Марчук Я.С. *Украина*
Андриишин М.П. *Харьков*
Игуменцев Е.А.
Прокопенко Е.А.

Украинская инженерно-педагогическая академия

ДИАГНОСТИКА ГАЗОТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФАКТОРНОГО АНАЛИЗА

Введение. Газотранспортные предприятия допускают погрешности измерений вследствие корректируемого измерения расхода газа, что не позволяет с достаточной степенью точности вычислить дисбаланс газа между приходом и распределением. Причиной неточностей служат случайные и систематические погрешности измерений, а также наличие утечек в отдельных нитках газопровода [1]. Выявление объема и мест корректируемых измерений и потерь газа в газопроводе является нетривиальной задачей, для которой в настоящее время не разработано функциональных методик. Практика применения статистических методов в разных областях науки [2] и народного хозяйства позволяет предположить, что их применение позволит решить вышеуказанные проблемы и в газовой промышленности [3].

Постановка задач исследования. В настоящее время сбор и обработка статистической информации прихода и распределения газа по газотранспортной системе Украины ведется с помощью централизованной базы данных «АРМ диспетчера Трансгаза», основанной на измерениях расхода современными расходомерами и вычислении физических характеристик газа [1]. Идея применения новых технологий (в частности статистических методов) для решения указанных проблем представлена в работах [2, 3]. Здесь разность суточного расхода $D(t_i)$ между приходом $X(t_i)$ и распределением $Y(t_i)$ в i-тые сутки измерений представлена в следующем виде:

$$D(t_i) = X(t_i) - Y(t_i); \qquad (i = 1, 2, ..., n), \tag{1}$$

где n — число суток измерений временного ряда прихода и распределения; t_i — время.

В газотранспортной системе существует изменение запаса газа $\alpha(t_i)$, связанное с колебаниями давления и температуры, поэтому значение дисбаланса $\beta(t_i)$ между приходом и распределением имеет вид $\beta(t_i) = D(t_i) - \alpha(t_i)$; $\alpha(t_i) = Z(t_i) - Z(t_{i-1})$, $(i = 1, 2, ..., n)$; где $Z(t_i)$, $Z(t_{i-1})$ — запас газа в газопроводе в i-тые и $(i-1)$ сутки измерений. Установлено [2,3], что среднее изменение запаса газа $\overline{\alpha} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\alpha_i$ равно: $\overline{\alpha} = \left[Z(t_n) - Z(t_1)\right]/n$. Для вычисления среднего значения дисбаланса при достаточно длинных временных рядах $n \to \infty$ необходимо рассчитать лишь среднюю разность $\overline{D} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} D(t_i)$, т.к. $\overline{\alpha} = 0$. При этом дисперсия разности равна $\sigma_D^2 = \sigma_\beta^2 + \sigma_\alpha^2$, где σ_β^2 и σ_α^2 — дисперсии дисбаланса и изменения запаса газа. В работах [2,3] решена задача классификации составляющих прихода $X_k(t_i)$ $(k = 1, 2, ..., r)$ и распределения $Y_k(t_i)$ $(k = 1, 2, ..., m)$, где r и m — количество ниток прихода и распределения газопровода. Критерием классификации (корректируемости) являются коэффициенты корреляции, для разности $D(t_i)$ - $K(X_i, Y_i)$, а для дисбаланса $\beta(t_i)$ — $K(D_i, \alpha_i)$. Однако, еакой подход не позволяет определить индивидуальные различия составляющих прихода $X_k(t_i)$ и распределения $Y_k(t_i)$.

В последние годы быстро расширяется сфера применения факторного анализа — специфического раздела современной многомерной математической статистики. Все более очевидной становится универсальность этого метода, позволяющего определить индивидуальные факторы составляющих [4].

Цель исследований заключается в том, чтобы на основе факторного анализа определить индивидуальные различия составляющих прихода и распределения газа и вскрыть закономерности корректировки, объясняющие эти различия.

Материалы исследования. Основное предположение факторного анализа можно сформулировать следующим образом: составляющие прихода и распределения газа, несмотря на свою разнородность и изменчивость признаков, могут быть описаны относительно небольшим числом функциональных единиц или факторов. Факторный анализ определяет эти факторы на основе корреляции, существующей между отдельными признаками.

