значительных колебаний температуры в течение года (например, страны Латинской Америки).

Для анализа использованы данные фактического потребления газа трех потребителей России и четырех потребителей Венесуэлы с разбивкой по месяцам за три года (2014–2016 гг.).

Как видно из рис. 1, у потребителей России, несмотря на многократно различающийся объем потребляемого газа, прослеживается явно выраженная сезонная неравномерность с пиком газопотребления в декабре–январе и минимумом, соответственно, в июне–июле.

Анализ использования газа потребителями Венесуэлы (рис. 2) позволяет сделать следующие выводы:

- потребление газа в этой стране значительно меньше, чем в Рос-

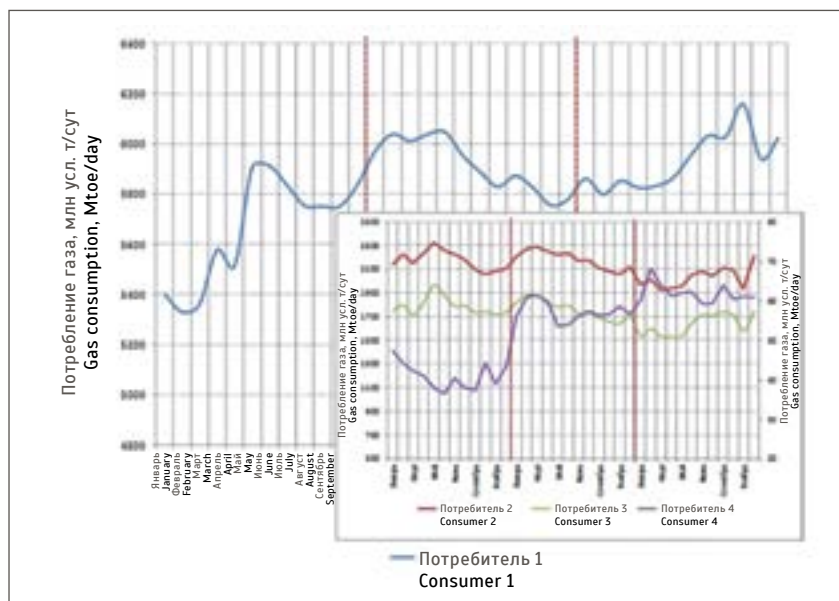


Рис. 2. Газопотребление Венесуэлы, обусловленное конъюнктурой рынка
Fig. 2. Gas consumption in Venezuela, conditioned by market situation

сии: максимальное – у потребителя 1, минимальное – у потребителя 4;

- представленные графики демонстрируют отсутствие какой-либо зависимости в течение года и не коррелируют друг с другом;

- наблюдается как увеличение (потребители 1 и 4), так и уменьшение объема потребления газа (потребители 2 и 3).

На первом этапе для анализа приведенных данных были рассчитаны основные показатели, характеризующие неравномерность газопотребления, такие как коэффициент неравномерности, объем неравномерности и относительная неравномерность потребления (таблица).

Для потребителей России, как и ожидалось, несмотря на отмеченную значительную разницу в объемах потребления газа, относительная неравномерность составляет 12,3–17,2 %, а коэффициент неравномерности изменяется от 1,44 до 1,63.

Для потребителей Венесуэлы относительная неравномерность составляет всего 1,1–2,2 %, а коэффициент неравномерности – 1,03–1,11. Причем для потреби-

теля 1 с наибольшим объемом неравномерности эти параметры наименьшие, а наибольшие показатели – у потребителя 4. Таким образом, на первый взгляд, очевидно, что создание резервов газа, в том числе на базе ПХГ, необходимо именно для этого потребителя.

Для подтверждения полученных результатов, обоснования необходимости создания ПХГ в условиях квазиравномерного газопотребления и определения временного периода, в течение которого может возникнуть необходимость в подаче газа, предлагается использовать гармонический, или спектральный анализ.

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА

Спектральный анализ является ключевым для понимания характеристик сигнала или любого другого изменяющегося параметра и применяется ко всем типам сигналов или параметров. Спектральный анализ заключается в различных интегральных преобразованиях и используется как в целях подавления «шума», так и для решения других проблем обработки данных.

