

Раскин Лев Григорьевич, д-р техн. наук, проф. каф. системного анализа и управления ХГПУ. Научные интересы: методы оптимизации, методы принятия решений, исследование операций, теория систем. Адрес: Украина, 61166, Харьков, ул. Чичибабина, 9, кв. 56, тел. 40-06-28.

Серая Оксана Владимировна, магистр, аспирант ХГПУ. Научные интересы: исследование операций, теория систем. Адрес: Украина, 61000, Харьков, ул. Алуштинская, 21, кв. 2.

Миненкова Злата Евгеньевна, аспирант ХГПУ, преподаватель Машиностроительного техникума ПГТУ (г. Мариуполь). Научные интересы: исследование операций, теория систем. Адрес: Украина, Мариуполь, ул. М-Сибиряка, 37, кв. 28, тел. (629) 38-69-45.

УДК 519.21

С.Н. ГЕРАСИН

УСЛОВИЯ СТАБИЛИЗАЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ МАРКОВСКИХ ЦЕПЕЙ С ПЕРЕМЕННЫМ ЧИСЛОМ СОСТОЯНИЙ

Рассматриваются условия приведения неоднородной марковской цепи с изменяющимся числом состояний к стационарному распределению за конечное число шагов. Данные результаты базируются на матричном представлении марковских цепей.

Во многих практических задачах приходится иметь дело с системами, которые в разные моменты или периоды времени могут находиться в различных состояниях, причем множества таких состояний могут различаться. Если при этом поведение системы в будущем полностью определяется ее состоянием в текущий момент и не зависит от прошлого, то для ее математического описания можно использовать модель марковской цепи с переменным числом состояний [3].

Как и в случае классических цепей Маркова, такая цепь задается начальным распределением вероятностей и последовательностью матриц с неотрицательными элементами, строчные суммы которых равны единице. Однако, в отличие от традиционной модели, эти матрицы – не квадратные, а их размерности соответствуют числу возможных состояний в соответствующие моменты времени и последовательно согласованы между собой по умножению. Для таких цепей, как и в традиционной модели, представляют интерес условия стабилизации их переходных вероятностей [1, 4, 5]. Хотя говорить о стационарном распределении в данном случае не приходится, можно выделить классы распределений (определенных на разных множествах состояний и согласованных по какому-либо признаку), которые для описываемых

цепей могли бы выполнять роль такого распределения (в том смысле, что если начальное распределение цепи принадлежит данному классу, то и во все последующие моменты времени распределения цепи будут принадлежать тому же классу). Наиболее естественным принципом согласованности распределений, определенных на разных множествах состояний, является эквивалентность условных распределений при условии попадания в пересечение этих множеств, индуцированных двумя исходными ("сравнимыми") распределениями.

Без потери общности можно ограничиться цепями, в которых последовательные множества возможных состояний системы $I_1, I_2, \dots, I_k, I_{k+1}, \dots$ отличаются друг от друга на одно состояние: число состояний либо возрастает, либо уменьшается на единицу. Также во многих случаях без потери общности можно предполагать, что состояние, которое прибавляется или исчезает на каждом переходе, может быть соотнесено с последней компонентой вектора-строки, представляющего распределение в момент, предшествующий переходу, либо за ним следующий. Ситуация, аналогичная описанной, исследуется в работе [2].

В соответствии с этим матрица P_k , определяющая переход с увеличением числа состояний, может быть представлена в виде

$$P_k = \begin{bmatrix} B_k^{(n)} & C_k \end{bmatrix}, \quad (1)$$

здесь $B_k^{(n)}$ – квадратная матрица порядка n (размерность $P_k - n \times n + 1$), полученная из P_k вычеркиванием последнего столбца C_k .

