

Там же указаны изменения значений вертикальных нагрузок на левый и правый борта $Y_{\text{л}}$ и $Y_{\text{п}}$ в зависимости от α . Так, например, при движении гусеничной машины вдоль левого склона (рис. 1г) с углом склона $\alpha = 20^\circ$ величина необходимого смещения гусениц S для создания стабилизирующего момента должна быть равна 0,65 м, т.е. левый борт необходимо выдвинуть вперед, а правый - назад относительно неподвижной рамы на величину 0,325 м (рис. 1б).

По результатам расчетов можно заключить, что взаимное смещение бортов относительно неподвижной рамы машины приводит к возникновению стабилизирующего момента, что, в свою очередь, препятствует уводу трактора вниз по склону и улучшает курсовую устойчивость МТА независимо от крутизны и направления склона. При этом значительно уменьшается количество воздействий на механизмы поворота, что позволяет применить в рассматриваемой машине механизмы поворота серийной конструкции. С увеличением угла α уменьшается взаимное смещение S , увеличивается вертикальная нагрузка на гусеницу, находящуюся внизу по склону $Y_{\text{л}}$, и составляющая $Y_{\text{лвпк}}$, которая создаст стабилизирующий момент.

ЛИТЕРАТУРА

1. Коеневич Н.П., Скотников В.А., Ляско М.И. Ходовая система. Почва-урожай. М.: Агропромиздат, 1985. - 304 с.
2. Хухунш Г.В. Механика трактора-склонохода. - Тбилиси: Мецниреба, 1983. - 173 с.
3. Базилян Н.А., Манасарян Г.Т. Патент СССР 1833331. А. 3. - 1993. - 6 с.

Армянский сельскохоз. ин-т

10. V. 1994

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТИ), т. XLIX, №2, 1995, с. 88-93

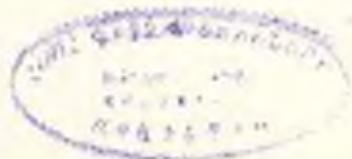
УДК 621.311

ЭНЕРГЕТИКА

М.А. БАЛАБЕКЯН, В.С. САФАРЯН

УПРОЩЕННЫЙ ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Էլեկտրական ցանցերի օպտիմալ զարգացման խնդրի լուծման սթաբիլիզացիոն արդյունքի չափով բավարարում է դիտարկվող ծրագրավորման բազմաբաշխյան մեթոդը, որը բույ է տալիս ամեն մի քայլում հաշվի առնել օպտիմալիզացիոն համակարգի շահերը: Սակայն նշված խնդիրը լուծելու համար դիտարկվող ծրագրավորման գործնական օգտագործումն առաջացնում է մեծ դժվարություններ, որոգիտես կախված է տարրերի ել խառնվածների քանակից, ենարավոր միճակներից ել այլն, պահանջում է մեծ չափողակսնություն: Առաջարկվում է խնդրի լուծման էլրիստիկ մոտեցում, որն օգտագործելով ճյուղերի ել սահմանների գաղափարը, գալիորեն փորրացնում է էլեկտրական ցանցերի զարգացման խնդրի լուծման չափողակսնությունը:



Решению задачи оптимального развития электрической сети в наибольшей степени способствует многошаговый метод динамического программирования, который позволяет на каждом шаге учесть интересы оптимизируемой системы за весь заданный период времени. Однако практическая реализация динамического программирования встречает значительные трудности, вызываемые большой размерностью, которая определяется количеством участков и элементов сети, возможных состояний и т.д. Прилагается эвристический подход, который с использованием идеи метода ветвей и границ существенно уменьшает размерность задачи оптимального развития электрических сетей по сравнению со строгим динамическим подходом.

Ил. 1. Табл. 2. Табл. 3. Табл. 4. Ил. 5.

A dynamic programming multistep method permitting to take into account in every step the system interests to be optimized mostly satisfies the conditions for measuring electric networks for optimal problem solving development. To solve this problem the practical application of dynamic programming causes, nevertheless, great difficulties because according to the number of elements, and segments, possible states, etc., precision measurements are required. A heuristic approach to solve this problem is proposed, which decreases the measurement of electric networks for optimal problem solving development using the idea of branch and boundary method.

Ил. 1. Табл. 2. Табл. 3. Табл. 4.

Одной из центральных проблем современного этапа построения системы электроснабжения селений является определение оптимальной стратегии развития сельских электрических сетей, включающее в себя решение задач по увеличению пропускной способности, повышению экономичности и надежности, уменьшению ущерба от прокладки сетей по сельскохозяйственным угодьям и т.д.