Относительная неравномерность и коэффициент неравномерности газопотребления
Relative irregularity and coefficient of irregularity of gas consumption

Потребитель Consumer	Годы Years	Объем неравномерности, млн усл. т. Volume of unevenness, Mtoe	Относительная неравномерность потребления, % Relative irregularity of consumption, %	Среднее значение относительной неравномерности, % Average value of relative irregularity, %	Коэффициент неравномерности потребления Coefficient of irregularity of consumption	Среднее значение коэффициента неравномерности Average value of the coefficient of irregularity of consumption
Россия Russian Federation						
1	1	18 837,1	17,9	17,2	1,68	1,63
	2	17 090,7	16,1		1,65	
	3	18 902,1	17,7		1,57	
2	1	4990,6	12,8	12,3	1,45	1,44
	2	4608,8	11,7		1,42	
	3	5054,1	12,4		1,45	
3	1	2457,0	14,3	14,3	1,48	1,49
	2	2361,0	13,8		1,46	
	3	2592,8	14,8		1,54	
Венесуэла Venezuela						
1	1	1123,1	1,6	1,1	1,04	1,03
	2	555,9	0,8		1,02	
	3	553,1	0,8		1,04	
2	1	416,3	1,6	1,6	1,07	1,07
	2	382,9	1,5		1,05	
	3	433,7	1,8		1,09	
3	1	324,3	1,5	1,9	1,10	1,08
	2	406,3	1,9		1,07	
	3	470,2	2,4		1,07	
4	1	16,7	3,4	2,2	1,16	1,11
	2	12,1	1,6		1,07	
	3	11,0	1,5		1,10	

Спектром совокупности данных $y(x)$ называют некоторую функцию координаты (или координат) $F(\omega)$, полученную в соответствии с определенным алгоритмом. Примерами спектров являются преобразование Фурье и вейвлет-преобразование.

Преобразование Фурье имеет огромное значение для различных математических приложений, и для него разработан эффективный алгоритм, называемый БПФ (быстрое преобразование Фурье). Алгоритм БПФ, на

основе которого можно получить численные значения Фурье-образа, встроен во все известные пакеты математического анализа (Matlab, Mathematica, MathCAD) [4, 5], а также реализован в надстройке «Анализ данных»/«Анализ Фурье» стандартного пакета офисных программ Microsoft Excel.

Математический смысл преобразования Фурье состоит в представлении сигнала $y(x)$ в виде бесконечной суммы синусоид вида $F(\omega)\sin(\omega x)$:

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} y(x)e^{-i\omega x} dx. \quad (4)$$

Функция $F(\omega)$ называется преобразованием Фурье, или интегралом Фурье, или Фурье-спектром сигнала. Ее аргумент ω имеет смысл частоты, соответствующей составляющей сигнала. Обратное преобразование Фурье переводит спектр $F(\omega)$ в исходный сигнал $y(x)$. Как видно из формулы (4), преобразование Фурье является комплексной величиной, даже если сигнал действительный.

В Microsoft Excel поддерживается прямое и обратное дискретное преобразование Фурье (ДПФ) и заложены следующие алгоритмы расчета дискретных преобразований, определяемых формулами:

$$Z(k) = \sum_{j=0}^{N-1} z(j) e^{-i \frac{2\pi j k}{N}} \quad (5)$$

(прямое ДПФ),

$$z(j) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} Z(k) e^{i \frac{2\pi j k}{N}} \quad (6)$$

(обратное ДПФ),

где $Z(k)$ при $k = 0, \dots, N-1$ – N комплексных амплитуд синусоидальных сигналов, слагающих исходный сигнал; k – индекс частоты; N – количество значений сигнала, измеренных за период, а также число компонент разложения; $z(j)$ при $j = 0, \dots, N-1$ – измеренные значения сигнала в дискретных временных точках с номерами $j = 0, \dots, N-1$, которые являются входными данными для прямого преобразования и выходными для обратного; $i = \sqrt{-1}$ – мнимая единица.

Исходная дискретная последовательность $z(j)$ является периодической (с периодом N). Последовательность $Z(k)$, называемая коэффициентами ДПФ, также является периодической.