Такие матрицы, в отличие от рассмотренных ранее, могут быть представлены в виде

$$P_k = \begin{pmatrix} U_k^{(n-l)} \\ r_k \end{pmatrix}, \quad (2)$$

где $U_k^{(n-l)} = P_k^{(n-l)}$ – квадратная стохастическая матрица порядка $n-1$, а r_k – строка с неотрицательными элементами такая, что

$$r_{kj} \geq 0 \quad (1 \leq j \leq n-1), \quad \sum_{j=1}^{n-1} r_{kj} = 1.$$

Кроме существования стационарного согласованного класса, интерес вызывают условия сходимости распределения данной цепи к распределению из упомянутого класса. Воспользуемся тем обстоятельством, что в качестве одного из условий стационарности данного класса для данной цепи в приведенных выше утверждениях использовалось требование, чтобы представители данного класса были единичными соб-

ственными векторами квадратных стохастических матриц, “вложенных” в переходные матрицы данной цепи. В этом случае всякое распределение рассматриваемой цепи $p(k)$ в момент времени k может быть представлено в виде

$$p(k) = \pi_k + f(k), \quad (3)$$

где $\pi_k \in \pi$ является левым единичным собственным вектором либо для $P_k^{(n)}(U_k^{(n-1)})$, либо для $P_{k+1}^{(n+1)}$; $f(k)$ – вектор-строка с нулевой суммой компонент, так называемый “возмущающий” вектор.

Для того чтобы сходимость к стационарному классу имела место, достаточно, чтобы в (3) $f(k)$ стремился к вектору, все компоненты которого равны нулю. Это имеет место, в частности, в том случае, когда размерность подпространства возможных значений возмущающего вектора $f(k)$ (“покрывающего” подпространства) с каждым переходом уменьшается. Рассмотрим условия, при которых такое уменьшение размерности имеет место.

Положим, что матрицы $P_k^{(n)}$ и $U_k^{(n-1)}$ не имеют других собственных чисел, кроме нуля и единицы, причем последнее имеет кратность 1. Однородные цепи, порождаемые такими матрицами, достигают стационарного распределения за конечное время, не превышающее размерности наибольшей нулевой клетки в жордановой нормальной форме соответствующей матрицы, что сопровождается уменьшением размерности покрывающего подпространства. В случае неоднородной цепи с переменным числом состояний это условие (для получения аналогичных результатов) необходимо дополнить некоторыми ограничениями в плане “согласованности” жордановых нормальных форм и обобщенных собственных векторов следующих друг за другом матриц $P_k^{(n)}$ и $U_k^{(n-1)}$ (разной размерности).

Чтобы получить указанные условия, достаточно рассмотреть случаи, когда друг за другом следуют переходы, сопровождающиеся а) оба – увеличением числа состояний; б) первый – увеличением, второй – уменьшением числа состояний; в) первый – уменьшением, второй – увеличением числа состояний; г) оба – уменьшением числа состояний.

Обозначим m_k – число нулевых клеток в жордановой нормальной форме матрицы $P_k^{(n)}$ или $U_k^{(n-1)}$; v_i^k – размерность i -й ($1 \leq i \leq m_k$) нулевой клетки в указанной форме; $f_{ij}(k)$ – левый присоединенный вектор j -1-го порядка (собственный при $j=1$) в i -й группе левых

обобщенных собственных векторов собственного значения 0 матрицы $P_k^{(n)}$ или $U_k^{(n-1)}$ ($1 \leq i \leq m_k$, $1 \leq j \leq v_i^k$).

Лемма 1. Для того чтобы при последовательном увеличении числа состояний во время переходов в цепи происходило уменьшение размерности подпространства, “покрывающего” возможные значения возмущающего вектора $f(k)$, достаточно, чтобы:

1) жордановы нормальные формы матриц $P_k^{(n)}$ и $P_{k+1}^{(n+1)}$ отличались только либо “появлением” “новой” нулевой клетки размерности 1, либо “увеличением” размерности одной из “старых” нулевых клеток на единицу;

2) $n+1$ -я (“новая”) компонента отлична от нуля лишь либо у собственного вектора, отвечающего “новой” нулевой клетке, либо у присоединенного вектора наивысшего порядка в группе, “увеличившей” свой состав;

3) остальные нулевые обобщенные собственные вектора матрицы $P_{k+1}^{(n+1)}$ связаны с соответствующими векторами матрицы $P_k^{(n)}$ соотношениями:

$$f_{ij}(k+1) = (\tilde{f}_{ij}(k+1), 0), 1 \leq i \leq m_k, 1 \leq j \leq v_i^k, \quad (4)$$

$$f_{ij}(k) = \sum_{g=1}^{m_k} \sum_{l=1}^{v_g^k} \beta_{ijgl} \tilde{f}_{gl}(k+1), \quad (5)$$

где $a \wedge b = \min(a, b)$.