Пусть исходные данные $X_k(t_i)$ и $Y_k(t_i)$ записаны в виде матрицы, где индекс $(i = 1, 2, ..., n)$ относится к переменной, а индекс $(k = 1, 2, ..., m + r)$ — к числу составляющих элементов газопровода. Коэффициент корреляции K_{ik} между переменными i и k вычисляется по известной формуле [2]. Если все переменные $X_k(t_i)$ и $Y_k(t_i)$ пронормировать, то будет получена матрица $\mathbf{Z}$ со стандартизированными элементами z_{ik}, а для корреляционной матрицы $\mathbf{R}$ имеет место соотношение

$$\mathbf{R} = \frac{1}{n-1}\mathbf{ZZ}' . \qquad (2)$$

Целью любого метода факторного анализа является представление величины z_{ik}, т.е. элемента матрицы **Z**, в виде линейной комбинации нескольких гипотетических переменных, или факторов. Основную модель факторного анализа можно выразить следующей формулой:

$$z_{ij} = a_{i1}F_{1k} + a_{i2}F_{2k} + ... + a_{i1}F_{1k} . \qquad (3)$$

Здесь $a_{i1} \div a_{il}$ — неизвестные постоянные коэффициенты; $F_{1k} \div F_{lk}$ — значения факторов у k-го объекта. Используя матричную форму записи, для всех z_{ik} имеем:

$$\mathbf{Z} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{F} , \qquad (4)$$

Матрица стандартизированных переменных **Z** порядка $(m+r)\times n$ является матрицей исходных данных. Матрица **A** порядка $l \times n$ представляет факторное отображение, где элементы матрицы являются факторными нагрузками. Матрица **F** порядка $(m+r)\times l$ представляет значения всех факторов у всех объектов. Таким образом, матрица **A** отражает связи переменных с факторами, а матрица **F** описывает отдельные объекты.

Подставив выражение (4) в (2), получим:

$$\mathbf{R} = \frac{1}{n-1}\mathbf{ZZ}' = \frac{1}{n-1}(\mathbf{AF})(\mathbf{AF})' = \frac{1}{n-1}\mathbf{AFF}'\mathbf{A}' = \mathbf{A}\frac{1}{n-1}\mathbf{FF}'\mathbf{A}' . \qquad (5)$$

По аналогии с формулой (2) выражение $\mathbf{FF}'/(n-1) = \mathbf{C}$ является матрицей коэффициентов корреляции между факторами, а соотношение (5) примет вид:

$$\mathbf{R} = \mathbf{ACA}' . \qquad (6)$$

Введем в равенство (6) условие некоррелированности факторов, т.е. представим матрицу **C** в виде единичной матрицы, тогда в результате получим

$$\mathbf{R} = \mathbf{ACA}' = \mathbf{AA}' . \qquad (7)$$

Формулы (6) и (7) описывают фундаментальную теорему факторного анализа. Эта теорема утверждает, что корреляционная матрица может быть воспроизведена с помощью факторного отображения и корреляций между факторами [4].

Задачей факторного анализа является определение матрицы факторного отображения **A**. При ортогональных факторах факторные нагрузки принимают значения между –1 и +1. Если факторы не ортогональны, то элементы могут принимать большие значения. Каждый фактор характеризуется столбцом, каждая переменная — строкой матрицы **A**. Если факторная нагрузка значительно больше или меньше нуля, то принята упрощенная форма записи в виде крестика в соответствующем месте факторного отображения (Рис. 1).

