




DỰ ÁN THÚC ĐẨY TIẾT KIỆM NĂNG LƯỢNG TRONG
CÁC NGÀNH CÔNG NGHIỆP VIỆT NAM

CẨM NANG CÔNG NGHỆ HIỆU QUẢ NĂNG LƯỢNG CHO HỆ THỐNG LÒ CÔNG NGHIỆP



NHÀ XUẤT BẢN
CÔNG THƯƠNG

CẨM NANG CÔNG NGHỆ
HIỆU QUẢ NĂNG LƯỢNG CHO HỆ THỐNG
LÒ CÔNG NGHIỆP



Cẩm nang Công nghệ Hiệu quả Năng lượng cho Hệ thống LÒ CÔNG NGHIỆP

Bản quyền thuộc về Dự án Thúc đẩy Tiết kiệm Năng lượng trong các ngành Công nghiệp Việt Nam (VSUEE).


Mọi sự sao chép và lưu hành không được sự đồng ý của Dự án Thúc đẩy Tiết kiệm Năng lượng trong các ngành Công nghiệp Việt Nam (VSUEE) là vi phạm bản quyền.

Tuyên bố miễn trừ trách nhiệm

Những nội dung, diễn giải và hình ảnh trong cuốn sách này thể hiện quan điểm của (các) tác giả và không nhất thiết đại diện cho quan điểm của World Bank hay Bộ Công Thương. Những tổ chức này từ chối chịu trách nhiệm pháp lý đối với việc sử dụng, sử dụng không chính xác và không đầy đủ tài liệu này bởi các cá nhân và tổ chức, cũng như bất kỳ tổn thất nào là kết quả của hành động đó.

Nhóm biên soạn

Dự án Thúc đẩy Tiết kiệm Năng lượng trong các ngành Công nghiệp Việt Nam (VSUEE) và Công ty Cổ phần Giải pháp Công nghệ Việt Nam (VETS).



Dự án Thúc đẩy Tiết kiệm Năng lượng
trong các ngành Công nghiệp Việt Nam (VSUEE)

CẨM NANG CÔNG NGHỆ
HIỆU QUẢ NĂNG LƯỢNG CHO HỆ THỐNG
LÒ CÔNG NGHIỆP

NHÀ XUẤT BẢN CÔNG THƯƠNG



CẨM NANG CÔNG NGHỆ
HIỆU QUẢ NĂNG LƯỢNG CHO HỆ THỐNG
LÒ CÔNG NGHIỆP

MỤC LỤC

DANH MỤC HÌNH ẢNH	7
DANH MỤC TỪ VIẾT TẮT.....	8
LỜI MỞ ĐẦU	10
CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VỀ CÔNG NGHỆ Lò CÔNG NGHIỆP.....	12
1.1 Tổng quan về công nghệ	12
1.2 Phân loại công nghệ	14
1.2.1 Phân loại theo cấu trúc và cơ chế vận hành.....	14
1.2.2 Phân loại theo công nghệ sinh nhiệt (phương thức tạo và truyền nhiệt)	15
1.3 Cấu hình điển hình và hệ thống phụ trợ.....	16
1.4 Xu hướng công nghệ tiên tiến.....	18
1.5 Ứng dụng trong các ngành công nghiệp.....	18
CHƯƠNG 2. CÁC GIẢI PHÁP TIẾT KIỂM NĂNG LƯỢNG	21
2.1 Sàng lọc nhanh các giải pháp TKNL.....	21
2.2 Các giải pháp/công nghệ TKNL đối với lò công nghiệp	22
2.2.1 Tối ưu quá trình đốt và điều khiển (nâng cấp đầu đốt; phân phối không khí cháy; điều chỉnh oxy dư tự động; tự động hóa và giám sát tập trung bằng SCADA)	23
2.2.2 Thu hồi nhiệt thải	26
2.2.3 Nâng cấp cách nhiệt & lớp lót chịu lửa	30
2.2.4 Số hóa & giám sát	32
2.2.5 Chuyển đổi nhiên liệu	33
2.2.6 Tích hợp nhiệt & cân bằng năng lượng.....	37
2.2.7 Vận hành – bảo trì chuẩn hóa	39
2.3 Lợi ích của công nghệ tiết kiệm năng lượng.....	41
2.3.1 Lợi ích kỹ thuật – vận hành	42
2.3.2 Lợi ích kinh tế – tài chính.....	43
2.3.3 Lợi ích môi trường – xã hội và tuân thủ.....	47
2.4 Đánh giá tính khả thi áp dụng công nghệ lò công nghiệp TKNL	50
2.4.1 Mặt bằng – công nghệ hiện hữu.....	50

