CONCEPT

التوزيع الاقتصادي للأحمال وجدولة وحدات التوليد: نمذجة التكاليف والتحسين الرياضي

التوزيع الاقتصادي للأحمال وجدولة وحدات التوليد: نمذجة التكاليف والتحسين الرياضي

مقدمة:

تؤدي قرارات التوزيع الاقتصادي للأحمال وجدولة وحدات التوليد المبنية على جداول ترتيب تقريبية ومنحنيات معدل حراري قديمة وهوامش احتياطي تحدد يدويا إلى هدر الوقود وتحميل الوحدات تكاليف بدء غير ضرورية وتعريض الشبكة للخطر حين لا تكفي قدرة التغير في الإنتاج. تعد هذه الدورة من كور كونسبت مشغلي الأنظمة ومخططي التوليد ومهندسي المرافق الكهربائية لنمذجة تكاليف المولدات، وحل التوزيع بطريقة تكرار لامدا مع مفاقيد النقل، وصياغة جدولة الوحدات بقيود الاحتياطي ومعدلات التغير وأدنى أزمنة التشغيل والإيقاف، وجدولة الطاقة المتجددة والتخزين. ويعد المشاركون جدول تشغيل الوحدات وتوزيع الأحمال لليوم التالي لأسطول توليد نموذجي.

أهداف الدورة:

- بناء منحنيات المدخلات والمخرجات والمعدل الحراري والتكلفة التفاضلية للمولدات من بيانات اختبار الوحدات وترتيب الوحدات حسب الجدارة الاقتصادية
- حل مسألة التوزيع الاقتصادي بطريقة تكرار لامدا مع حدود الوحدات وتوسيعها إلى التوزيع المنسق مع المفاقيد باستخدام معاملات B ومعاملات الجزاء
- صياغة مسألة جدولة تشغيل الوحدات وحلها مع تكاليف البدء والاحتياطي ومعدلات التغير وأدنى أزمنة التشغيل والإيقاف بطرق قائمة الأولويات والبرمجة الديناميكية وMILP
- تطبيق مفاهيم التوزيع المقيد بأمن الشبكة والتدفق الأمثل للقدرة لإبقاء الجداول ضمن حدود تدفق الخطوط وحالات الطوارئ
- جدولة التوليد المائي والتخزين والطاقة المتجددة المتغيرة ضمن تشغيل اليوم التالي والتشغيل الفوري في ظل عدم يقين التنبؤ
- قياس أداء الجدول مقارنة بالتوزيع الفعلي وتسليم جدول تشغيل الوحدات وتوزيع الأحمال لليوم التالي

الفئة المستهدفة:

- موظفو تشغيل النظام المسؤولون عن توزيع التوليد الفوري وتفعيل الاحتياطي في مراكز التحكم
- موظفو تخطيط التوليد المسؤولون عن جدولة الوحدات لليوم التالي والأسبوع التالي وتنسيق فترات الإخراج من الخدمة
- مهندسو أنظمة القدرة في المرافق المسؤولون عن دراسات التوزيع وتحليل المفاقيد وفحص قيود الشبكة
- موظفو أداء المحطات المسؤولون عن اختبارات المعدل الحراري وبيانات تكلفة المولدات المقدمة لفرق الجدولة
- موظفو دعم أنظمة إدارة الطاقة المسؤولون عن برمجيات الجدولة ونماذجها وبيانات الإدخال
- موظفو دمج الطاقة المتجددة والتخزين المسؤولون عن مدخلات التنبؤ والمرونة في جداول التشغيل

محاور الدورة:

اليوم 1: نمذجة تكاليف التوليد والآفاق الزمنية للجدولة

- منحنيات المدخلات والمخرجات والمعدل الحراري والمعدل الحراري التفاضلي من بيانات اختبار الوحدات
- مكونات تكلفة الوقود والتشغيل والصيانة المتغيرة وتكلفة التشغيل دون حمل
- مواءمة منحنيات التكلفة التربيعية والخطية المجزأة في جدول بيانات
- آفاق الجدولة: الأسبوع التالي واليوم التالي وخلال اليوم والتوزيع الفوري
- بناء ترتيب الجدارة الاقتصادية من متوسط التكلفة والتكلفة التفاضلية للوحدات