Определение оптимальной стратегии развития сети наряду с выбором способов улучшения характеристик сети требует установления для каждого из возможных путей развития очередности и сроков их реализации. Критериями эффективности оптимизации развития сельских электрических сетей служат приведенные затраты. Поэтому выбор оптимальной стратегии развития заключается в определении такой последовательности и сроков проведения мероприятий, которые обеспечивали бы минимальные приведенные затраты и приспособленность сети к выполнению поставленных перед нею задач.

Планировать развитие некоторой конкретной сети следует с учетом влияния на каждое принимаемое мероприятие будущих этапов развития сети. Если иметь в виду оптимальное развитие, то любое мероприятие необходимо рассматривать совместно с другими, которые будут реализованы в течение заданного промежутка времени. Это положение имеет принципиальное значение при выборе метода решения задачи, который позволяет выбрать не только осуществляемые мероприятия, но и сроки их реализации. В наибольшей степени условиям задачи оптимального развития сети удовлетворяет многошаговый метод динамического программирования [1], который позволяет на каждом шаге учесть интересы оптимизируемой системы за весь заданный период времени.

В статье рассматриваются подходы, позволяющие выполнить необходимые упрощения, сохранив в то же время одно из наиболее важных достоинств метода динамического программирования - учет интересов системы за весь период при реализации каждого шага решения.

Модель оптимального развития сети, т.е. последовательности состояний, которые определяются из условия минимума критерия эффективности за некоторый период времени при соблюдении заданных системы ограничений, может быть записана в виде

$$Z = \sum_{t=1}^T \left(\sum_{i \in N(t)} \delta_i E_{ii} K_i + \Delta P^{(t)} C t \right) \rightarrow \min \quad (1)$$

$$\hat{U}_i^{-1(t)} (Y - \Delta Y^{(t)}) \cdot U^{(t)} = \bar{S}^{(t)}; \quad i = 1, 2, \dots, T \quad (2)$$

$$|\Delta U_i^{(t)}| \leq \Delta U_{\text{доп}}^{(t)}; \quad i = 1, 2, \dots, n-1 \quad (3)$$

где (1) - целевая функция; (2) и (3) - ограничения; Z - приведенные суммарные затраты на рассматриваемый период T ; t - номер текущего года; E_{ii} - нормативный коэффициент для проведения разновременных затрат; K_i - капитальные вложения, произведенные в году для сооружения i -й ветви; $\Delta P^{(t)}$ - средние потери активной мощности в сети и нормативное число часов работы сети в t -ом году; C - стоимость 1 кВт·ч электроэнергии; δ_i - символ Кронекера.

Пусть рассматриваемая электрическая сеть имеет m узлов и n ветвей. Обозначим соответственно множества узлов и ветвей сети через M и N , а множество ветвей, подлежащих рассмотрению, - N . Очевидно, что

$$|N| = \frac{m(m-1)}{2} - |N_0| \quad (4)$$

$$N^{(t)} = N \setminus \bigcup_{i=1}^{t-1} i^{(t-1)} \bar{N}^{(i)}$$

где $N^{(t)}$ - множество ветвей, сооружаемых в t -ом году; $U^{(t)}$ - вектор комплексных узловых напряжений в t -ом году; Y - матрица узловых проводимостей исходной сети; $\Delta Y^{(t)}$ - приращение матрицы узловых проводимостей, соответствующее ветвям $\bigcup_{i=1}^{t-1} N^{(i)}$; $\bar{S}^{(t)}$ и $\Delta U_i^{(t)}$ - вектор узловых комплексных мощностей и отклонение модуля напряжения в t -ом узле в t -ом году; $\Delta U_{\text{доп}}^{(t)}$ - допустимое отклонение модуля напряжения.

Способы решения задач оптимального развития сетей наряду с применением идей динамического программирования могут быть существенно упрощены, если для каждого года решить статическую задачу оптимизации. Допустим, известен детерминированный закон изменения нагрузок на участках сети по годам. Примем, что нагрузки меняются по годам непрерывно и оптимальное состояние сети принимает к концу года. На основании заданных уровней нагрузок в каждом году расчетного срока определяют оптимальную сеть и затраты на переход от рассматриваемого варианта ко всем оптимальным, соответствующим уровням нагрузок тех лет, которые еще осталось пройти до окончания расчетного срока. Эту процедуру повторяют каждый раз, когда за исходный принимают следующий по очереди год. При этом в каждом году за исходные могут быть приняты несколько оптимальных сетей в зависимости от последовательности состояний (траекторий), которые были реализованы в период до рассматриваемого года. Сравнивая между собой все имеющиеся траектории, можно выбрать оптимальную, отвечающую условиям задачи. Этот подход существенно уменьшает размерность рассматриваемой задачи по сравнению со строгим