2.4.2	Hệ thống cấp nhiên liệu – không khí	51
2.4.3	Xử lý khí thải – môi trường.....	51
2.4.4	Đồng bộ dây chuyền – ảnh hưởng công nghệ	52
2.4.5	Điều khiển – đo lường.....	52
2.4.6	Tương thích vật liệu chịu lửa – lớp cách nhiệt	53
2.4.7	Tiêu chí đánh giá kỹ thuật và thử nghiệm	53
2.4.8	Rủi ro điển hình & biện pháp kiểm soát.....	53
2.5	Phân loại doanh nghiệp phù hợp ứng dụng công nghệ.....	55
2.5.1	Theo quy mô và năng lực đầu tư	55
2.5.2	Theo hiện trạng hệ thống lò	55
2.5.3	Theo mô thức vận hành quy trình	56
2.5.4	Theo yêu cầu chất lượng sản phẩm.....	56
2.5.5	Theo ràng buộc pháp lý – môi trường	56
2.5.6	Theo sẵn có nhiên liệu và hạ tầng năng lượng	57
2.5.7	Theo mức sẵn sàng tổ chức – nhân lực.....	57
2.6	Rào cản và giải pháp hỗ trợ.....	58
2.6.1	Rào cản về kỹ thuật.....	58
2.6.2	Rào cản chi phí đầu tư	59
2.6.3	Rào cản thông tin – đo lường.....	59
2.6.4	Rào cản thời gian dừng máy & rủi ro ảnh hưởng chất lượng.....	60
2.6.5	Rào cản thị trường – chuỗi cung ứng.....	60
2.6.6	Rào cản chính sách – thể chế.....	60
CHƯƠNG 3. ỨNG DỤNG THỰC TẾ VÀ NGHIÊN CỨU ĐIỂN HÌNH		63
3.1	Ứng dụng thực tế tại Việt Nam	63
3.1.1	Ứng dụng công nghệ thu hồi nhiệt thải để phát điện trong ngành xi măng 63	
3.1.2	Đầu tư lò tuy-nen di động tại Công ty TNHH Gạch tuy-nen Tiên Hưng (Bắc Giang).....	65
3.2	Nghiên cứu điển hình quốc tế.....	67
3.2.1	Đầu đốt tái sinh cho lò nung lại thép (Thái Lan)	67

3.2.2	Cải tạo lò nung lại phôi thép bằng buồng đốt tái sinh (Regenerative Burner Combustion System – RBCS), Indonesia.....	70
3.2.3	Heat wheel thu hồi nhiệt cho lò tuy-nen gốm – sứ (Ấn Độ)	72
3.2.4	Lò nấu thủy tinh oxy–fuel kết hợp điện tăng cường (Şişecam – Thổ Nhĩ Kỳ)	75

CHƯƠNG 4. DANH SÁCH NHÀ CUNG CẤP CÔNG NGHỆ 79

4.1	Nhà cung cấp trong nước	79
4.2	Nhà cung cấp quốc tế	85
4.3	Đánh giá năng lực nhà cung cấp	88

CHƯƠNG 5. HƯỚNG DẪN TRIỂN KHAI VÀ QUY ĐỊNH LIÊN QUAN 92

5.1	Tiêu chí lựa chọn và mua sắm thiết bị	92
5.1.1	Thông số kỹ thuật cần lưu ý	92
5.1.2	Tiêu chí bảo đảm hiệu suất	93
5.1.3	Yêu cầu nghiệm thu – chạy thử	94
5.2	Các cân nhắc kỹ thuật & an toàn khi ứng dụng công nghệ.....	95
5.2.1	Rủi ro kỹ thuật và an toàn.....	96
5.2.2	Các yêu cầu về an toàn khi ứng dụng công nghệ	97
5.2.3	Bảo trì định kỳ và quản lý toàn vòng đời thiết bị.....	97
5.2.4	Ứng phó sự cố và tình huống khẩn cấp	98
5.3	Quy trình đo lường, xác minh hiệu quả tiết kiệm năng lượng.....	99
5.3.1	Mục tiêu và phạm vi đo lường – xác minh	99
5.3.2	Quy trình đo lường và xác minh	99
5.3.3	Bộ chỉ tiêu đánh giá hiệu quả tiết kiệm năng lượng.....	105
5.3.4	Tổ chức thực hiện và báo cáo	106
5.4	Công cụ hỗ trợ đánh giá	107
5.4.1	Phần mềm mô phỏng nhiệt – năng lượng	107
5.4.2	Biểu mẫu đánh giá định lượng và định tính	109
5.5	Các quy định pháp lý và tiêu chuẩn áp dụng	110
5.5.1	Quy định về hiệu suất thiết bị nhiệt và quản lý năng lượng.....	111
5.5.2	Quy chuẩn về khí thải công nghiệp và môi trường	111
5.5.3	Tiêu chuẩn an toàn cho lò công nghiệp.....	112

5.5.4	Tiêu chuẩn quốc tế về thiết bị đốt và xử lý khí	113
5.5.5	Hướng dẫn triển khai trong doanh nghiệp.....	113
TÀI LIỆU THAM KHẢO		115
PHỤ LỤC		117
7.1	Thang Mức độ sẵn sàng công nghệ (TRL)	117
7.2	Danh mục kiểm tra an toàn và hiệu quả khi vận hành, bảo trì bảo dưỡng các thiết bị, công nghệ TKNL trong lò công nghiệp.....	117

DANH MỤC BẢNG BIỂU

Bảng 1 Ứng dụng công nghệ TKNL lò công nghiệp trong các ngành công nghiệp	19
Bảng 2 Bộ thông tin tối thiểu cần thu thập.....	21
Bảng 3. Đánh giá nhanh mức độ trưởng thành và khả năng áp dụng tại Việt Nam (Nhóm tối ưu cháy và điều khiển)	25
Bảng 4. Đánh giá nhanh mức độ trưởng thành và khả năng áp dụng tại Việt Nam (Nhóm thu hồi nhiệt thải)	28
Bảng 5. Đánh giá nhanh mức độ trưởng thành và khả năng áp dụng tại Việt Nam (Nhóm cách nhiệt & lớp lót chịu lửa)	31
Bảng 6. Đánh giá nhanh mức độ trưởng thành và khả năng áp dụng tại Việt Nam (Nhóm chuyển đổi nhiên liệu).....	35
Bảng 7. Đánh giá nhanh mức độ trưởng thành và khả năng áp dụng tại Việt Nam (Nhóm tích hợp nhiệt & cân bằng năng lượng)	38
Bảng 8. Các thông số lợi ích kinh tế - tài chính của các nhóm công nghệ tiết kiệm năng lượng của lò công nghiệp.....	44
Bảng 9. Mức chi phí đầu tư ước tính	46
Bảng 10. Tổng hợp lợi ích môi trường - xã hội và tuân thủ.....	49
Bảng 11. Tổng hợp tiêu chí đánh giá tính khả thi kỹ thuật	54
Bảng 12. Thứ tự ưu tiên triển khai các giải pháp, công nghệ TKNL	57
Bảng 13. Tổng hợp rào cản và nhu cầu hỗ trợ	61
Bảng 7. Tổng hợp thông tin về dự án thu hồi nhiệt thải phát điện tại công ty CP xi măng Tân Thắng.....	64
Bảng 15. Tổng hợp thông tin về giải pháp điển hình đầu tư lò tuy-nen di động ..	66
Bảng 16 Danh sách các nhà cung cấp công nghệ lò công nghiệp trong nước ...	81
Bảng 17. Danh mục các nhà cung cấp lò công nghiệp quốc tế.....	86