اليوم 2: التوزيع الاقتصادي التقليدي ومبدأ تساوي التكلفة التفاضلية

- معيار تساوي التكلفة التفاضلية وصياغة مضاعف لاغرانج
- طريقة تكرار لامدا مع الحدين الأدنى والأعلى للمولدات
- طريقة نقطة الأساس ومعاملات المشاركة عند تغير الأحمال
- طرق التدرج ونيوتن لتقارب حل التوزيع
- مثال محلول لتوزيع لامدا على أسطول حراري من خمس وحدات

اليوم 3: التوزيع المنسق مع المفاقيد وخصائص التكلفة غير المثالية

- تمثيل مفاقيد النقل بصيغة معاملات B للمفاقيد
- معاملات الجزاء وحساب المفاقيد التفاضلية للنقل
- معادلات التنسيق لتكرار لامدا مع احتساب المفاقيد
- مناطق التشغيل المحظورة وأثر تحميل نقاط الصمامات
- التوزيع البيئي بدالة هدف مرجحة بالانبعاثات والوحدات محدودة الوقود

اليوم 4: قيود جدولة تشغيل الوحدات وأساليب الحل التقليدية

- متغيرات قرار الجدولة: حالة التشغيل والإيقاف ومؤشرات البدء والإيقاف
- منحنيات تكلفة البدء الساخن والدافئ والبارد وتكاليف الإيقاف
- أدنى أزمنة التشغيل والإيقاف وحدود معدلات التغير والوحدات واجبة التشغيل
- طريقة قائمة الأولويات بمتوسط تكلفة الإنتاج عند الحمل الكامل
- البرمجة الديناميكية الأمامية لجدولة الوحدات على أفق 24 ساعة

اليوم 5: دراسة حالة موجهة: الجدولة بقائمة الأولويات والتوزيع الساعي

- حزمة بيانات الحالة: منحنيات تكلفة أسطول حراري من عشر وحدات وتنبؤ الأحمال الساعي
- جدول تشغيل بقائمة الأولويات مع فحص هامش الاحتياطي الدوار
- توزيع لامدا الساعي مع مفاقيد معاملات B ودونها
- نموذج Excel Solver أداة الحل في جداول البيانات للتوزيع الاقتصادي المقيد
- مراجعة الأسبوع الأول: تكلفة الإنتاج والوحدة الحدية وحساسية الجدول

اليوم 6: صيغ التحسين والتنسيق المائي الحراري والتخزين

- صياغة جدولة الوحدات بالبرمجة الخطية الصحيحة المختلطة MILP
- مسألة الإرخاء اللاغرانجي الثنائية وتحديث المضاعفات بالتدرج الجزئي
- نظرة على التحسين بلغة Python مع Pyomo وPuLP وأدوات الحل مفتوحة المصدر
- نظرة على التنسيق المائي الحراري: قيمة المياه وحدود طاقة الخزانات
- جدولة الشحن والتفريغ للتخزين بالضخ وأنظمة تخزين الطاقة بالبطاريات

اليوم 7: الاحتياطي والتوزيع المقيد بأمن الشبكة والتدفق الأمثل للقدرة

- متطلبات الاحتياطي الدوار وغير الدوار واحتياطي التشغيل وتوزيعها
- التقريب الخطي لتدفق القدرة DC وحدود تدفق الخطوط في التوزيع
- التوزيع الاقتصادي المقيد بأمن الشبكة مع حدود الطوارئ N-1
- دالة هدف التدفق الأمثل للقدرة ومتغيرات التحكم ومجموعة القيود
- جدولة الوحدات المقيدة بأمن الشبكة وفحوص قابلية تنفيذ الجدول