Если коэффициенты $Y(k)$ вычислены по значениям временного ряда $y_j, j = 1, \dots, n$, то связь между коэффициентами ДПФ и коэффициентами разложения в ряд определяется как:

$$a_0 = \frac{1}{n} Y(0), \quad a_k = \frac{2}{n} \operatorname{Re}[Y(k)],$$

$$b_k = \frac{2}{n} \operatorname{Im}[Y(k)], \quad k = 1, \dots, \frac{n}{2}, \quad (7)$$

где $\operatorname{Re}[\dots]$, $\operatorname{Im}[\dots]$ означают вещественную и мнимую части комплексного числа [6]; a_k и b_k – коэффициенты регрессии, показывающие степень, с которой соответствующие функции коррелируют с данными. При этом сами данные должны быть не связаны или ортогональны. Если n – количество данных, то

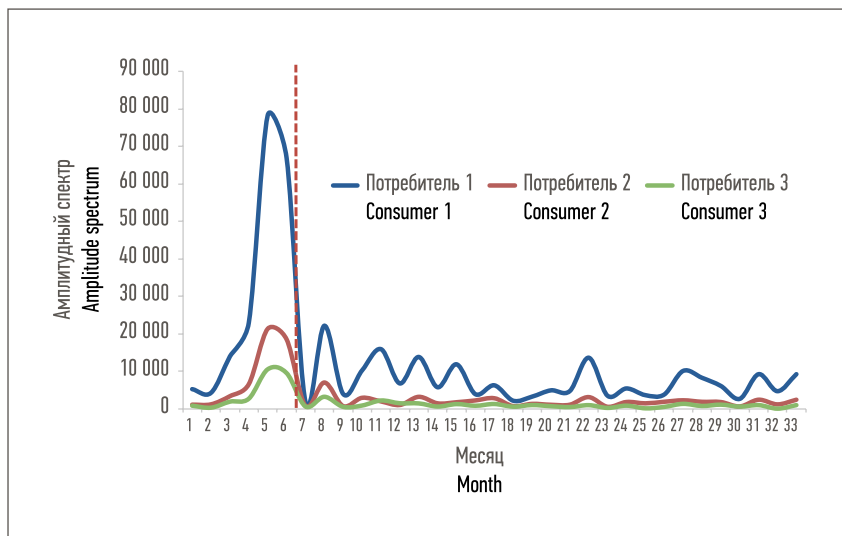


Рис. 3. Амплитудный спектр потребления, обусловленный сезонной неравномерностью
Fig. 3. Amplitude spectrum of gas consumption, conditioned by seasonal irregularity

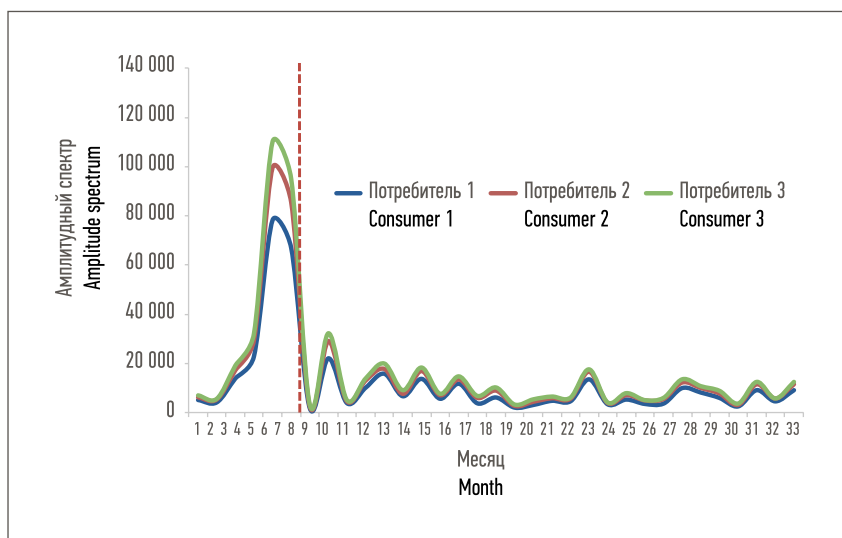


Рис. 4. Амплитудный спектр потребления с накоплением, обусловленный сезонной неравномерностью
Fig. 4. Amplitude spectrum of gas consumption with accumulation, conditioned by seasonal irregularity

будет получено $n/2+1$ функций a_k и $n/2-1$ b_k . Другими словами, волн будет столько же, сколько данных, и можно полностью воспроизвести ряд по основным функциям. В итоге спектральный анализ определяет корреляцию функций параметров различной частоты с наблюдаемыми данными. Если найденная корреляция велика, можно заключить, что существует строгая периодичность в данных на соответствующей частоте.