DANH MỤC HÌNH ẢNH

Hình 1. Một số loại lò công nghiệp.....	12
Hình 2. Sơ đồ năng lượng trong một nhà máy sản xuất thép điển hình	13
Hình 3 Cấu hình điển hình của một lò công nghiệp	16
Hình 3. Hệ thống thu hồi nhiệt từ quá trình phát thải tại Nhà máy Xi măng Tân Thắng.....	63
Hình 4. Sơ đồ nguyên lý của heat wheel	73

DANH MỤC TỪ VIẾT TẮT

Từ viết tắt	Nghĩa tiếng Việt
AI	Trí tuệ nhân tạo
BEE	Cục Hiệu quả năng lượng (Ấn Độ)
BLĐTBXH	Bộ Lao động – Thương binh và Xã hội
CAPEX	Chi phí đầu tư
DAS	Hệ thống thu thập dữ liệu
DN	Doanh nghiệp
DR	Điều chỉnh phụ tải (điện)
DCS	Hệ thống điều khiển phân tán
EAF	Lò hồ quang điện
EMS	Hệ thống quản lý năng lượng
EVN	Tập đoàn Điện lực Việt Nam
EU	Liên minh châu Âu
ESCO	Công ty dịch vụ năng lượng
EPC	Hợp đồng thiết kế, cung cấp thiết bị và thi công xây dựng công trình
U.S. DOE	Bộ Năng lượng Hoa Kỳ
EnPI	Chỉ số hiệu suất năng lượng
FGR	Hồi lưu khí thải
FLOX	Oxy hóa không ngọn lửa
G7	Nhóm 7 nước công nghiệp phát triển hàng đầu
HSE	Sức khỏe, an toàn và môi trường
IoT	Internet vạn vật
IEEJ	Viện Kinh tế Năng lượng Nhật Bản
IEC	Ủy ban Kỹ thuật Điện Quốc tế
ISO	Tổ chức Tiêu chuẩn hóa Quốc tế
JICA	Cơ quan Hợp tác Quốc tế Nhật Bản
JIS	Tiêu chuẩn Công nghiệp Nhật Bản
KPI	Chỉ số đánh giá hiệu quả
LPG	Khí dầu mỏ hóa lỏng
LCC	Chi phí vòng đời
MPC	Điều khiển dự báo theo mô hình
MOC	Quản lý thay đổi
MES	Hệ thống thực thi sản xuất
MTBF	Thời gian trung bình giữa hai lần hỏng
MTTR	Thời gian trung bình để sửa chữa
M&V	Đo lường và xác minh
NG	Khí tự nhiên
NPV	Giá trị hiện tại ròng

Từ viết tắt	Nghĩa tiếng Việt
NEDO	Tổ chức Phát triển Công nghệ Năng lượng Mới và Công nghiệp (Nhật Bản)
OEE	Hiệu quả tổng thể thiết bị
O&M	Vận hành và bảo trì
PID	Bộ điều khiển tỉ lệ – tích phân – vi phân
PPE	Trang bị bảo hộ cá nhân
PLC	Bộ điều khiển logic lập trình được
Pa	Đơn vị áp suất Pascal
PCCC	Phòng cháy và chữa cháy
QA	Đảm bảo chất lượng
QCVN	Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia Việt Nam
RDF	Nhiên liệu thu hồi từ chất thải rắn
RFQ	Yêu cầu báo giá
SCADA	Hệ thống giám sát, thu thập dữ liệu và điều khiển cấp cao
SEC	Suất tiêu thụ năng lượng riêng
SIL	Cấp độ an toàn chức năng
SOP	Quy trình vận hành chuẩn
SC	Ngắn mạch
SNCR	Khử chọn lọc không dùng xúc tác
SCR	Khử chọn lọc có xúc tác
SLA	Thỏa thuận mức độ dịch vụ
TKNL	Tiết kiệm năng lượng
TOU	Biểu giá điện theo thời gian sử dụng
TNHH	Công ty trách nhiệm hữu hạn
TCO	Tổng chi phí sở hữu
TCVN	Tiêu chuẩn Việt Nam
USD	Đồng đô la Mỹ
URS	Bản đặc tả yêu cầu người dùng
VSUEE	Dự án Thúc đẩy Tiết kiệm Năng lượng trong ngành công nghiệp Việt Nam
VFD	Biến tần
WHR	Thu hồi nhiệt thải
WtE	Năng lượng từ chất thải

LỜI MỞ ĐẦU

Trong quá trình công nghiệp hóa nhanh của Việt Nam, các ngành sử dụng nhiều nhiệt năng như xi măng, gốm sứ, luyện kim, thủy tinh, vật liệu xây dựng, chế biến thực phẩm... đang đóng góp quan trọng cho tăng trưởng nhưng đồng thời tạo áp lực lớn lên nhu cầu năng lượng và phát thải khí nhà kính. Ở trung tâm của các dây chuyền này là các loại lò công nghiệp—từ lò nung, lò đốt đến lò nấu chảy—vốn tiêu thụ phần đáng kể nhiên liệu và quyết định chất lượng, năng suất cũng như chi phí sản xuất. Do đó, nâng cao hiệu quả năng lượng của lò công nghiệp không chỉ là giải pháp kinh tế trực tiếp (giảm chi phí nhiên liệu, vận hành và bảo trì) mà còn là đòn bẩy then chốt để tăng sức cạnh tranh, đảm bảo an ninh năng lượng và hiện thực hóa các mục tiêu giảm phát thải mà Việt Nam đã cam kết. Trong bối cảnh đó, việc xây dựng một tài liệu tham chiếu có độ tin cậy cao, có thể được cập nhật định kỳ và phản ánh trung thực thực tiễn vận hành tại nhà máy về các giải pháp công nghệ lò công nghiệp hiệu suất cao là yêu cầu cấp thiết.