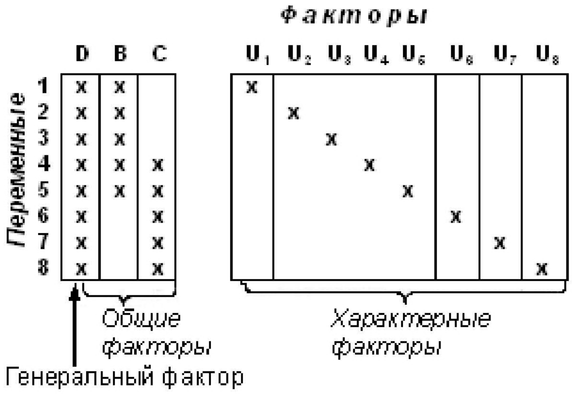

Рис.1. Схематическое изображение матрицы факторного отображения (**A**)

Фактор называется генеральным, если все его нагрузки значительно отличаются от нуля (он имеет нагрузку во всех переменных) — столбик D. Фактор называется общим, если хотя бы две его нагрузки значительно отличаются от нуля — столбики D, B, C. Такие факторы могут взаимно перекрываться, т.е. одни и те же переменные могут давать нагрузки на несколько факторов. Генеральный фактор является частным случаем общих факторов.

В противоположность перечисленным факторам у индивидуальных факторов значительно отличается от нуля только одна нагрузка — столбики $U_1 \div U_8$. В этом случае наблюдаются только характерные факторы, которые представляют одну переменную.

По аналогии с факторами можно провести классификацию переменных по числу достаточно высоких нагрузок. Число высоких нагрузок переменной на общие факторы называется ее сложностью. Например, первая переменная на Рис. 1 имеет сложность два, четвертая переменная — три. Таким образом, решающее значение в факторном отображении играют общие факторы D, B, C.

Система уравнений, соответствующая (7), имеет однозначное решение с вводом дополнительных условий, а именно: сумма квадратов нагрузок первого фактора должна составлять максимум от полной дисперсии; сумма квадратов нагрузок второго фактора должна составлять максимум оставшейся дисперсии и т.д., т.е. максимизирует функцию

$$S_1 = \sum_{i=1}^{n} a_{i1}^2 = max \qquad (8)$$

при $n\ (n-1)/2$ независимых друг от друга условиях $R_{ik} = a_{i1} \cdot a_{k1}, (i < k)$

Для максимизации функции, связанной некоторым числом дополнительных условий, пользуются методом множителей Лагранжа. В результате приходим к системе n однородных уравнений с n неизвестными a_{i1} [4]. Необходимым и достаточным условием существования нетривиального решения этой системы является равенство нулю детерминанта матрицы коэффициентов этих уравнений.

$$\begin{vmatrix} (1-\lambda) & R_{12} & \dots & R_{1n} \\ R_{21} & (1-\lambda) & \dots & R_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ R_{n1} & R_{n2} & \dots & (1-\lambda) \end{vmatrix} = 0.. \qquad (9)$$

Все n корней характеристического уравнения, соответствующего детерминанту (9), действительны, т.е. $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \ldots \geq \lambda_n \geq 0$ являются возможными, иногда совпадающими решениями. Найденное значение корня λ_1 соответствует вектору решения $(\alpha_{11,\ldots,}\alpha_{n1})$, причем $\sum_{i=1}^{n}\alpha_{i1}^2$ является максимумом в отношении оставшейся дисперсии.

Система уравнений (9) составляет так называемую проблему собственных значений действительной симметрической матрицы. В общем случае, она записывается в следующем виде:

$$\mathbf{R}\alpha_l = \lambda_l\alpha_1 \text{ или } (\mathbf{R}-\lambda_l\mathbf{I})\alpha_l = 0 , \qquad (10)$$

где λ_l — собственные значения, соответствующие собственным векторам α_l матрицы $\mathbf{R}$; $\mathbf{I}$ — единичная матрица. Тот факт, что максимизация функции (8) приводит к классической проблеме собственных значений, облегчает численное решение системы уравнений (7), так как проблема собственных значений достаточно разработана.

Известно, что факторы F_{lk} пропорциональны собственным векторам матрицы $\mathbf{R}$. Путем нормирования несложно получить искомые значения α_{il} матрицы A по компонентам собственных векторов матрицы $\mathbf{R}$ [4]:

$$\alpha_{il} = \alpha_{il} \cdot \sqrt{\lambda_l} \Big/ \sqrt{\alpha_{1l}^2 + \alpha_{2l}^2 + \ldots + \alpha_{nl}^2} . \qquad (11)$$

Для вычисления собственных значений и собственных векторов матрицы $\mathbf{R}$, а также статистических параметров, коэффициентов корреляции и факторов временных рядов расхода использованы пакеты MathCad и Statsoft Statistica [5].