Для исключения искажений, вызываемых при вычислении Фурье-спектра, вследствие сдвига ноль-линии исходные данные были обработаны повторно. Из имеющихся фактических значений было вычтено рассчитанное среднее для каждой выборки. Дополнительным условием для выполнения анализа является необходимость наличия выборки данных, равных $2N$ элементов (N – любое целое число). Для соблюдения данного условия для

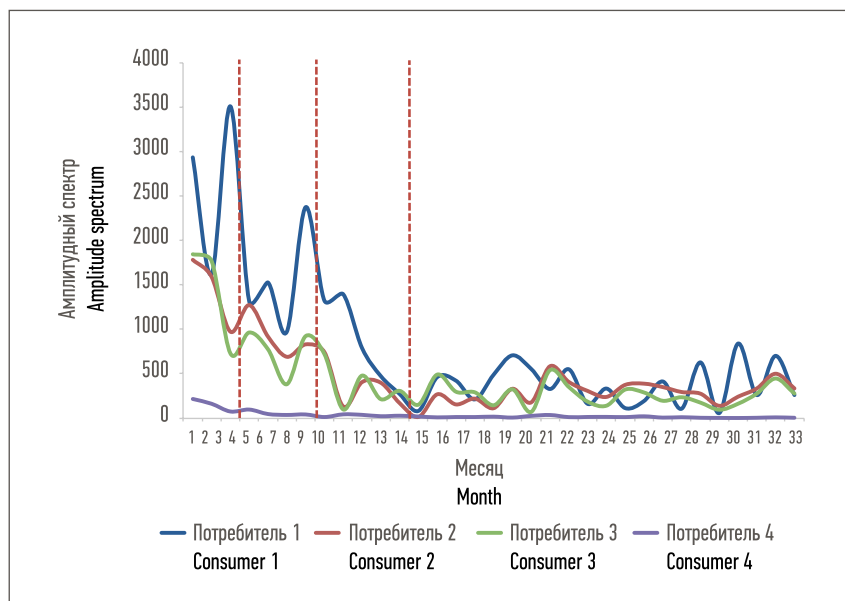


Рис. 5. Амплитудный спектр потребления, обусловленный конъюнктурой рынка
Fig. 5. Amplitude spectrum of gas consumption, conditioned by market situation

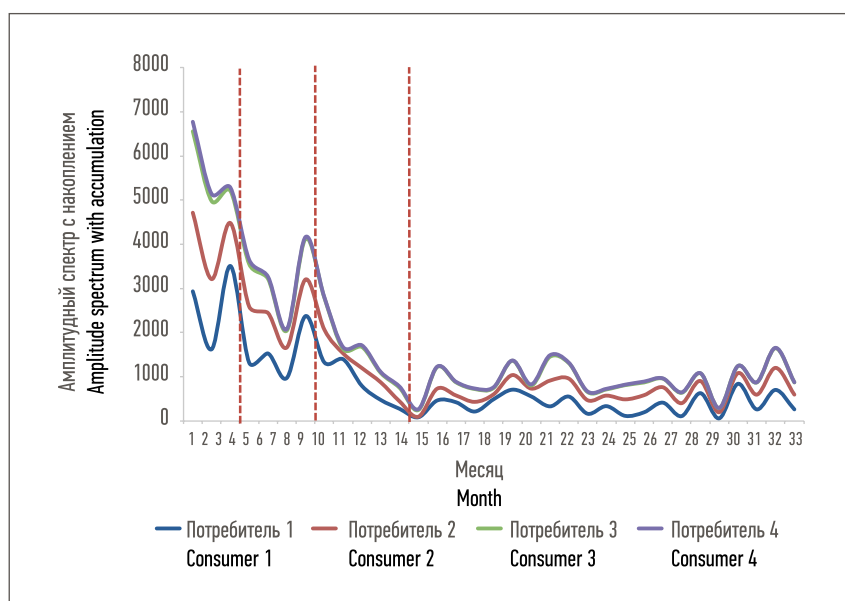


Рис. 6. Амплитудный спектр потребления с накоплением, обусловленный конъюнктурой рынка
Fig. 6. Amplitude spectrum of gas consumption with accumulation, conditioned by market situation