Доказательство. Всякий возмущающий вектор $f(k-1)$ может быть выражен через нулевые собственные и присоединенные вектора матрицы $P_k^{(n)}$ следующим образом:

$$f(k-1) = \sum_{i=1}^{m_k} \sum_{j=1}^{v_i^k} \alpha_{ij} f_{ij}(k).$$

Подставляя такой вектор на “вход” матрицы $P_k^{(n)}$, на “выходе” получим:

$$f(k) = f(k-1)P_k = (1 - \pi_{kn+1}) \sum_{i=1}^{m_k} \sum_{j=1}^{v_i^k} \alpha_{ij+1} (f_{ij}, 0).$$

Подставляя в это равенство выражения (4) и (5), получаем:

$$f(k) = \sum_{i=1}^{m_k} \sum_{j=1}^{v_i^k-1} \alpha_{ij+1}(1-\pi_{kn+1}) \sum_{g=1}^{m_k} \sum_{l=1}^{(j \wedge v_g^k)} \beta_{ijgl} f_{gl}(k+1) =$$

$$= \sum_{i=1}^{m_k} \sum_{j=1}^{v_i^k-1} \gamma_{ij} f_{ij}(k+1).$$

Сравнивая выражения для $f(k-1)$ и $f(k)$, мы видим, что размерность "покрывающего" подпространства уменьшилась, по крайней мере, на m_k . Подав же $f(k)$ на вход матрицы P_{k+1} , на выходе получим:

$$f(k+1) = (1 - \pi_{(n'+1)k+2}) \sum_{i=1}^{m_k} \sum_{j=1}^{v_i^k-2} \gamma_{ij+1} (f_{ij}(k+1)),$$

вектор, который покрывается подпространством размерности, по крайней мере, на $2m_k$ меньшей, чем размерность "исходного" подпространства.

Прежде, чем рассматривать случаи с переходами, сопровождающимися уменьшением числа состояний, заметим, что всякий вектор с нулевой суммой компонент, подаваемый на вход матрицы, описывающей такой переход, может быть представлен в виде

$$(-c\pi_k + \sum_{i=1}^{m_k} \sum_{j=1}^{v_i^k} \alpha_{ij} f_{ij}(k), \quad c), \quad (6)$$

где π_k - левый единичный собственный вектор матрицы $U_k^{(n-1)}$; m_k , v_i^k , $f_{ij}(k)$ имеют тот же смысл, что и ранее; c - скаляр, равный "исключаемой" компоненте вектора, подаваемого на вход.

Лемма 2. Для того чтобы при последовательных переходах, из которых первый сопровождается увеличением, а второй - уменьшением числа состояний, каждый из переходов сопровождался уменьшением размерности подпространства, покрывающего возмущающий вектор, достаточно, чтобы выполнялись следующие условия:

1) жордановы нормальные формы матриц $P_k^{(n)}$ и $U_{k+1}^{(n)}$ отличаются либо лишь "исчезновением" одной нулевой клетки размерности 1, либо "уменьшением" размерности одной из клеток ($m_k \geq m_{k+1}$);

2) нулевые обобщенные собственные вектора матриц $P_k^{(n)}$ и $U_{k+1}^{(n)}$ связаны соотношениями

$$f_{ij}(k) = \sum_{g=1}^{m_{k+1}} \sum_{l=1}^{(j \wedge v_g^{k+1})} \beta_{ijgl} f_{gl}(k+1), 1 \leq i \leq m_k, 1 \leq j \leq v_i^k.$$

Доказательство. Всякий возмущающий вектор $f(k-1)$, поданный на вход матрицы P_k , может быть представлен в виде (6), и на выходе мы будем иметь вектор

$$f(k) = f(k-1)P_k = \sum_{i=1}^{m_k} \sum_{j=1}^{v_i^k-1} \alpha_{ij+1} f_{ij}(k) =$$

$$= \sum_{i=1}^{m_k} \sum_{j=1}^{v_i^k-1} \alpha_{ij+1} (-c_{ij}\pi_{k+1} + \sum_{g=1}^{m_{k+1}} \sum_{l=1}^{(j \wedge v_g^{k+1})} \beta_{ijgl} f_{gl}(k+1) \epsilon_{ij}) =$$

$$= (-c\pi_{k+1}, c) + \sum_{i=1}^{m_{k+1}} \sum_{j=1}^{v_i^k-1} \gamma_{ij+1} (f_{ij}(k), c_{ij}), \quad (7)$$