В Управлении магистральных газопроводов (УМГ) «Киевтрансгаз» эксплуатируются две автономные системы транспорта газа: «Киевская система (КС)» и «Экспортный газопровод (ЭГ)». Замеры $X(t_i)$ и $Y(t_i)$, (i=1, 2, …, n) проводились в течение пяти лет раздельно по ЭГ и КС ежесуточно (t_i). Полученные зависимости $X(t_i)$ и $Y(t_i)$ являются периодическими функциями с периодом в один год, возрастают в зимний период поставок газа и убывают в летний. Поэтому оценка статистических характеристик проведена отдельно в летний и зимний периоды. В этом случае оптимальной является выборка $n = 128$ (около четырех месяцев), что соответствует длине зимнего и летнего периодов [2,3].

Факторное отображение всех временных рядов ЭГ в зимний период представлено в Табл. 1. Здесь для составляющих расхода прихода и распределения газа $X(t_i)$ и $Y(t_i)$ введены следующие обозначения: газопроводы: «Уренгой – Помары – Ужгород» + «Прогресс» — X_1, Y_1; «Уренгой – Помары – Ужгород» — X_2, Y_2; «Прогресс» — X_3, Y_3; «Елец – Курск – Кривой Рог» — X_4, Y_4; дополнительно: собственные нужды — Y_5; потребители № 1 — Y_6; потребители № 2 — Y_7.

Таблица 1 — Факторное отображение временных рядов ЭГ в зимний период.

Временные ряды	Факторы				
	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5
Поступление газа (X_0)	**-0,99**	0,11	0,06	-0,08	-0,01
«УПУ» + «Прогресс» (X_1)	-0,97	0,03	0,03	-0,07	-0,09
«УПУ» (X_2)	-0,78	-0,02	0,16	-0,02	**0,23**
«Прогресс» (X_3)	-0,84	0,05	-0,05	-0,09	**-0,25**
«ЕККР» (X_4)	-0,61	0,34	0,14	-0,05	0,25
Запас газа (Z)	0,16	**0,75**	0,35	0,08	0,25
Изменение запаса газа (α)	0,11	**0,67**	**-0,49**	-0,46	-0,26
Распределение газа (Y_0)	**-0,99**	0,07	0,10	-0,05	-0,02
«УПУ» + «Прогресс» (Y_1)	-0,91	0,15	0,25	-0,08	-0,06
«УПУ» (Y_2)	-0,58	0,47	-0,23	**0,55**	-0,03
«Прогресс» (Y_3)	-0,15	-0,41	0,49	**-0,70**	-0,01
«ЕККР» (Y_4)	-0,95	-0,05	-0,12	-0,01	0,05
Собственные нужды (Y_5)	-0,96	-0,02	0,04	-0,05	-0,01
Потребители № 1 (Y_6)	-0,46	**-0,59**	**-0,56**	0,11	-0,10
Потребители № 2 (Y_7)	-0,43	**-0,51**	**-0,56**	-0,04	0,10
Разность (D)	0,04	**0,64**	**-0,59**	-0,43	0,04
Дисбаланс (β)	-0,19	-0,06	-0,26	0,09	0,80

Факторное отображение всех временных рядов по ЭГ (см. Табл. 1) показывает, что для системы транспорта газа существует пять общих факторов: F_1— генеральный фактор транзита газа (прихода X и распределения Y); F_2— общий фактор потребления газа (Y_6 *и* Y_7); F_3 — общий фактор изменения запаса газа α ; F_4— фактор перетечек из газопровода Y_2 в газопровод Y_3; F_5— фактор перетечек из газопровода X_2 в газопровод X_3.

Фактор транзита газа со значениями $F_1(X) \approx F_1(Y) \approx -0.99$, определяет генеральный фактор и поступление и распределение газа (см. Табл. 1).