اليوم 8: تغير إنتاج الطاقة المتجددة وعدم يقين التنبؤ والتنسيق التشغيلي

- منحنيات صافي الحمل وانخفاضه وقت الظهيرة بسبب الطاقة الشمسية ومتطلبات صعود المساء
- الجدولة القائمة على السيناريوهات والجدولة المتينة لأخطاء تنبؤ الرياح والطاقة الشمسية
- قرارات تقليص إنتاج المتجددة وتحديد حجم احتياطي المرونة
- الانتقال من جدول اليوم التالي إلى التشغيل الفوري: إعادة الجدولة خلال اليوم وأوامر التوزيع
- بروتوكولات التنسيق بين مشغل النظام والمولدين وموردي الوقود

اليوم 9: مؤشرات أداء الجدولة والتحسين المستمر

- تحليل انحراف تكلفة الإنتاج: التوزيع المجدول مقابل الفعلي
- تتبع انحراف المعدل الحراري وإعادة معايرة منحنيات التكلفة
- مقاييس خطأ تنبؤ الأحمال: متوسط نسبة الخطأ المطلق والانحياز
- مؤشرات عدد مرات البدء وكفاية معدلات التغير وعجز الاحتياطي
- نموذج مراجعة ما بعد التوزيع والمقارنة المرجعية لممارسات الجدولة

اليوم 10: المشروع الختامي: جدول تشغيل الوحدات وتوزيع الأحمال لليوم التالي لأسطول نموذجي

- عرض المشروع الختامي: أسطول حراري ومتجدد وتخزين مع طلب ساعي
- بناء نموذج جدولة MILP في Excel Solver أو Python
- التوزيع الساعي مع المفاقيد وحدود معدلات التغير وتوزيع الاحتياطي
- تحليلات الحساسية لخطأ التنبؤ وخروج وحدة وتغير سعر الوقود
- عرض جدول تشغيل الوحدات وتوزيع الأحمال لليوم التالي ومناقشته مع الزملاء

المهارات التي ستكتسبها:

- نمذجة منحنيات تكلفة المولدات
- ترتيب الجدارة الاقتصادية
- التوزيع المنسق مع المفاقيد
- تحسين جدولة تشغيل الوحدات
- معالجة قيود الاحتياطي ومعدلات التغير
- الجدولة المقيدة بأمن الشبكة
- جدولة الطاقة المتجددة والتخزين
- تحليل أداء التوزيع

لماذا تحضر هذه الدورة:

- العودة بجدول تشغيل الوحدات وتوزيع الأحمال لليوم التالي بعد بنائه واختباره على أسطول نموذجي وجاهز للتكييف مع وحداتك
- شرح أسباب تشغيل وحدة أو إبقائها احتياطيا أو إيقافها وتكلفة ذلك للإدارة وموظفي المحطات
- الانتقال من القواعد التقريبية في جداول البيانات إلى نماذج تحسين قابلة للتدقيق وإعادة التشغيل والتطوير
- مقارنة ممارسات الجدولة مع مشغلين ومخططين من المرافق والمولدين المستقلين وأنظمة القدرة الصناعية

الخاتمة:

تقوم جدولة التوليد على منحنيات تكلفة دقيقة ورياضيات توزيع سليمة وقرارات تشغيل تحترم كل حدود الوحدات والشبكة. يبني الأسبوع الأول هذا الأساس عبر نمذجة التكاليف وتكرار لامدا وتنسيق المفاقيد والجدولة بقائمة الأولويات والبرمجة الديناميكية ودراسة حالة موجهة. ويضيف الأسبوع الثاني ما تتركه الدورات القصيرة: طرق MILP والإرخاء اللاغرانجي، والتوليد المائي والتخزين، والاحتياطي، والتوزيع المقيد بأمن الشبكة، وعدم يقين المتجددة، ومراجعة الأداء. ويخرج اليوم الأخير بجدول تشغيل الوحدات وتوزيع الأحمال لليوم التالي يعرض للنقاش مع الزملاء.