Cẩm nang này được biên soạn trong khuôn khổ Dự án VSUEE – “Thúc đẩy tiết kiệm năng lượng trong các ngành công nghiệp Việt Nam”, do Ngân hàng Thế giới và Quỹ Khí hậu Xanh hỗ trợ, với mục tiêu thúc đẩy đầu tư và ứng dụng các công nghệ, giải pháp tiết kiệm năng lượng trong công nghiệp. Cách tiếp cận của dự án nhấn mạnh việc xây dựng các “cẩm nang công nghệ” làm nền tảng kỹ thuật – kinh tế cho hoạch định, sàng lọc và ra quyết định đầu tư, dựa trên tổng hợp bằng chứng từ nghiên cứu trong nước và quốc tế, tham vấn nhiều bên liên quan, cũng như đề cao tính dễ tiếp cận đối với doanh nghiệp và tổ chức tài chính.

Trên cơ sở kế thừa phương pháp và kinh nghiệm phát triển bộ dữ liệu công nghệ của các đối tác (đặc biệt là mô hình cẩm nang đã được áp dụng thành công cho các lĩnh vực nguồn điện, lưu trữ năng lượng và năng lượng tái tạo), cẩm nang này hướng tới cung cấp một nền tảng thông tin nhất quán, được rà soát nhiều vòng, phục vụ cho việc so sánh, lựa chọn và triển khai các giải pháp lò công nghiệp hiệu suất cao trong điều kiện Việt Nam.

Mục tiêu của cẩm nang là làm rõ các lựa chọn công nghệ lò công nghiệp mang lại hiệu quả tiết kiệm năng lượng nổi trội và khả năng giảm phát thải khí nhà kính trong các ngành ưu tiên; hướng dẫn doanh nghiệp nhận diện cơ hội tiết kiệm theo vòng đời thiết bị; và hỗ trợ các tổ chức tư vấn, tổ chức tài chính đánh giá dự án dựa trên chỉ tiêu kỹ thuật – kinh tế đáng tin cậy. Tài liệu không đi theo hướng “liệt kê tất cả” mà tập trung vào các chủng loại đại diện, phù hợp để so sánh, qua đó giúp người dùng nhanh chóng khoanh vùng giải pháp và đưa ra quyết định.

Đồng thời, cẩm nang cũng cung cấp những lưu ý quan trọng về điều kiện vận hành tại Việt Nam (nhiên liệu, nguồn cung, dịch vụ sau bán hàng, yêu cầu môi trường – an toàn), giúp việc áp dụng có tính thực tiễn cao.

Phạm vi của cẩm nang chỉ tập trung vào các lò công nghiệp (kilns and furnaces) trong quá trình nhiệt của doanh nghiệp sản xuất và không bao gồm lò hơi, lò dầu tải nhiệt hay lò sấy—các chủ đề này đã hoặc sẽ được đề cập ở các tài liệu riêng. Nhờ đó, nội dung có thể đi sâu vào những điểm mấu chốt của lò công nghiệp: đặc tính công nghệ – vận hành; các dải nhiệt và ứng dụng; tiêu chuẩn hiệu suất – an toàn – môi trường; các cơ hội tiết kiệm năng lượng trong thiết kế, cải tạo và điều khiển; lộ trình đầu tư – hoàn vốn; cũng như các rào cản phổ biến và cách tháo gỡ trong bối cảnh nhà máy Việt Nam.

Đối tượng sử dụng chính của cẩm nang là cán bộ kỹ thuật và quản lý năng lượng tại nhà máy; các đơn vị tư vấn – kiểm toán năng lượng; tổ chức tín dụng và định chế tài chính đang tìm kiếm dự án hiệu quả năng lượng khả thi; cùng cơ quan quản lý, hiệp hội ngành và cơ sở đào tạo. Với nhóm doanh nghiệp vừa và nhỏ, tài liệu ưu tiên cách trình bày trực quan, có ví dụ minh họa, thông số tham chiếu và các “điểm kiểm” quan trọng để tự đánh giá cơ hội tiết kiệm trước khi thuê tư vấn hoặc làm việc với nhà cung cấp thiết bị.

Ban biên soạn trân trọng cảm ơn các cơ quan thuộc Bộ Công Thương, các chuyên gia trong nước và quốc tế, doanh nghiệp công nghiệp, nhà cung cấp công nghệ và các đối tác phát triển đã tham gia đóng góp ý kiến, kiểm chứng dữ liệu và chia sẻ kinh nghiệm thực tiễn trong suốt quá trình biên soạn. Sự tham gia rộng rãi và đối thoại cởi mở giữa các bên liên quan là điều kiện bảo đảm để cẩm nang bám sát thực tế vận hành của nhà máy và tiếp tục được cập nhật, hoàn thiện theo tiến bộ công nghệ và nhu cầu của thị trường.

