

Венюань Ли

**ВЕРОЯТНОСТНОЕ  
ПЛАНИРОВАНИЕ  
СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ  
ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ**

Москва 2016

---

# PROBABILISTIC TRANSMISSION SYSTEM PLANNING

---

Wenyuan Li, Fellow, IEEE, EIC  
BC Hydro, Canada



Mohamed E. El-Hawary, *Series Editor*

 **IEEE**  
IEEE-PRESS

 **WILEY**

A JOHN WILEY & SONS, INC., PUBLICATION

---

# ВЕРОЯТНОСТНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

---

**Венюань Ли**

Перевод с английского М.И. Успенского, Н.А. Манова  
Технический редактор Н.А. Манов

Издательство

Москва 2016



**В. Ли.**

Вероятностное планирование системы передачи электроэнергии. –  
Москва, 2016. – 308 с.  
ISBN

Монография ведущего специалиста в мире в области методов расчета надежности электроэнергетических систем Венюаня Ли посвящена планированию системы передачи на основе вероятностного подхода с учетом надежности и экономичности электроснабжения. Раскрыто моделирование нагрузок при планировании, приведены методики анализа потоков мощности, даны вероятностные алгоритмы поисковой оптимизации, анализ и ранжирование аварийных ситуаций, методы вероятностной оценки устойчивости по напряжению и динамической. Вероятностный расчет надежности рассмотрен на примере подстанции, совместной системы генерации и передачи, устойчивости по напряжению и динамической. Приведены методы экономического анализа, требуемые исходные данные, нечеткие методики. В монографии учитывается как случайность, так и неопределенность исходных данных для вероятностного планирования. Рассмотрены примеры приложения предложенных методов к конкретным задачам.

Монография представляет интерес для широкого круга лиц, занимающихся теорией и практикой обеспечения надежности систем передачи электроэнергии.

Издано при содействии АО «Системный оператор Единой энергетической системы»  
[www.so-ups.ru](http://www.so-ups.ru)

# ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Предисловие к русскому изданию</b> .....	5
<b>Предисловие</b> .....	9
<b>1. Введение</b> .....	10
1.1. Обзор планирования передачи .....	10
1.2. Необходимость вероятностного планирования передачи .....	14
1.3. Схема книги .....	16
<b>2. Основные концепции вероятностного планирования</b> .....	19
2.1. Введение .....	19
2.2. Вероятностные критерии планирования .....	19
2.3. Методика вероятностного планирования .....	21
2.4. Другие аспекты вероятностного планирования .....	25
2.5. Выводы .....	26
<b>3. Моделирование нагрузки</b> .....	27
3.1. Введение .....	27
3.2. Прогноз нагрузки .....	27
3.3. Группирование нагрузок .....	40
3.4. Неопределенность и корреляция узловых нагрузок .....	45
3.5. Узловые нагрузки, зависящие от напряжения и частоты .....	47
3.6. Выводы .....	49
<b>4. Методики анализа системы</b> .....	51
4.1. Введение .....	51
4.2. Перетоки мощности .....	51
4.3. Вероятностные перетоки мощности .....	54
4.4. Оптимизация перетоков мощности .....	58
4.5. Вероятностные алгоритмы поиска оптимума .....	64
4.6. Анализ и ранжирование аварийных ситуаций .....	71
4.7. Расчет устойчивости по напряжению .....	76
4.8. Решение проблемы динамической устойчивости .....	79
4.9. Выводы .....	81
<b>5. Вероятностный расчет надежности</b> .....	83
5.1. Введение .....	83
5.2. Показатели надежности .....	83
5.3. Определение цены надежности .....	87
5.4. Расчет адекватности подстанции .....	90
5.5. Расчет адекватности совместной системы генерации и передачи .....	96
5.6. Вероятностная оценка устойчивости напряжения .....	103
5.7. Вероятностная оценка динамической устойчивости .....	110
5.8. Выводы .....	115
<b>6. Методы экономического анализа</b> .....	117
6.1. Введение .....	117
6.2. Составляющие стоимости проектов .....	117
6.3. Цена денег во времени и метод текущей стоимости .....	119
6.4. Амортизация .....	124
6.5. Экономическая оценка инвестиционных проектов .....	128
6.6. Экономическая оценка замены оборудования .....	133
6.7. Анализ неопределенности при экономической оценке .....	135
6.8. Выводы .....	137
<b>7. Данные при вероятностном планировании передачи</b> .....	139
7.1. Введение .....	139
7.2. Данные для анализа энергосистемы .....	139
7.3. Данные по надежности при вероятностном планировании .....	151

7.4. Другие данные	162
7.5. Выводы	164
<b>8. Нечеткие методики при неопределенности данных</b>	<b>166</b>
8.1. Введение	166
8.2. Нечеткие модели отключений компонентов системы	167
8.3. Смешанные нечеткие и вероятностные модели для нагрузок	174
8.4. Объединенные вероятностные и нечеткие методики	175
8.5. Пример 1: Исследование случая, не рассматривающего влияния погоды	179
8.6. Пример 2: Исследование случая, рассматривающего погодные влияния	183
8.7. Выводы	191
<b>9. Планирование усиления сети</b>	<b>193</b>
9.1. Введение	193
9.2. Вероятностное планирование объединенной системы электроснабжения	193
9.3. Вероятностное планирование кольцевой сети передачи	202
9.4. Выводы	213
<b>10. Планирование вывода из эксплуатации компонентов сети</b>	<b>214</b>
10.1. Введение	214
10.2. Определение времени вывода из эксплуатации старого кабеля переменного тока	215
10.3. Стратегия замены кабеля постоянного тока высокого напряжения	223
10.4. Выводы	232
<b>11. Планирование подстанции</b>	<b>233</b>
11.1. Введение	233
11.2. Вероятностное планирование конфигурации подстанции	234
11.3. Планирование резерва трансформаторов	244
11.4. Выводы	252
<b>12. Планирование одноцепной системы электроснабжения</b>	<b>253</b>
12.1. Введение	253
12.2. Характеристика надежности одноцепных систем электроснабжения	254
12.3. Метод планирования одноцепных систем электроснабжения	257
12.4. Приложение к системе реальной компании	266
12.5. Выводы	276
<b>Приложение А: Элементы теории вероятностей и статистики</b>	<b>277</b>
<b>Приложение В: Элементы нечеткой математики</b>	<b>284</b>
<b>Приложение С: Элементы расчета надежности</b>	<b>289</b>
<b>Литература</b>	<b>296</b>
<b>Сокращения</b>	<b>304</b>