вектор, покрываемый подпространством, размерность которого, по крайней мере, на $m_k - 1$ меньше размерности подпространства, покрывавшего "исходный" возмущающий вектор $f(k-1)$. Подавая полученный вектор вида (7) на вход матрицы P_{k+1} , на выходе получаем

$$f(k+1) = f(k)P_{k+1} = \sum_{i=1}^{m_{k+1}} \sum_{j=1}^{v_i^k-2} \gamma_{ij+1} f_{ij}(k+1),$$

вектор, покрываемый подпространством, размерность которого, по крайней мере, на $m_{k+1} + 1$ меньше размерности подпространства, покрывавшего "предыдущий" возмущающий вектор $f(k)$. Таким образом, в условиях леммы 2 тенденция к уменьшению размерности подпространства возможных значений возмущающего вектора сохраняется. Результаты лемм 1, 2 обобщает следующая теорема.

Теорема. Пусть начиная с некоторого момента k_0 , на протяжении, по крайней мере, N переходов ($N = \min(\dim(P_{k_0} P_{k_0}'), \dim(P' P_{k_0}))$), где A' - матрица, транспонированная по отношению к матрице A), выполняются условия одной из лемм 1, 2. Тогда к моменту $k_0 + N$ распределение вероятностей состояний цепи будет принадлежать стационарному согласованному классу данной цепи вне зависимости от начального распределения.

Доказательство. Размерность подпространства возможных значений возмущающего вектора в момент k_0 не превышает $N-1$. Если выполняются условия теоремы, то из доказанных ранее лемм следует, что на каждом переходе в течение, по крайней мере, N шагов, размерность этого подпространства будет уменьшаться в среднем на k -м шаге ($k_0 \leq k \leq k_0 + N$) на m_k . Так как для любого k $m_k \geq 1$, то к моменту $k_0 + N$ размерность покрывающего подпространства будет равна нулю, т.е. возмущающий вектор сможет принять единственное значение – ноль. Значит, однажды достигнув стационарного согласованного класса, распределение цепи более его не покинет.

Пример. Рассмотрим цепь, в которой на каждом шаге происходит увеличение числа состояний на 1, со стационарным согласованным классом распределений, порожденным равномерными распределениями на различных множествах состояний. Для упрощения выкладок будем полагать, что жордановы нормальные формы матриц $P_k^{(n)}$ имеют только одну нулевую клетку размерности $n-1$. Такими характеристиками будет обладать, в частности, цепь, вероятности первых четырех возможных переходов в которой задаются следующими матрицами:

$$P_1 = \begin{pmatrix} 3 & 1 & 1 & 1 \\ 8 & 8 & 4 & 4 \\ 3 & 1 & 1 & 1 \\ 8 & 8 & 4 & 4 \\ 0 & 2 & 4 & 4 \end{pmatrix}, \quad P_2 = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 2 & 1 & 1 \\ 3 & 15 & 15 & 5 & 5 \\ 1 & 2 & 2 & 1 & 1 \\ 3 & 15 & 15 & 5 & 5 \\ 1 & 2 & 2 & 1 & 1 \\ 15 & 5 & 15 & 5 & 5 \\ 1 & 2 & 2 & 1 & 1 \\ 15 & 15 & 5 & 5 & 5 \end{pmatrix},$$