Hy vọng rằng cẩm nang sẽ trở thành tài liệu tham chiếu hữu ích, giúp doanh nghiệp và các bên liên quan ra quyết định đầu tư sáng suốt hơn, giảm cường độ năng lượng và phát thải, nâng cao năng lực cạnh tranh, đồng thời đóng góp thiết thực vào quá trình chuyển dịch năng lượng công bằng và bền vững của Việt Nam.

Lưu ý: Trong toàn bộ cẩm nang, thuật ngữ “lò công nghiệp” được hiểu là các lò nung/lò đốt/lò nấu chảy sử dụng cho mục đích gia nhiệt – xử lý vật liệu trong quy trình sản xuất; không bao gồm lò hơi, lò dầu tải nhiệt và lò sấy.

CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VỀ CÔNG NGHỆ LÒ CÔNG NGHIỆP

1.1 Tổng quan về công nghệ

Trong các ngành công nghiệp sử dụng nhiều nhiệt — như xi măng, gốm sứ, vật liệu xây dựng, luyện kim, thủy tinh, hóa chất, dệt nhuộm hay chế biến thực phẩm — lò công nghiệp giữ vai trò là “trái tim nhiệt” của dây chuyền. Trong cẩm nang này, “lò công nghiệp” được hiểu là các thiết bị tạo, truyền và kiểm soát nhiệt nhằm nung, đốt, nấu chảy, tôi, ủ, giữ nhiệt hoặc xử lý nhiệt vật liệu; phạm vi không bao gồm lò hơi, lò dầu tải nhiệt và lò sấy. Về bản chất, lò công nghiệp chuyển hóa năng lượng (từ nhiên liệu hóa thạch, khí đốt, sinh khối, điện trở, cảm ứng hay hồ quang) thành năng lượng nhiệt, sau đó truyền nhiệt vào vật liệu thông qua bức xạ, đối lưu và dẫn nhiệt. Hiệu suất của quá trình này quyết định trực tiếp tiêu hao năng lượng, năng suất và đặc tính chất lượng của sản phẩm đầu ra, đồng thời ảnh hưởng mạnh tới phát thải khí nhà kính, chi phí vận hành và khả năng cạnh tranh của doanh nghiệp.



Hình 1. Một số loại lò công nghiệp

Vai trò của lò công nghiệp thể hiện rõ ở ba khía cạnh. Thứ nhất, lò là khâu quyết định cấu trúc vi mô và tính chất cơ–lý–hóa của vật liệu: một sai lệch nhỏ ở nhiệt độ đỉnh, tốc độ gia nhiệt hoặc thời gian giữ nhiệt có thể dẫn tới sai hỏng sản phẩm hàng loạt, từ độ bền cơ học của gốm sứ, độ trong của thủy tinh đến cơ tính của thép sau nhiệt luyện. Thứ hai, lò là nơi tiêu thụ tỷ trọng năng lượng lớn nhất trong xưởng, thường chiếm 30–80% tổng nhu cầu năng lượng tùy ngành; vì vậy lò luôn là “điểm rơi” ưu tiên của mọi chương trình tiết kiệm năng lượng. Thứ ba, lò là nguồn phát thải chính về khí nhà kính và ô nhiễm cục bộ (NO_x, SO₂, CO, bụi

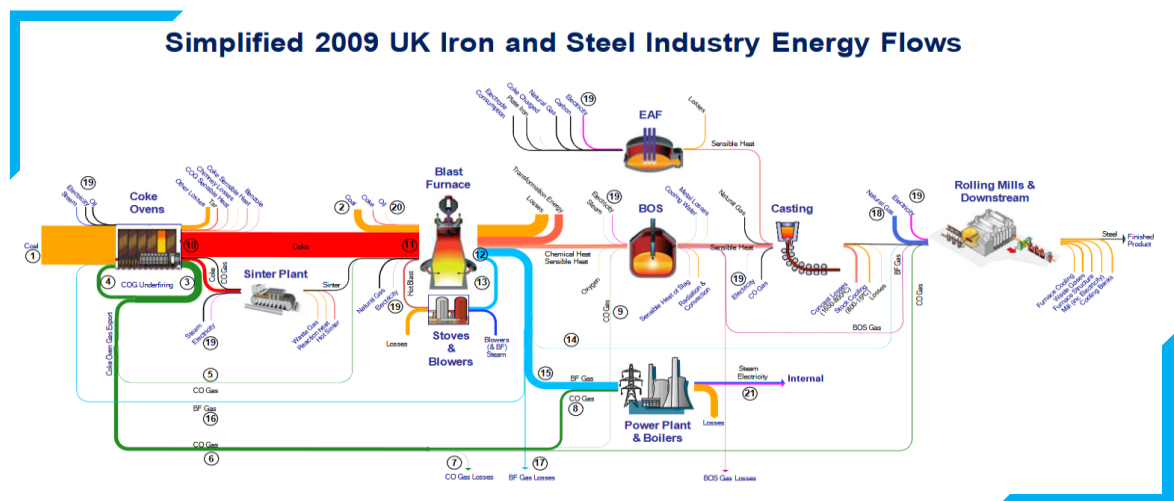
mịn) khi sử dụng nhiên liệu hóa thạch, do đó các giải pháp công nghệ cao cho lò vừa có ý nghĩa kinh tế vừa mang giá trị tuân thủ quy định môi trường và chiến lược giảm phát thải của doanh nghiệp.

Đặc điểm vận hành của lò công nghiệp mang tính đặc thù so với các thiết bị cơ – điện khác. Lò hoạt động ở dải nhiệt rộng, từ trung bình đến rất cao: các lò nung gốm, xử lý nhiệt kim loại thường ở 800–1.200°C; lò hoàn nguyên, lò gia nhiệt phôi thép 1.100–1.250°C; lò nấu chảy thủy tinh 1.400–1.600°C; lò luyện kim màu và đen có thể vượt 1.600°C. Hiệu quả vận hành của lò được quyết định bởi thiết kế buồng đốt và đường đi khí nóng, hệ thống cấp gió–nhiên liệu, khả năng điều khiển nhiệt độ theo vùng, và chất lượng cách nhiệt/lớp lót chịu lửa.