недостающих данных было задано нулевое значение. Дополнение массива исходных данных нулями является необходимой процедурой для возможности использования БПФ и не приводит к искажениям, так как по определению дискретного Фурье-преобразования исходная функция и так предполагается равной нулю за пределами расчетного

интервала. Добавление нулей к исходной выборке для обеспечения числа отсчетов с основанием 2 не улучшает основную разрешающую способность по частоте, но может обеспечить более высокую разрешающую способность по частоте на итоговом графике.

При спектральном анализе (преобразовании Фурье) в надстройке «Анализ данных»/«Ана-

лиз Фурье» стандартного пакета офисных программ Microsoft Excel получаем ряд комплексных чисел в формате $x + y_i$. Для выделения действительной части необходимо воспользоваться функцией, которая возвращает абсолютную величину (модуль) комплексного числа. Амплитудный спектр по действительным данным получается симметричным относительно нуля, что соответствует функции действительного преобразования Фурье. Таким образом, для представления спектра анализируемых данных по газопотреблению за три года, или по 64 точкам с учетом добавления нулей для выполнения условия необходимо иметь зависимость по 33 точкам или, в соответствии с формулой (7), $n/2+1$ функций a_k (рис. 3–6).

Преобразование Фурье было выполнено для двух вариантов газопотребления: с выраженной сезонной неравномерностью, когда необходимость создания ПХГ доказана и не вызывает дополнительных вопросов, и для условий квазиравномерного потребления, когда необходимость создания резервов газа не явная, а также необходимо определить режим работы такого хранилища в случае его строительства.

Поскольку необходимо было решить две задачи, полученные результаты визуально представлены в двух равнозначных вариантах, различающихся группировкой и видом представления данных. Так, на рис. 3 и 5 данные амплитудного спектра представлены в виде обычного линейного графика, что позволяет определить необходимость создания ПХГ и качественно оценить необходимые резервы газа для каждого из рассмотренных потребителей. На рис. 4 и 6 те же данные анализа в виде амплитудного спектра представлены с накоплением данных для возможности определения режима работы хранилища – базисный или мультициклический.

В первом случае для потребителей 1–3 России (рис. 3, 4) при

выраженной сезонной неравномерности потребления газа максимальный модуль (амплитуда) Фурье-спектра, как и ожидалось, соответствует периоду 6 мес. Несмотря на значимые различия в объемах потребления газа разными потребителями, амплитудные спектры практически повторяют друг друга. Незначительные флуктуации в левой половине графиков обусловлены отклонениями реальных значений газопотребления от теоретической кривой, в идеальном случае образующей ровную синусоиду, с максимумами в декабре-январе и минимумом в июне-июле. Также очевиден результат, представленный на рис. 3, свидетельствующий о том, что для каждого из потребителей требуется кратно различающийся резерв газа (максимальное значение амплитуды зафиксировано у потребителя 1, а минимальное – у потребителя 3).

Полученный результат свидетельствует о корректности при-

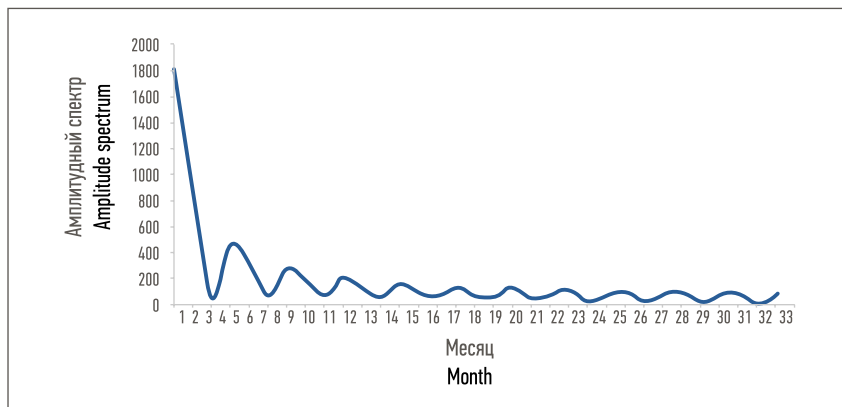


Рис. 7. Амплитудный спектр прямой линии
Fig. 7. Amplitude spectrum of a straight line