Фактор F_2 потребления газа характеризуется значениями $F_2(Y_6) = -0.59$, $F_2(Y_7) = -0.51$ и $F_2(Z) = 0.75$, является вторым общим фактором. При этом фактор запаса газа $F_2(Z)$ является противоположным $F_2(Y_6)$ и означает, что при увеличении потребления запас газа уменьшается.

Третий фактор изменения запаса газа F_3 характеризуется значениями $F_3(\alpha) \approx F_3(D) \approx -0.49 \div -0.59$, является общим фактором и определяет точность вычисления разности и изменения запаса газа. Особенностью факторов F_2 и F_3 является то, что факторы потребления $F_2(Y_6)$ и $F_2(Y_7)$ имеют признаки, противоположные факторам изменения запаса газа $F2(\alpha)$ и $F_2(D)$, а факторы запаса $F_3(\alpha)$ и $F_3(D)$ аналогичны факторам потребления $F_3(Y_6)$ и $F_3(Y_7)$.

Фактор F_4 характеризует процесс перетоков из газопровода распределения Y_2 в газопровод $Y_3\left(F_4(Y_2) = 0.55, F_4(Y_3) = 0.7\right)$. По газопроводам Y_2 и Y_3 факторы $F_4(Y_2)$ и $F_4(Y_3)$ противоположны, т.е. при оттоке газа из газопровода Y_2 происходит приток в газопровод Y_3 .

Фактор F_5 аналогичен фактору F_4 и характеризует переток в газопроводах поступления X_2 и X_3. Наблюдается этот фактор только в летний период.

Факторное отображение временных рядов КС представлено в Табл. 2. Здесь для составляющих прихода газа $X(t_i)$ введены следующие обозначения: газопроводы Мострансгаза — X_1; «Киев – Диканька» — X_2; «Курск – Киев» — X_3; поступление от промыслов — X_4; отбор из подземных хранилищ газа — X_5.

Таблица 2 — Факторное отображение временных рядов КС в зимний период.

Временные ряды	Факторы				
	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5
Поступление газа (X_0)	**0,75**	**0,57**	-0,22	0,23	0,07
«Мострансгаз» (X_1)	0,18	**0,69**	-0,43	-0,49	0,09
«Киев-Диканька» (X_2)	-0,03	-0,10	-0,14	-0,31	**0,90**
«Курск-Киев» (X_3)	0,20	**0,74**	-0,36	-0,34	-0,35
Промыслы (X_4)	0,16	0,28	0,25	**0,85**	0,08
Отбор газа из хранилищ (X_5)	**0,85**	0,15	-0,08	0,39	0,00
Запас газа (Z)	-0,61	**0,67**	0,05	0,14	0,10
Изменение запаса газа (α)	-0,21	0,17	**-0,85**	0,36	0,05
Распределение газа (Y_0)	0,81	0,50	0,30	0,01	0,05
Закачка в газа хранилища (Y_1)	0,09	0,08	-0,13	-0,24	0,25
«За границы «Киевтрансгаза» (Y_2)	-0,69	**0,55**	0,40	0,12	0,10
Перекачка в «Черкассытрансгаз» (Y_3)	0,72	0,16	0,13	**0,40**	0,29
Перекачка во «Львовтрансгаз» (Y_4)	-0,79	**0,47**	0,34	0,03	0,05
Транзит за границы «Киевтрансгаза» (Y_5)	0,82	0,31	0,14	0,26	-0,03
Потребители «Украина» (Y_6)	**0,99**	0,05	-0,01	-0,05	-0,02
Сумское УМГ ($Y_{6,1}$)	**0,96**	-0,12	0,05	-0,18	0,00
Диканьское УМГ ($Y_{6,2}$)	**0,97**	-0,11	0,03	-0,03	-0,01
Лубенское УМГ ($Y_{6,3}$)	**0,98**	-0,11	0,01	-0,05	0,02
Яготинское УМГ ($Y_{6,4}$)	**0,98**	-0,05	0,04	-0,14	-0,02
Боярское УМГ ($Y_{6,5}$)	**0,98**	0,09	-0,02	-0,01	-0,03
Бердичевское УМГ ($Y_{6,6}$)	**0,97**	0,02	-0,07	-0,14	-0,03
Красиловское УМГ ($Y_{6,7}$)	**0,95**	-0,02	-0,08	-0,20	0,00
Черниговское УМГ ($Y_{6,8}$)	**0,94**	0,23	0,15	0,08	0,02
Мрынское УМГ ($Y_{6,9}$)	**0,94**	-0,21	0,09	-0,05	0,01
Собственные нужды (Y_7)	-0,25	0,75	0,04	-0,36	-0,05
Разность (D)	-0,19	0,07	**-0,90**	0,37	0,03
Дисбаланс (β)	0,06	-0,39	-0,46	0,14	-0,05