Trong thực tế, mức sử dụng năng lượng và phát thải của lò chịu ảnh hưởng đồng thời bởi ba nhóm yếu tố chính:

- Tổn thất qua khói thải (nhiệt độ khói cao, thừa gió, cháy không hoàn toàn);
- Tổn thất qua vỏ lò và rò rỉ (cách nhiệt kém, lớp lót suy giảm, cửa lò/khe hở);
- Tổn thất do vận hành và điều khiển chưa tối ưu (chạy non tải, chương trình nhiệt chưa phù hợp, thời gian chờ nóng, bảo trì chưa chuẩn hóa).

Do đó, tiếp cận nâng cao hiệu quả cần được nhìn theo hướng tối ưu hệ thống, kết hợp giữa giải pháp kỹ thuật và giải pháp quản lý vận hành.



Hình 2. Sơ đồ năng lượng trong một nhà máy sản xuất thép điển hình

Tóm lại, lò công nghiệp là khâu vừa “ngốn năng lượng” vừa “định chất lượng”, có kiến trúc công nghệ đa dạng và không gian tối ưu hóa rất lớn. Việc hiểu đúng bản chất truyền nhiệt – cháy, cấu trúc chịu lửa – cách nhiệt, hệ đốt – điều khiển – thu hồi nhiệt, cùng mối liên hệ với yêu cầu chất lượng sản phẩm là nền tảng để nhận diện cơ hội tiết kiệm, thiết kế giải pháp đầu tư hiệu quả và vận hành an toàn – ổn định. Các phần tiếp theo của cẩm nang sẽ đi sâu vào từng nhóm công nghệ lò đại diện, thông số kỹ thuật – kinh tế, các biện pháp cải tiến then chốt,

cũng như hướng dẫn ứng dụng trong điều kiện doanh nghiệp Việt Nam, hướng tới mục tiêu giảm cường độ năng lượng và phát thải, nâng cao năng lực cạnh tranh bền vững.

1.2 Phân loại công nghệ

Trong thực tế sản xuất, “lò công nghiệp” là một nhóm thiết bị rất đa dạng về cấu trúc, cơ chế vận hành và phương thức tạo nhiệt. Việc phân loại hợp lý giúp người đọc nhanh chóng nhận diện nhóm giải pháp phù hợp, so sánh hiệu suất – chi phí và định hướng nâng cấp. Phần này giới thiệu các cách phân loại phổ biến (không bao gồm lò hơi, lò dầu tải nhiệt, lò sấy) và nhấn mạnh những thuộc tính kỹ thuật có ý nghĩa đối với hiệu quả năng lượng, chất lượng sản phẩm và mức độ dễ triển khai.

1.2.1 Phân loại theo cấu trúc và cơ chế vận hành

Cách phân loại này dựa trên hình học buồng lò, cách dịch chuyển vật liệu và tổ chức dòng khí – ngọn lửa. Đây là cơ sở để hiểu đặc tính truyền nhiệt, khả năng đồng đều nhiệt và tiềm năng tối ưu hóa. Theo đó, các loại lò

- » Lò buồng (batch/box furnace): Buồng kín, nạp–ra liệu theo mẻ, phù hợp xử lý nhiệt kim loại, gốm sứ đặc biệt, chi tiết có kích thước/chu kỳ đa dạng. Ưu điểm là linh hoạt chế độ; thách thức là tổn thất do mở cửa và nhiệt tích trữ lớp chịu lửa cao nếu chu kỳ ngắn.
- » Lò con thoi (shuttle kiln): Biến thể của lò buồng với xe gòong di chuyển vào/ra; thích hợp gốm sứ và vật liệu xây dựng. Có thể tối ưu kín cửa và giảm thoát nhiệt khi thao tác đúng chuẩn.
- » Lò hầm/tuy-nen (tunnel kiln): Dạng liên tục, vật liệu dịch chuyển xuyên qua các vùng gia nhiệt – giữ nhiệt – làm nguội; cho năng suất cao, tính lặp lại tốt và dễ thu hồi nhiệt thải, phù hợp gốm sứ, vật liệu xây dựng.
- » Lò con lăn/giường con lăn (roller hearth): Vật liệu di chuyển trên con lăn chịu nhiệt; phân bố nhiệt đồng đều, kiểm soát chính xác, thích hợp tấm gốm, thủy tinh, thép tấm mỏng.
- » Lò đẩy/giường đẩy (pusher), lò giường bước (walking beam): Dùng trong gia nhiệt phôi thép; ưu thế về năng suất, đồng nhất nhiệt và tận dụng nhiệt thải cho gió/liều vào.
- » Lò quay (rotary kiln): Ống nghiêng quay chậm, dùng nhiều trong xi măng, vôi, hóa chất; trao đổi nhiệt hỗn hợp đối lưu–bức xạ–tiếp xúc, dễ tích hợp thu hồi nhiệt.

- » Lò giếng (pit), lò chuông (bell): Dành cho chi tiết dài/khối lớn, thuận lợi xử lý nhiệt sâu; cần chú ý tổn thất qua nắp và chênh áp buồng lò.
- » Lò hồ quang điện (electric arc) và lò cảm ứng (induction holding/melting): Thuộc nhóm điện (không đốt nhiên liệu), dùng luyện/giữ nhiệt kim loại; hiệu suất tại vị trí vật liệu cao, điều khiển chính xác, yêu cầu hạ tầng điện lớn.

