JUPITER PRIME

Consulting • Training • Advisory

جوبيتر برايم للاستشارات والتدريب

كتيّب الدورة

# دورة ديناميكا الأعمدة الدوارة والسرعة الحرجة والاتزان الميداني

info@jupiterprime.uk

**jupiterprime.uk**

مسجّلة في المملكة المتحدة والمملكة العربية السعودية

## دورة ديناميكا الأعمدة الدوارة والسرعة الحرجة والاتزان الميداني

دورة ديناميكا الأعمدة الدوارة والسرعة الحرجة والاتزان الميداني دورة تدريبية مدتها أسبوع للمهندسين المتخصصين في الآلات الدوارة والموثوقية وتحليل الاهتزازات، يطور فيها كل مشارك ملف التقييم الديناميكي للدوار للتحقق من هوامش التشغيل الآمن للآلات التوربينية ومعدات المعالجة الحرجة. وتفرض التحديات التشغيلية المتزايدة حماية المنظومات الميكانيكية من أخطار الرنين واختلال الاستقرار الهيدروديناميكي لضمان جاهزية المنشآت وتجنب التوقفات الفجائية. وتقدم جوبيتر برايم للتدريب هذا المسار لترسيخ المعايير الهندسية الصارمة في تشخيص حركة الأعمدة وموازنتها بدقة.

## لماذا يهم ديناميكا الأعمدة الدوارة والسرعة الحرجة والاتزان الميداني الآن

تخضع الآلات الصناعية لمتطلبات إنتاجية مكثفة تستلزم سرعات دورانية مرتفعة وهوامش تسامح ضيقة، مما يرفع احتمالات الإجهاد الميكانيكي وتدهور المحامل وعناصر الإحكام عند حدوث اهتزازات غير منضبطة. ويؤدي القصور في التمييز بين عيوب التوازن وظواهر عدم الاستقرار المائعي إلى قرارات صيانة غير دقيقة تكبد المنشآت خسائر تشغيلية متراكمة. وترتكز هذه الدورة على معايير دولية حاكمة تشمل معيار معهد البترول الأمريكي API RP 684 المعني بديناميكا الآلات ومعيار API Standard 670 لنظم الحماية ومعايير المنظمة الدولية للتوحيد القياسي ISO 20816-3:2022 لتقييم الاهتزازات وISO 21940-11:2016 لمواصفات اتزان الدوارات، مما يمكن الفرق من اتخاذ تدابير استباقية تستند إلى أسس تحليلية معتمدة.

## المستفيدون من ديناميكا الأعمدة الدوارة والسرعة الحرجة والاتزان الميداني

- المسؤولون عن مراجعة تصاميم المعدات الدوارة واعتماد الحسابات الديناميكية للموردين قبل الشراء والتشغيل الميداني.
- المكلفون بمراقبة الحالة الميكانيكية وقياس مستويات الاهتزاز وتحليل مسارات مدارات الحركة للأعمدة الصناعية.
- المختصون بصيانة التوربينات والمضخات والضواغط وتنفيذ عمليات الموازنة الاستاتيكية والديناميكية في الورشة والموقع.
- المشرفون على هندسة الموثوقية وسلامة الأصول لتقليل فترات التوقف ومعالجة الإجهادات المتكررة على كراسي التحميل.

تحقق المجموعات الفنية المتكاملة التي تجمع مهندسي الصيانة الميكانيكية ومحللي الاهتزازات ومهندسي الموثوقية أعلى فائدة مشتركة عند الحضور معا لتوحيد أساليب الفحص الميداني وتنسيق خطط الموازنة الوقائية.

## قدرات ديناميكا الأعمدة الدوارة والسرعة الحرجة والاتزان الميداني

يرسخ هذا البرنامج مجموعة من المعارف التطبيقية والمهارات الهندسية الموجهة لاتخاذ قرارات تشغيلية حاسمة تحافظ على استقرار المعدات.

- حساب الترددات الطبيعية الجانبية والالتوائية — تقييم مطابقة سرعات التشغيل لهوامش الفصل التصميمية المعتمدة
- تقييم معاملات الصلابة والتخميد في المحامل المائعية — تحديد عتبات استقرار الدوار ضد قوى الدوامة الهيدروديناميكية
- تصميم نماذج الكتل المرنة للأنظمة الدوارة — حماية وصلات الاقتران من إجهادات عزم الدوران العابر أثناء الإقلاع
- تفسير مخططات المدار ومركز حركة العمود — التمييز بين عدم الاتزان الميكانيكي وعدم المحاذاة والاحتكاك الداخلي
- حساب أوزان وزوايا التصحيح لمستويات موازنة متعددة — خفض سعة الاهتزاز المتبقية إلى الحدود المسموح بها نظاميا
- تدقيق نتائج اختبارات القبول المصنعية للدوارات — التحقق من حساسية استجابة الدوار قبل شحنه وتركيبه في الموقع