$$P_3 = \begin{pmatrix} 7 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 24 & 8 & 8 & 8 & 6 & 6 \\ 7 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 24 & 8 & 8 & 8 & 6 & 6 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 12 & 3 & 8 & 8 & 6 & 6 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 12 & 8 & 3 & 8 & 6 & 6 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 12 & 8 & 8 & 3 & 6 & 6 \end{pmatrix}, \quad P_4 = \begin{pmatrix} 9 & 4 & 4 & 4 & 4 & 1 & 1 \\ 35 & 35 & 35 & 35 & 35 & 7 & 7 \\ 9 & 4 & 4 & 4 & 4 & 1 & 1 \\ 35 & 35 & 35 & 35 & 35 & 7 & 7 \\ 3 & 2 & 4 & 4 & 4 & 1 & 1 \\ 35 & 7 & 35 & 35 & 35 & 7 & 7 \\ 3 & 4 & 2 & 4 & 4 & 1 & 1 \\ 35 & 35 & 7 & 35 & 35 & 7 & 7 \\ 3 & 4 & 4 & 2 & 4 & 1 & 1 \\ 35 & 35 & 35 & 7 & 35 & 7 & 7 \\ 3 & 4 & 4 & 4 & 2 & 1 & 1 \\ 35 & 35 & 35 & 35 & 7 & 7 & 7 \end{pmatrix}.$$

Левые нулевые собственные и присоединенные вектора матриц $P_1^{(3)}$, $P_2^{(4)}$, $P_3^{(5)}$ и $P_4^{(6)}$, которые соответствуют приведенным выше матрицам P_1 , P_2 , P_3 и P_4 , удовлетворяют условиям теоремы так, как присоединенный вектор наивысшего порядка для каждого n имеет вид

$$f_{0n-1}^{(n)} = (\alpha_{n-1}, 0, \dots, 0, -\alpha_{n-1}),$$

n -мерный вектор-строка, а собственный вектор, отвечающий нулевому собственному значению, для каждого n есть $f_{01}^{(n)} = (1, -1, 0, \dots, 0)$.

Поэтому сходимость к распределению из стационарного согласованного класса будет иметь место начиная с $k=1$. Так как размерность нулевого инвариантного подпространства для $P_1^{(3)}$ равна 2, то распределение из стационарного согласованного класса будет достигнуто, по теореме, не более чем за 2 шага. Действительно,

$$P_1 P_2 = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ \frac{1}{5} & \frac{1}{5} & \frac{1}{5} & \frac{1}{5} & \frac{1}{5} \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ \frac{1}{5} & \frac{1}{5} & \frac{1}{5} & \frac{1}{5} & \frac{1}{5} \\ \frac{1}{5} & \frac{1}{5} & \frac{1}{5} & \frac{1}{5} & \frac{1}{5} \end{pmatrix}.$$

Если же матрицу P_1 заменить какой-либо другой, которая не будет удовлетворять условиям теоремы, то сходимость к распределению из стационарного согласованного класса будет иметь место только начиная с $k=2$, и для достижения "стационарности" потребуется уже, в общем случае, 3 шага (так как размерность нулевой клетки в жордановой нормальной форме матрицы $P_2^{(4)}$ равна 3):

$$P_2 P_3 P_4 = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ \frac{1}{7} & \frac{1}{7} & \frac{1}{7} & \frac{1}{7} & \frac{1}{7} & \frac{1}{7} & \frac{1}{7} \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ \frac{1}{7} & \frac{1}{7} & \frac{1}{7} & \frac{1}{7} & \frac{1}{7} & \frac{1}{7} & \frac{1}{7} \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ \frac{1}{7} & \frac{1}{7} & \frac{1}{7} & \frac{1}{7} & \frac{1}{7} & \frac{1}{7} & \frac{1}{7} \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ \frac{1}{7} & \frac{1}{7} & \frac{1}{7} & \frac{1}{7} & \frac{1}{7} & \frac{1}{7} & \frac{1}{7} \end{pmatrix}.$$

Данные результаты являются развитием результатов, полученных в работе [6].

Список литературы: 1. Басманов А.Е., Дикарев В.А. Стабилизация марковского процесса в окрестности распределения, заданного на конечном временном промежутке // Доповіді НАН України, 1999. №8. С.69-73. 2. Бондаренко

М.Ф., Басманов А.Е. Восстановление финального распределения вероятностей для процесса блуждания на графе // Доповіді НАН України, 2000. №8. С.87–90. 3. Герасин С.Н. Проблемы стабилизации распределений неоднородных марковских систем. Харьков, изд-во ХТУРЭ, 1999. 212 с. 4. Герасин С.Н. Условия сходимости к предельному распределению в неоднородных цепях Маркова за конечное время // Вісник Харківського національного університету, 2000. №456, ч.2. С.256–259. 5. Дикарев В.А., Герасин С.Н., Слитченко Н.И. Стабилизация вероятностей состояний марковского процесса при локальных возмущениях его параметров // Доповіді НАН України, 2000. №8. С.90–93. 6. Zubeiman E. J. On class of the Markov chains with the finite time of convergence // J. Appl. Math. and Stochastic Anal. 1976. 4, № 4э Р. 48–61.