менения гармонического или спектрального преобразования для анализа газопотребления и выявления его наиболее характерных изменений во времени.

Во втором случае для потребителей 1–4 Венесуэлы (рис. 5, 6) амплитудный спектр имеет более сложную форму, на нем можно однозначно выделить четыре фазы. Первая, самая большая по

амплитуде, соответствует периоду 3–4 мес, вторая – периоду 7–8 мес, третья – 12 мес и четвертая – флуктуациям, связанным с неравномерными и непредсказуемыми изменениями кривых потребления газа.

В то же время амплитудный пик отчетливо выражен только в спектре потребителя 1, который характеризуется наибольшим объемом



КОЛЛЕКТИВ ООО «ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ-НН» СЕРДЕЧНО ПОЗДРАВЛЯЕТ СОТРУДНИКОВ И ВЕТЕРАНОВ ПАО «ГАЗПРОМ» С ЕГО 25 - ЛЕТНИМ ЮБИЛЕЕМ



Искренне желает продвижения вперед и реализации намеченных планов. Надежных партнеров и единомышленников.

ООО «Промышленная безопасность – НН» предлагает широкий ассортимент страховочного оборудования и удерживающих систем собственного производства для обеспечения безопасности при проведении высотных работ.

МЫ РАБОТАЕМ РАДИ ВАШЕЙ БЕЗОПАСНОСТИ!

ООО «Промышленная безопасность – НН»
Нижегородская обл., г. Дзержинск,
Тел/факс (8313) 27-22-05, 27-23-39