Для составляющих распределения газа $Y(t_i)$ введены следующие обозначения: закачка в подземные хранилища газа — Y_1; перекачка за границы «Киевтрансгаза» — Y_2; перекачка в «Черкассытрансгаз» — Y_3; перекачка во «Львовтрансгаз» — Y_4; транзит за границы «Киевтрансгаза» — Y_5; потребление «Украина» — Y_6; собственные нужды УМГ — Y_7. Потребители управлений магистральных газопроводов Украины Y_6 обозначены следующим образом: Сумское УМГ — $Y_{6,1}$; Диканьское УМГ — $Y_{6,2}$; Лубенское УМГ — $Y_{6,3}$; Яготинское УМГ — $Y_{6,4}$; Боярское УМГ — $Y_{6,5}$; Бердичевское УМГ — $Y_{6,6}$; Красиловское УМГ — $Y_{6,7}$; Черниговское УМГ — $Y_{6,8}$; Мрынское УМГ — $Y_{6,9}$.

Факторное отображение временных рядов КС (см. Табл. 2) показывает наличие четырех общих факторов: F_1 — фактор распределения газа $Y_{6,k}(k=0,1,...,9)$; F_2 — фактор поступления $X_k(k=0,1,...,3)$; F_3 — фактор изменения запаса газа α; F_4 — фактор «промыслы».

Самым мощным является генеральный фактор распределения газа $F_1(Y_{6,k}) \approx 0.99, (k=0,1,...,9)$. Таким же фактором обладает отбор газа в зимний период $F_1(X_5) \approx 0.85$, т.е. отбор газа идет на потребление УМГ. Таким же фактором обладает поступление $F_1(X) \approx 0.75$, т.е. распределение газа реализуется за счет поступления.. Мострансгаз X_1 и запас газа **Z** обладают отрицательным фактором, т.е. чем больше потребление, тем меньше запас газа.

Фактор поступления газа $F_2(X_k) \approx 0.74, (k=0,1,...,3)$ является вторым общим фактором. Факторы «отбор газа» $F_2(X_5)$ и «промыслы» $F_2(X_4)$ малы. Большие значения второго фактора имеют «запас газа» $F_2(Z) \approx 0.67$ и «за границы Киевтрансгаза» $F_2(Y_2) \approx 0.55$, здесь чем больше газа поступает, тем больше запас газа в трубе и больше подача газа за границы Киевтрансгаза.

Фактор изменения запаса газа, как и для ЭГ, является общим фактором $F_3(\alpha) = F_3(D) = -0.85$ и определяет точность вычисления разности и изменения запаса.

Четвертый фактор «промыслы» $F_4(X_4) = 0.85$ обуславливает поступление газа от промыслов и распределение «за границы Киевтрансгаза» $F_4(Y_3) = 0.4$, когда подача газа по Мострансгазу уменьшается $F_4(X_1) = -0.49$.

Графическую иллюстрацию общности факторов дает геометрическая интерпретация. Здесь факторами являются нормированные координатные оси, на которые «натянуто» пространство факторов [4]. Применив общую формулу для определения длины вектора в l-мерном пространстве, получим:

$$d_i = \sqrt{\sum_{k=1}^{l} a_{ik}^2} = \sqrt{a_{i1}^2 + a_{i2}^2 + ... + a_{il}^2}\ . \tag{12}$$

Таким образом, длина вектора d_i равна корню квадратному из общности. Наибольшая длина такого вектора равна единице и указывает на то, какая доля единичной дисперсии каждой переменной является общей с факторами, что является графической иллюстрацией общности.