Theo chế độ làm việc, lò được chia thành mẻ (gián đoạn), bán liên tục và liên tục. Lò liên tục thường có hiệu suất nhiệt tốt hơn nhờ hạn chế chu kỳ làm nóng – nguội vỏ lò và dễ thu hồi nhiệt thải, trong khi lò mẻ linh hoạt sản phẩm nhưng cần chú ý giảm tổn thất khi mở cửa và tối ưu chu kỳ.

1.2.2 Phân loại theo công nghệ sinh nhiệt (phương thức tạo và truyền nhiệt)

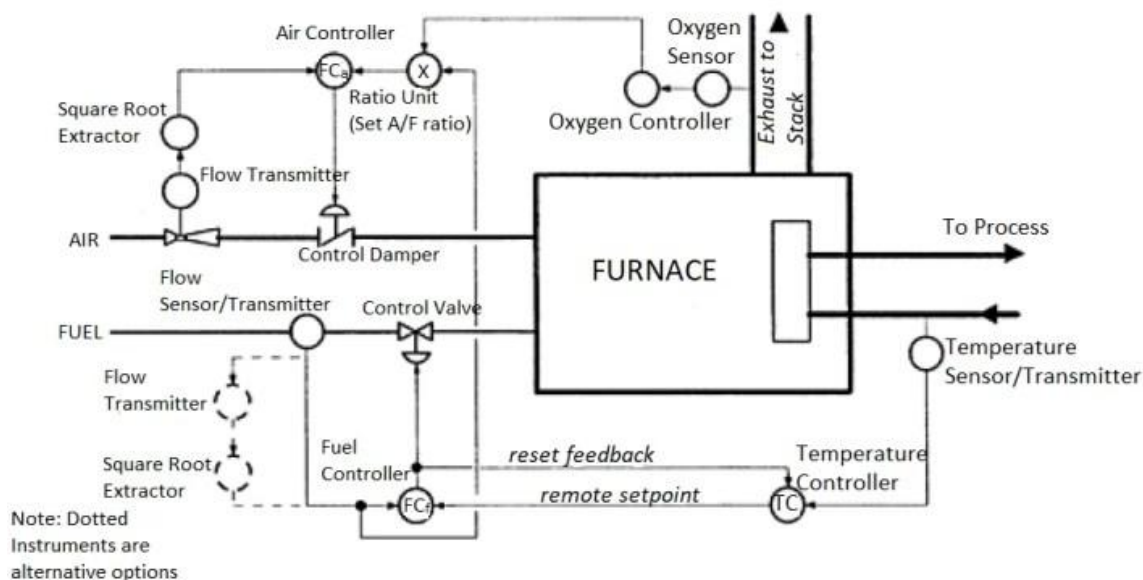
Phân loại này gắn trực tiếp tới hiệu suất cháy, phát thải và khả năng tận dụng nhiệt thải. Mỗi phương thức yêu cầu cấu hình đầu đốt/nguồn nhiệt và điều khiển khác nhau:

- » Công nghệ đốt phun (dầu, khí): Sử dụng đầu đốt tạo ngọn lửa và trường bức xạ/đối lưu trong buồng lò. Biến thể gồm đầu đốt ngọn lửa phẳng (flat-flame) cho phân bố nhiệt đều; đầu đốt low-NOx với cháy phân tầng hoặc hồi lưu khí thải; đầu đốt oxy–fuel tăng nhiệt độ bức xạ, giảm lưu lượng khói thải (cần cân nhắc chi phí oxy). Hiệu quả phụ thuộc chặt chẽ vào tỷ lệ gió–nhiên liệu, dư oxy, tạo xoáy và bố trí vùng cháy.
- » Công nghệ đốt trên ghi (solid grate firing): Dành cho nhiên liệu rắn như than, sinh khối, RDF. Nhiệt tỏa qua lớp liệu cháy trên ghi; hiệu suất chịu ảnh hưởng bởi kích cỡ hạt, ẩm, phân bố gió dưới ghi và loại ghi (tĩnh, di động). Cần xử lý tro xỉ và kiểm soát bụi–NOx phù hợp.
- » Công nghệ tầng sôi (fluidized bed) cho nhiên liệu rắn: Dải tải rộng, trộn–truyền nhiệt tốt, đốt cháy ổn định các nhiên liệu rắn khó; nhiệt độ cháy thấp hơn giúp giảm NOx, thuận lợi thu hồi nhiệt. Yêu cầu thiết kế – điều khiển gió tầng sôi chặt chẽ và vật liệu chịu mài mòn.
- » Công nghệ sinh nhiệt từ điện:
 - Điện trở (resistance/radiant): Gia nhiệt qua phần tử điện trở/bức xạ; điều khiển chính xác, sạch, phù hợp xử lý nhiệt, gốm tinh.
 - Hồ quang điện (EAF/ARC furnace): Mật độ nhiệt rất cao cho nấu chảy kim loại; cần hệ thống lọc bụi, điều khiển công suất lớn.
 - Cảm ứng (induction): Gia nhiệt/nấu chảy trực tiếp trong vật liệu dẫn điện; hiệu suất tại phôi cao, tăng tốc độ nung, phù hợp đúc/luyện kim màu.

- Bức xạ hồng ngoại/vi sóng (ứng dụng chuyên biệt): Gia nhiệt bề mặt/khối chọn lọc; hiệu quả khi yêu cầu gia nhiệt nhanh, mỏng, đồng đều.