promishlennaya-bezopasnost.ru

info@pbmail.ru



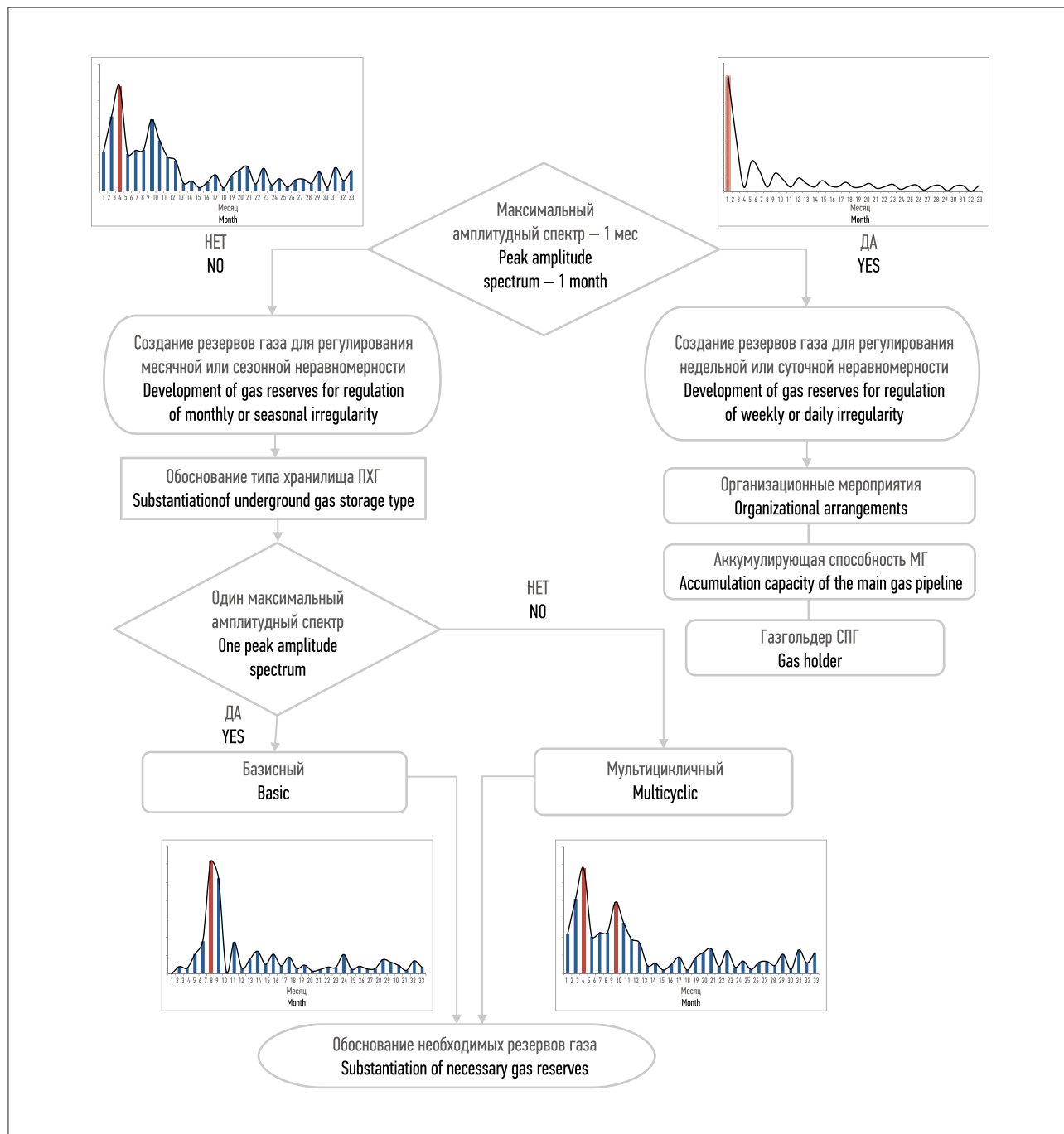


Рис. 8. Алгоритм обоснования необходимости создания и режимов работы ПХГ
Fig. 8. Algorithm of substantiation of necessity of creation of underground gas storages and their operation modes

неравномерности и наименьшей относительной неравномерностью и, соответственно, коэффициентом неравномерности. Для потребителя 2 также можно проследить выделенные фазы, немного сдвинутые по временной оси. Для потребителей 3 и 4 данные пики амплитуд практически не прослеживаются.

Как следует из математического определения ДПФ (4), амплитудный спектр можно построить для любого массива данных, в том числе и для прямой линии. При этом вид полученного спектра будет практически соответствовать полученному результату для потребителей 3 и 4, т. е. с одной явно выраженной фазой в начале

спектра с последующим синусоидальным затуханием (рис. 7). Анализ амплитудного спектра прямой линии позволяет сделать еще один важный вывод. Наибольшее значение спектра соответствует первому вступлению, или гармонике, значения следующих максимальных вступлений монотонно уменьшаются по степенной

зависимости. Аналогичную картину можно наблюдать на рис. 5 для потребителей 2–4 – максимальный амплитудный спектр соответствует первой гармонике, что, в свою очередь, свидетельствует об отсутствии необходимости создания резервов газа больших объемов для данных потребителей.

Наличие двух отчетливо выраженных амплитудных пиков (рис. 6), учитывая квазиравномерный режим газопотребления или отсутствие каких-либо закономерностей как в течение календарного года, так и между анализируемыми годами, свидетельствует о том, что для исследуемой страны, в данном случае потребителей Венесуэлы, необходимо создание ПХГ достаточной большой емкости, который можно эксплуатировать не только в базисном, но и в мультициклическом режиме. Поскольку переход зависимости практически в горизонтальную плоскость, в отличие от графиков на рис. 3 и 4, происходит только при достижении 12 мес, или целого календарного года, необходимо учитывать возможность работы газохранилища в пиковом режиме с переключением режимов «закачка – отбор» в течение нескольких суток.

Необходимо также отметить, что представление результатов

спектрального анализа для квазиравномерного газопотребления только в виде графика с накоплением для более уверенного прослеживания амплитудного спектра может привести к методической ошибке, так как в данном представлении можно сделать преждевременный вывод о необходимости создания резервов газа, в том числе на базе ПХГ, для всех рассмотренных потребителей.