Угол φ между двумя векторами в пространстве общих факторов является мерой корреляции обеих переменных (коэффициенты корреляции между двумя переменными равны скалярному произведению векторов), т.е. справедливо следующее равенство:

$$R_{ij} = \cos\varphi_{ij} = \sum_{k=1}^{l} a_{ik} a_{jk} \Big/ \left(d_i d_j\right). \tag{13}$$

Графическая иллюстрация общности двух факторов F_1 и F_2 по КС в зимний период представлена на Рис. 2. Вектора сгруппированы по первому F_1 (составляющие распределения) и второму F_2 (составляющие поступления) факторам. Угол между факторами $\varphi_{1,2} \approx \pi/2$, коэффициент корреляции $R_{1,2} = \cos\varphi_{1,2} \approx 0$, что отображает независимость факторов F_1 и F_2. Между векторами F_1 и F_2 находятся суммарные вектора поступления X_0 и распределения Y_0 с углом $\varphi_{X,Y} \approx 0$ и $R_{X,Y} \approx 1$, что используется в качестве диагностической оценки некорректируемости измерений [2]. На суммарные вектора поступления и распределения (X_0, Y_0) влияют оба фактора распределения и поступления (F_1, F_2).

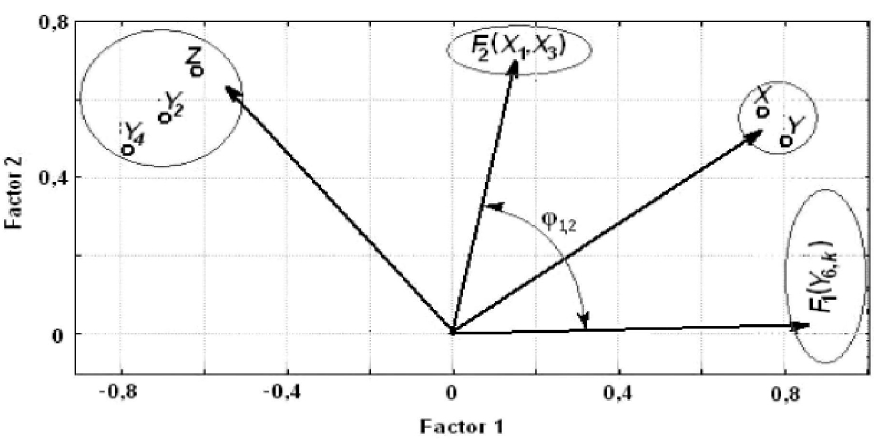

Рис. 2. Общность факторов F_1 и F_2 по КС в зимний период.

Следует обратить внимание на векторы Y_2, Y_4 и Z с углами $\varphi_{Z,Y_2} \approx 0$, $\varphi_{Z,Y_4} \approx 0$ и $R_{Z,Y_2} \approx 1$, $R_{Z,Y_4} \approx 1$. Указанные вектора некоррелированы с векторами X_0 и Y_0(см. Рис. 2) и составляют самостоятельную группу транзита за границы «Киевтрансгаза» (см. рис. 2).

Общность факторов F_1 и F_3 по КС в летний период (Рис. 3) показывает, что генеральный фактор F_1 остался без

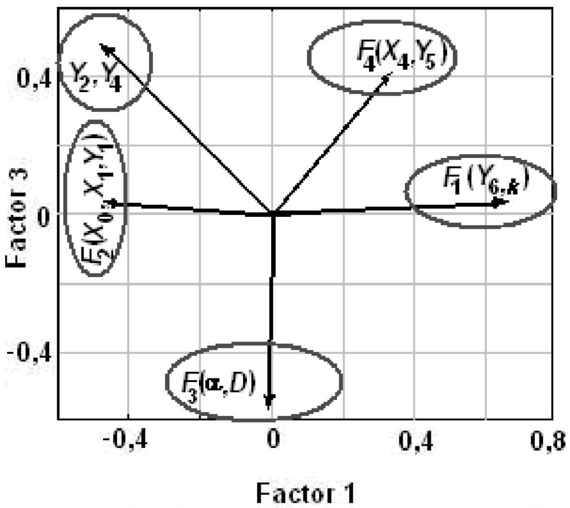

Рис. 3. Общность факторов F_1 и F_3 по КС в летний период

Из общности факторов F_1 и F_2 по ЭГ в зимний период (Рис. 4) следует, что суммарные вектора поступления X и распределения Y находятся в группе генерального фактора F_1 «Транзит газа». По второму общему фактору F_2 сгруппирована группа «потребители» (Y_6, Y_7). Группа векторов α и D обусловлена третьим общим фактором, аналогично КС.