динамическим подходом [2], однако и он не может быть рекомендован для практического применения, т.к. число рассматриваемых вариантов все еще остается значительным. (В общем случае при рассматриваемом сроке в T лет число возможных стратегий равно $N_{\text{вс}} = 2^T$, а число оптимальных вариантов, подлежащих рассмотрению, $N_{\text{опт}} = 2^{T-2}(T-1)$ [3]).

Следующий шаг к упрощению заключается в прерывании процессов формирования вариантов развития сети по признаку минимальных затрат.

Предположим, нас интересует пятилетний период развития сети. Полная система рассматриваемых изменений состояния образует $2^5 = 32$ стратегии, начиная от случая, когда изменения вообще нет, и до случая, когда оно будет в каждом году. Полную систему всевозможных стратегий можно представить пятиразрядными числами двоичного исчисления, в котором единицы означают изменение состояния, а нулями отмечены годы, когда реконструкцию не проводят (табл. 1).

Таблица 1

	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
1.	0	0	0	0	0	12.	0	1	0	1	1	23.	1	0	1	1	0
2.	0	0	0	0	1	13.	0	1	1	0	0	24.	1	0	1	1	1
3.	0	0	0	1	0	14.	0	1	1	0	1	25.	1	1	0	0	0
4.	0	0	0	1	1	15.	0	1	1	1	0	26.	1	1	0	0	1
5.	0	0	1	0	0	16.	0	1	1	1	1	27.	1	1	0	1	0
6.	0	0	1	0	1	17.	1	0	0	0	0	28.	1	1	0	1	1
7.	0	0	1	1	0	18.	1	0	0	0	1	29.	1	1	1	0	0
8.	0	0	1	1	1	19.	1	0	0	1	0	30.	1	1	1	0	1
9.	0	1	0	0	0	20.	1	0	0	1	1	31.	1	1	1	1	0
10.	0	1	0	0	1	21.	1	0	1	0	0	32.	1	1	1	1	1
11.	0	1	0	1	0	22.	1	0	1	0	1						

Полную систему всевозможных стратегий более наглядно можно представить в виде ориентированного графа, представленного на рисунке, каждая вершина характеризуется двумя индексами, первые из которых показывает конец текущего года, а второй - возраст сети. Если при переходе по дуге возраст сети увеличивается на единицу, это означает, что сеть не реконструировалась, если же возраст становится равным нулю, это означает, что сеть в конце текущего года оптимизировалась. Вершина $0, 0$ является исходной, а вершины $5, i$ ($i = 0, \dots, 5$) - конечными. Ориентированные пути с начальной $0, 0$ и конечной $5, i$ вершинами представляют собой определенную стратегию. Например, путь $0, 0 \rightarrow 1, 0 \rightarrow 2, 1 \rightarrow 3, 2 \rightarrow 4, 0 \rightarrow 5, 1$ соответствует 19-й стратегии - табл. 1.

Перейдем к иллюстрации упрощенного подхода, для чего воспользуемся графической формой отображения процесса развития сети (рис.). Осуществляется анализ сети в первом году с учетом ее нагрузок рассматриваемого пятилетнего периода, т.е. сопоставляются стратегии $0, 0 \rightarrow 1, 1 \rightarrow 2, 2 \rightarrow 3, 3 \rightarrow 4, 4 \rightarrow 5, 5$ и $0, 0 \rightarrow 1, 0 \rightarrow 2, 1 \rightarrow 3, 2 \rightarrow 4, 3 \rightarrow 5, 4$ по приведенным суммарным затратам. При этом могут быть два случая: сеть требует изменения состояния в первом году, или в этом нет необходимости. В первом случае разрывается дуга $0, 0 \rightarrow 1, 1$, а во втором случае - дуга $0, 0 \rightarrow 1, 0$.

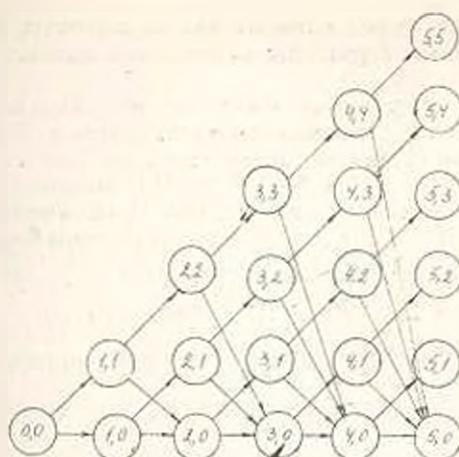


Рис.