ВЫВОДЫ

Анализ амплитудного спектра для квазиравномерного газопотребления позволяет сделать следующие основные выводы.

1. Применение гармонического или спектрального анализа на основе дискретного преобразования Фурье позволяет обосновать необходимость создания резервов газа в условиях потребления, обусловленного различными случайными факторами или конъюнктурой рынка, и определить режим работы такого хранилища в случае его строительства.

2. Относительная неравномерность газопотребления и коэффициенты неравномерности, особенно незначительные, не всегда могут однозначно свидетельствовать о необходимости резервирования объемов газа, в том числе на основе ПХГ.

3. Необходимость создания резервов газа можно оценить с помощью дискретного преобразования Фурье по форме кривой и временному интервалу максимальной гармоники полученного амплитудного спектра. Если максимальная гармоника соответствует первому вступлению (или интервалу в 1 мес), то потребление практически равномерное и создания резервов газа больших объемов не требуется.

4. Анализ амплитудных пиков позволяет корректно обосновать необходимый тип ПХГ в зависимости от полученных временных интервалов изменения спроса на газ.

Алгоритм обоснования необходимости создания и режимов работы ПХГ на основе спектрального анализа представлен на рис. 8.

Полученные результаты позволяют рекомендовать использование гармонического или спектрального анализа на основе дискретного преобразования Фурье для решения задач анализа потребления газа, обоснования необходимости создания и определения типа подземного хранилища, что позволит оптимизировать технологические показатели эксплуатации и минимизировать капитальные вложения в создание объектов ПХГ. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Манукян К.П. ПХГ в системе энергобезопасности государства. М.: Энергия, 2013. 124 с.
2. Буравцов И.А., Кунафина Р.Р., Бачурина Н.М. Сравнительная оценка экономической целесообразности регулирования сезонной неравномерности потребления газа за счет подземных хранилищ газа и добычи газа // Научно-технический сборник Вести газовой науки. 2015. № 3 (23). С. 84–87.
3. Михайловский А.А. Научные основы регулирования и контроля количества газа в пористых пластах подземных хранилищ: дисс. ... докт. техн. наук. М., 2010. 45 с.
4. Князев Б.А., Черкасский В.С. Дискретное преобразование Фурье – как это делается. [Электронный ресурс]. Режим доступа: www.phys.nsu.ru/cherk/Vestnik_Fourier_my_15_09.pdf (дата обращения: 30.01.2018).
5. Иллюстрированный самоучитель по MathCAD 12 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://samoychiteli.ru/document21181.html> (дата обращения: 30.01.2018).
6. Воскобойников Ю.Е. Эконометрика в Excel: учеб. пособие. Ч. 2. Анализ временных рядов. Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2008. 152 с.

REFERENCES

1. Manukyan K.P. Underground Gas Storages in the Energy Security System of the State. Moscow, Energiya, 2013, 124 p. (In Russian)
2. Buravtsov I.A., Kunaфина R.R., Bachurina N.M. A Comparative Assessment of the Economic Feasibility of Regulating the Seasonal Unevenness of Gas Consumption Due to Underground Gas Storage and Gas Production. Nauchno-tehnicheskii sbornik Vesti gazovoy nauki = Scientific-Technical Collection Book Vesti Gazovoy Nauki, 2015, No. 3 (23), P. 84–87. (In Russian)
3. Mikhailovsky A.A. Scientific Principles of Regulation and Control of the Amount of Gas in Porous Reservoirs of Underground Storage. Doctoral Thesis. Moscow, 2010, 45 p. (In Russian)
4. Knyazev B.A., Cherkassky V.S. Discrete Fourier Transformation – How It is Done [Electronic source]. Access mode: www.phys.nsu.ru/cherk/Vestnik_Fourier_my_15_09.pdf (access date: January 30, 2018). (In Russian)
5. The Illustrated Self-Instruction Manual on MathCAD 12 [Electronic source]. Access mode: <http://samoychiteli.ru/document21181.html> (access date: January 30, 2018). (In Russian)
6. Voskoboynikov Yu.E. Econometrics in Excel. Textbook. Part 2. Analysis of Time Series. Novosibirsk, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), 2008, 152 p. (In Russian)