## مصطلحات ديناميكا الأعمدة الدوارة والسرعة الحرجة والاتزان الميداني الأساسية

- السرعة الحرجة — سرعة دورانية يتطابق عندها تردد دوران العمود مع تردده الطبيعي مما يسبب تضخما كبيرا في سعة الاهتزاز.
- مخطط كامبل — رسم بياني يوضح تغير الترددات الطبيعية للدوار بتغير سرعة الدوران لتحديد نقاط التقاطع المسببة للرنين.
- مخطط المدار — مسار بياني ثنائي البعد لحركة مركز العمود داخل الخلوص الشعاعي للمحمل مسجل بمجسين متعامدين.
- دوامة الزيت — ظاهرة عدم استقرار هيدروديناميكي تحدث في المحامل المائعية عند تردد يقل عن نصف سرعة دوران العمود.
- الاتزان الميداني — عملية موازنة الدوار في بيئة تشغيله الحقيقية دون تفكيكه باستخدام أوزان تصحيحية مدروسة.
- عامل التخميد اللوغاريتمي — مقياس رقمي يحدد معدل اضمحلال الاهتزاز ومستوى استقرار المنظومة الديناميكية ضد القوى غير المستقرة.

## ديناميكا الأعمدة الدوارة والسرعة الحرجة والاتزان الميداني يوما بيوم

### اليوم 1: أساسيات ديناميكا الأعمدة الجانبية ورسم خرائط السرعات الحرجة

- نمذجة العناصر المحددة لجسور تيموشينكو — تقسيم هندسة العمود لتقييم الاستجابة الديناميكية الجانبية بدقة
- خرائط السرعة الحرجة غير المخمدة — تقييم تأثير صلابة نقاط الدعم على الترددات الطبيعية للدوار
- مخططات تداخل كامبل — تحديد تقاطعات الرنين عبر نطاقات سرعات التشغيل المختلفة للمعدات
- معايير هوامش الفصل وفق API RP 684 — التحقق من هوامش الخلوص الآمنة للآلات التوربينية متغيرة السرعة
- تصور أشكال أنماط انحناء العمود — تحديد مواقع العقد ومستويات التثبيت المثلى لمجسات القياس الشعاعية

### اليوم 2: استقرار الدوار وديناميكا المحامل وميكانيكا طبقة التزييت المائعية

- المعاملات الديناميكية لمحامل الأحذية المائلة — حساب مصفوفات الصلابة الاتجاهية والتخميد لطبقة التزييت
- تقييم الصلابة الديناميكية الهوائية المتقاطعة — تقدير القوى المزعزعة للاستقرار في الدفاعات الطاردة المركزية عالية الضغط
- عتبات الاستقرار عبر التناقص اللوغاريتمي — تحديد هوامش القيم الذاتية المخمدة تحت ظروف كثافة الغاز المتباينة
- تشخيص دوامة وسوط الزيت دون التزامني — تمييز حالات عدم الاستقرار التزييتي عن حالات الرنين الهيكلي
- موانع التسرب ذات التخميد الغازي والسائلي — تعزيز الاستقرار الديناميكي في التطبيقات ذات فروق الضغط المرتفعة

### اليوم 3: الديناميكا الالتوائية وتحليل رنين مسار القيادة الميكانيكية

- نمذجة المرونة الكتلية المجمعة — صياغة مصفوفات عزم القصور الذاتي والصلابة الالتوائية لمحاور الحركة
- حسابات التردد الطبيعي الالتوائي — مطابقة الرنين الزاوي للعمود مع الترددات التوافقية لوحدات الإدارة
- مخططات كامبل للإثارات الالتوائية — تقييم التوافقات الكهربائية وتداخلات الآلات الترددية مع مسار التدوير
- محاكاة عزم دوران بدء التشغيل العابر — تقييم تراكم الإجهادات القصوى في وصلات الاقتران أثناء تسارع المحركات
- اختيار مخمدات الاهتزاز الالتوائي — تخفيف إجهادات الرنين الزاوي في مجموعات التدوير المقترنة ميكانيكيا