Рассмотрим первый случай, при котором все стратегии i_1, i_2, i_3, i_4, i_5 для которых $i_k = 0$, исключаются из дальнейшего рассмотрения, где i_k - двоичный символ, $k = 1, 2, \dots, 5$. Далее выполняется пять оптимизационных расчетов сети для нагрузок второго, третьего, четвертого и пятого годов (табл. 2).

Таблица 2

		1	2	3	4	5
1-й год	1	1(0)	2(1)	0	0	0
	2	1(0)	0	3(1)	0	0
	3	1(0)	0	0	4(1)	0
	4	1(0)	0	0	0	5(1)
2-й год	5	1(0)	2(1)	3(2)	0	0
	6	1(0)	2(1)	0	4(2)	0
	7	1(0)	2(1)	0	0	5(2)
3-й год	8	1(0)	0	3(1)	4(3)	0
	9	1(0)	0	3(1)	0	5(3)
4-й год	10	1(0)	2(1)	0	4(2)	5(4)

В результате получаем четыре стратегии развития сети (табл. 2). Обозначение i указывает, что в i -ом году оптимизируется сеть i -го года при нагрузках i -го года, и при $i = 0$ - исходная сеть. Если $i_{k+1} = 0$, то в k -ом году i -я сеть не оптимизируется. Далее рассматриваем оптимальную сеть второго года и выполняем расчеты при условии, что она нагружена нагрузками третьего, четвертого и пятого годов (табл. 2). Таким образом, получаем еще три стратегии. Переходим к расчету третьего года. Очевидно, что в результате ранее выполненных оптимизационных расчетов получили две стратегии, где участвуют оптимальные сети третьего года (стратегии 2 и 5). Сравнение их между собой по критерию приведенных затрат позволяет выбрать наилучший вариант (в табл. 2 выбрана 2-я стратегия). Полученная сеть 3(1) загружается последовательно нагрузками четвертого и пятого годов и каждый раз оптимизируется (стратегии 8 и 9). При переходе к четвертому году для

анализа располагаем тремя вариантами, из которых выбираем один по критерию приведенных затрат, два оставшихся варианта в дальнейшем не учитываются.

В последнем году анализируем четыре варианта (4, 7, 9, 10) и выбираем из них один с наименьшими затратами. Таким образом, для выбора оптимальной стратегии оптимизируется всего 11 сетей: 1(0), 2(1), 3(1), 3(2), 4(1), 4(2), 4(3), 5(1), 5(2), 5(3), 5(4) вместо 32 при предыдущем подходе. Эта разница существенно увеличивается с ростом рассматриваемых лет. Если способ полного перебора оптимумов при $T = 20$ лет предусматривает рассмотрение

$N_{\text{пол}} = 2^{T-1} \cdot (T-1) = 2^{19} \cdot 19 = 5 \cdot 10^6$ вариантов и сравнение

$N_{\text{стр}} = 2^1 = 2^{30} = 1,048 \cdot 10^9$ стратегий, то при упрощенном подходе для

тех же 20 лет необходимо рассмотреть всего $N = \frac{1}{2} T(T-1) + 1 = 191$

стратегию и без сопоставления всех стратегий выбрать оптимальную. Применение изложенной методики позволит ответить на важные вопросы развития сети, прежде всего, какую следует спроектировать сеть, чтобы приведенные затраты в расчетном периоде были минимальными.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вагнер Г. Основы исследования операций. - М.: Наука, 1973. Т. 2. - 187 с.
2. Моцкус П.Б. Многоэкстремальные задачи в проектировании. - М.: Высшая школа, 1967. - 286 с.
3. Мурадян А.Е. Оптимизация развития сельских электрических сетей при помощи ЭВМ //Повышение качества электроснабжения сельского хозяйства: Научные тр. ВИЭСХ. - М., 1978. - Т. 45. - С. 38-45.
4. Балабекин М.А., Сифарин В.С. Оптимизация развития электрических сетей //Повышение качества и эффективности использования электрической энергии: Тех. докл. и т. сем. Киев, декабрь, 1987 г. - Киев, 1987. - С. 16-18.

Арм.фил. ВИЭСХ

30.XII. 1991