Выводы. Факторный анализ временных рядов составляющих поступления и распределения по КС и ЭГ выявил четыре сходных фактора, описывающих особенности транспорта газа. Полученные две группы векторов (X, Y) и (α, D) с коэффициентами корреляции $R_{X,Y} \approx R_{\alpha,D} \approx 1$ могут быть применены для оценки корректированных измерений прихода и распределения газа. Разработанная модель общности факторов транспорта газа позволила выделить характерные факторы, объединяющие аналогичные временные ряды в группы. Представляет интерс дальнейшая классификация групп с целью получения диагностических признаков параметров отдельных газопроводов УМГ.

изменений, а суммарные вектора поступления X и распределения Y, в отличие от зимнего периода, сгруппированы вместе со вторым фактором поступления $F_2(X_1)$. Вектора α и D третьего фактора F_3 в летний и зимний периоды с углом $\varphi_{\alpha,D} \approx 0$ и $R_{\alpha,D} \approx 1$ составляют самостоятельную группу, некоррелированную со всеми остальными векторами (см. рис. 3), и используются в качестве диагностической оценки некорректируемости измерений [3]. Кроме того, в самостоятельную группу выделяются вектор четвертого фактора $F(X_4)$ «Промыслы» совместно с вектором $F(Y_5)$ «Транзит» (см. Рис. 3). Как и в зимний период, наблюдается группа «За границы Киевтрансгаза» Y_2 и Y_4.

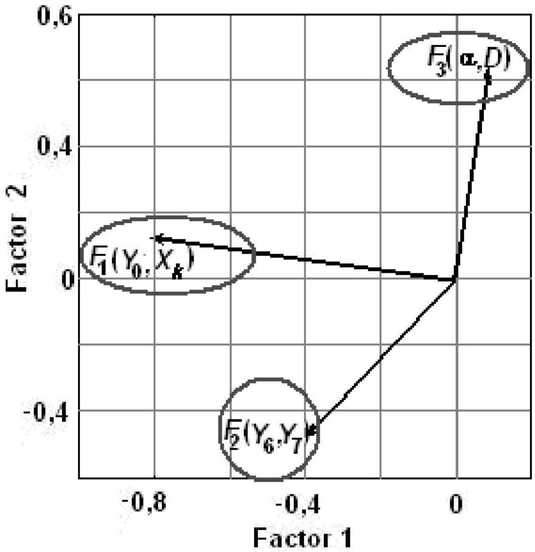

Рис. 4. Общность факторов F_1 и F_2 по ЭГ в зимний период

Литература.

1. Марчук Я.С., Игуменцев Е.А., Добров В.Л., Прокопенко Е.А. Автоматизированный контроль дисбаланса прихода и распределения газа магистрального газопровода // Сборник научных трудов Днепродзержинского государственного технического университета (технические науки). Тематический выпуск «Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика». — Днепродзержинск: ДДТУ, 2007. — с.487-492.
2. Игуменцева Н.В., Пахомов В.И. Статистический анализ результатов экспериментов и наблюдений. — Харьков: СМИТ, 2005. — 236с.
3. Марчук Я.С., Андриишин М.П., Игуменцев Е.А., Добров В.Л. Корреляционный критерий нарушения баланса газа по газопроводу // Вестник ХГУ «Проблемы автоматизированного электропривода», Харьков: ХГПУ. — 2007. — с.218-224.
4. Иберла К. Факторный анализ / Пер. с нем. В.М. Ивановой — М.: Статистика, 1980. — 398 с.
5. Дьяконов В. Mathcad 8/2000. Специальный справочник. — СПб.: Изд- во «Питер», 2000. — 592с.