## اليوم 4: طرق تشخيص الاهتزاز ومعالجة الإشارات

- ترتيب مجسات الإزاحة الشعاعية وفق API Standard 670 — ضبط التوجيه المتعامد القياسي لمجسات مراقبة العمود
- تحليل مدار الحركة ومسار مركز العمود — تحديد أنماط الحركة المدارية وإزاحة نقطة التوازن السكوني للمحور
- مخططات استجابة بودي ونايكويست القطبية — قياس عوامل تضخيم السرعة الحرجة أثناء فترات التباطؤ والتوقف
- تقييم المخططات الشلالية كاملة الطيف — تتبع مسارات الترددات دون التوافقية وفوق التوافقية مع تغير السرعة
- معايير النطاق العريض وفق ISO 20816-3:2022 — تصنيف مناطق شدة الاهتزاز التشغيلي عبر فئات الآلات الصناعية

## اليوم 5: ممارسة الاتزان الديناميكي وقبول المعدات

- طرق تحليل عدم الاتزان الاستاتيكي والازدواجي — فصل متجهات اللاتوازن الديناميكي إلى مركبات مستقلة
- الموازنة متعددة المستويات بمعامل التأثير — حساب كتل التصحيح للأعمدة المرنة العاملة فوق السرعة الحرجة الأولى
- التحقق من عدم الاتزان المتبقي وفق ISO 21940-11:2016 — تحديد قيم اللاتوازن المتبقي المسموح بها لدرجات جودة الاتزان
- تدقيق اختبارات القبول المصنعية للموردين — مطابقة حساسية الاستجابة لعدم الاتزان مع الحسابات التصميمية
- ملف التقييم الديناميكي للدوار — توحيد نتائج الاستقرار الجانبي وحسابات الموازنة وقوائم التشخيص الميداني

## تطبيق ديناميكا الأعمدة الدوارة والسرعة الحرجة والاتزان الميداني بعد الدورة

- مراجعة تقارير السرعات الحرجة وهوامش الفصل للمعدات الدوارة الحيوية ومقارنتها بسجلات الاهتزاز الميدانية المسجلة أثناء بدء التشغيل.
- تطبيق حسابات معامل التأثير لتنفيذ موازنة ميدانية على مستويين لإحدى الآلات التي تعاني من ارتفاع مركبة الاهتزاز التوافقية الأولى.

## أسئلة حول ديناميكا الأعمدة الدوارة والسرعة الحرجة والاتزان الميداني

### ما ديناميكا الأعمدة الدوارة والسرعة الحرجة والاتزان الميداني ولماذا تهم الآن؟

هي دراسة السلوك الحركي للأعمدة وتحديد سرعات الرنين ومعالجة اختلال توازن الكتل أثناء الدوران. وتبرز أهميتها اليوم لتزايد الضغوط التشغيلية على المعدات التوربينية، مما يتطلب ضبط استقرار الأعمدة وتفادي الإجهادات الميكانيكية المسببة للتوقفات المكلفة.

## ما الأدوار التي تحقق أعلى استفادة من ديناميكا الأعمدة الدوارة والسرعة الحرجة والاتزان الميداني؟

تستفيد منها الكوادر الهندسية المسؤولة عن سلامة وموثوقية المعدات الدوارة، ومهندسو الصيانة الميكانيكية القائمون على أعمال الفحص والاتزان، ومحللو الاهتزازات الصناعية المعنيون بمراقبة المؤشرات التشغيلية للمنظومات الميكانيكية المعقدة.

## كيف تختلف هذه الدورة عن دورات تحليل الاهتزازات العامة؟

تركز دورات الاهتزاز العامة على قياس الترددات السطحية على هياكل المحامل، بينما تتعمق هذه الدورة في ميكانيكا حركة العمود المباشرة، وسلوك طبقة التزييت في المحامل، وحسابات الاستقرار الديناميكي، والموازنة الميدانية متعددة المستويات للأعمدة المرنة.

## ما المخرج العملي الذي يعود به المشارك إلى منشأته؟

يعود المشارك بنموذج تطبيقي يمثل ملف التقييم الديناميكي للدوار، متضمنا خطوات مراجعة هوامش الفصل، وتقييم استقرار طبقة التزييت، ومعايير حساب أوزان الاتزان، وإجراءات تدقيق اختبارات القبول المعتمدة للمعدات الدوارة.

## ديناميكا الأعمدة الدوارة والسرعة الحرجة والاتزان الميداني: الطريق إلى الأمام

يشكل ملف التقييم الديناميكي للدوار المرجع المعتمد لاتخاذ قرارات الصيانة الوقائية وقبول المعدات الجديدة قبل دمجها في خطوط الإنتاج. وتعتمد الفرق الفنية عليه لمعايرة أجهزة مراقبة الاهتزازات وتحديد إجراءات الاتزان الميداني السريعة. ويتطلب استمرار فاعليته تحديث مصفوفات الاستجابة الديناميكية بانتظام بعد كل عمرة رئيسية لضمان موثوقية الأصول التشغيلية.