Поступила в редколлегию 12.11.2000

Герасин Сергей Николаевич канд. техн. наук, доцент кафедры высшей математики ХТУРЭ. Научные интересы: теория вероятностей и ее приложения, теория процессов Маркова. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина 14, e-mail: hm@kture.ua, тел: (0572) 40–93–72, (0572) 72–12–38.

УДК 681.5.015

А.Л. ЕРОХИН, С.Ю. ПОДУФАЛОВ

ПОСТРОЕНИЕ БАЗЫ ЗНАНИЙ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ЭЛЕКТРОСЕТЯМИ

Рассматриваются задачи управления ресурсами в электрических сетях. Предлагается структура базы знаний системы поддержки принятия решений на основе продуцирующих правил.

Современная электроэнергетика представляет собой сложную систему. Она характеризуется большим числом элементов, непрерывностью энергетического производства, сложной нелинейной зависимостью основных технико-экономических показателей от процесса производства и распределения электроэнергии. В связи с непрерывно возрастающим уровнем электропотребления значительно увеличивается протяженность и тип распределительных сетей, соответственно возрастают виды выполняемых работ при ремонтном и эксплуатационном обслуживании линий электропередач и энергообъектов, что создает значительные трудности при их планировании и представляет сложный комплекс задач по переработке большого объема данных, которые часто бывают нечеткими. Управление такой сложной энергосистемой в настоящее время невозможно без применения электронно-вычислительной техники и методов нечеткой логики. Основные пути решения такой сложной задачи – применение экономико-математических методов, способов и средств сбора и обработки нечеткой информации.

Для управления электросетями используются автоматизированные системы управления производством и потреблением. Такие системы управления обычно организованы иерархически. Они состоят из удаленных терминалов, линий связи и разноуровневых систем машинной обработки данных. При этом окончательное решение остается за лицами, принимающими решение (ЛПР). С появлением на рынке современных промышленных контроллеров стало возможным создавать надежные и экономичные автоматизированные системы управления энергетических объектов. Одним из путей повышения эффективности таких систем специального назначения, функционирующих в недружественной обстановке, является исключение операторов и ЛПР из временного баланса процесса управления при сохранении определенного уровня в качестве управления. Тем самым устраняется неблагоприятное влияние человека на эффективность комплексов, связанное с большим количеством ошибок и несвоевременностью выполнения предписанного алгоритма деятельности, характерных для управления комплексами в реальном масштабе времени. В то же время для неснижения качества управления предъявляются высокие требования к алгоритмическому обеспечению автоматических систем и, в первую очередь, процессов принятия решений.

В связи с этим появилось новое понимание вычислительного процесса. Он стал рассматриваться не как множество последовательно выполняемых действий, а как совокупность асинхронно выполняемых параллельных вычислительных процессов. Такой подход позволил перейти к получающей все большее распространение групповой обработке данных, в которой при появлении новых данных или результатов у одного пользователя (в одном процессе) ему предоставляется возможность немедленной рассылки этой информации другим заинтересованным пользователям (процессам). Одна из определяющих характеристик распределенного решения – это совместное использование группы распределенных в пространстве, но связанных между собой источников знаний, когда ни один из них не имеет достаточно информации для решения всей задачи. Прийти к общему решению можно только совместно [1].

Для принятия групповых решений необходимо синхронное взаимодействие, при котором происходит электронная беседа – обмен информацией в реальном времени.

Управление ресурсами в распределенных системах электросетей в реальном масштабе времени включает следующие задачи:

- а) прогнозирование нагрузок;
- б) оптимизация режимов энергопотребления;
- в) диагностика аварии;
- г) принятие решения об устранении аварии;
- д) перераспределение нагрузки в аварийных режимах;
- е) прогнозирование аварийных ситуаций в системе;
- ж) анализ причин аварии и выработка мер по их предотвращению [2].

В настоящее время большинство процессов, протекающих в штатных режимах, автоматизировано. Вмешательство ЛПР требуется редко