1.3 Cấu hình điển hình và hệ thống phụ trợ

Một hệ thống lò công nghiệp điển hình gồm phần tạo nhiệt, phần truyền và phân phối nhiệt đến vật nung/sản phẩm, cùng các hệ thống phụ trợ để đảm bảo vận hành ổn định, an toàn và đáp ứng yêu cầu môi trường. Về mặt cấu trúc, lò thường bao gồm buồng lò/buồng đốt, kết cấu vỏ lò, lớp cách nhiệt và lớp lót chịu lửa, cửa lò và các vị trí nạp/tháo, đường dẫn khí nóng/khói thải, cùng các điểm đo – cơ cấu chấp hành phục vụ điều khiển. Hiệu quả năng lượng và tuổi thọ lò phụ thuộc lớn vào chất lượng thiết kế – thi công lớp lót, mức độ kín khít (giảm rò rỉ), và khả năng điều khiển theo tải.



Hình 3 Cấu hình điển hình của một lò công nghiệp¹

Hệ thống cung cấp nhiên liệu: Hệ thống này đảm bảo nhiên liệu được tiếp nhận – lưu trữ – định lượng – cấp vào buồng đốt một cách ổn định và an toàn. Tùy loại nhiên liệu (than, dầu, khí, sinh khối, nhiên liệu từ chất thải, hoặc kết hợp), cấu hình có thể gồm bồn/kho chứa, thiết bị vận chuyển – cấp liệu, van an toàn, bộ lọc, bộ điều áp, thiết bị đo lưu lượng và các liên động bảo vệ. Yêu cầu cốt lõi là độ ổn định lưu lượng, khả năng cắt khẩn cấp, phòng ngừa rò rỉ/cháy nổ, và kiểm soát chất lượng nhiên liệu (độ ẩm, nhiệt trị, tạp chất) để đảm bảo cháy ổn định.

Hệ thống cung cấp không khí và thông gió lò: Hệ thống gió gồm quạt, ống gió, van/cánh điều tiết, thiết bị đo áp suất – lưu lượng và các điểm lấy gió. Mục

¹ Nguồn: <https://www.electricalandcontrol.com/the-instrumentation-for-furnace-control/>

tiêu là cung cấp lượng không khí phù hợp (không thiếu gây cháy không hoàn toàn, không thừa gây tăng tổn thất qua khói) và đảm bảo phân phối gió hợp lý theo vùng. Trong nhiều ứng dụng, việc duy trì áp suất buồng lò phù hợp giúp giảm rò rỉ không khí giả và cải thiện ổn định vận hành.

Hệ thống đốt cháy (đầu đốt/buồng đốt): Đầu đốt hoặc buồng đốt là nơi diễn ra quá trình hòa trộn nhiên liệu – không khí và hình thành ngọn lửa/nguồn nhiệt. Các đặc tính quan trọng gồm: khả năng làm việc theo dải tải, độ ổn định ngọn lửa, khả năng điều chỉnh hình dạng ngọn lửa, giới hạn phát thải và yêu cầu an toàn (đánh lửa, giám sát ngọn lửa, tự động khóa khi sự cố). Lựa chọn hệ thống đốt phải phù hợp với nhiệt độ yêu cầu, đặc tính sản phẩm, và môi trường trong lò.

Hệ thống điều khiển, tự động hóa và tích hợp điều chỉnh tải: Hệ thống điều khiển có nhiệm vụ duy trì các thông số vận hành theo yêu cầu công nghệ, đồng thời tối ưu tiêu hao và bảo đảm an toàn. Ở mức cơ bản, lò thường có các vòng điều khiển cho nhiệt độ theo vùng, lưu lượng nhiên liệu, lưu lượng gió, và áp suất buồng lò, kèm các liên động an toàn để ngăn rủi ro cháy nổ và hư hỏng thiết bị. Các tín hiệu đo điển hình gồm nhiệt độ, nồng độ oxy dư, áp suất, và các thông số lưu lượng; các cơ cấu chấp hành gồm van nhiên liệu, van gió, biến tần quạt, cơ cấu đóng/mở cửa lò.

Tính năng điều chỉnh tải tự động giúp lò đáp ứng biến động sản xuất (tăng/giảm sản lượng, thay đổi mẻ, thay đổi nguyên liệu) bằng cách điều chỉnh đồng bộ nhiên liệu–gió và phân phối nhiệt theo vùng, từ đó giảm dao động nhiệt độ, hạn chế vận hành quá công suất hoặc non tải kéo dài. Trong các lò có mức tự động hóa cao, điều khiển có thể tích hợp với PLC/SCADA để: (i) quản lý chương trình nhiệt (tăng nhiệt–giữ nhiệt), (ii) giám sát và cảnh báo bất thường, (iii) ghi dữ liệu phục vụ phân tích và cải tiến vận hành. Điều kiện then chốt để hệ điều khiển phát huy hiệu quả là đo lường tin cậy, hiệu chuẩn định kỳ, và kỷ luật vận hành theo quy trình.

Hệ thống thu hồi nhiệt: Tùy cấu hình, lò có thể tích hợp hoặc kết nối với các thiết bị thu hồi nhiệt từ khói thải/khí thải để phục vụ gia nhiệt không khí cấp, gia nhiệt nước hoặc hỗ trợ các công đoạn khác. Việc bố trí thu hồi nhiệt cần đảm bảo: (i) có nguồn nhiệt thải đủ ổn định, (ii) có nhu cầu sử dụng nhiệt tương ứng và thường xuyên, (iii) kiểm soát bụi bám/ăn mòn và duy trì vệ sinh thiết bị để giữ hiệu suất.

Hệ thống xử lý khí thải và ống khói: Hệ thống này nhằm đáp ứng yêu cầu môi trường và đảm bảo vận hành an toàn, thường gồm đường khói, thiết bị tách bụi, thiết bị xử lý khí ô nhiễm (tùy loại nhiên liệu), quạt hút và ống khói. Ngoài hiệu quả xử lý, cần chú ý tổn thất áp suất, nguy cơ ăn mòn do điểm sương, và yêu cầu bảo trì để tránh suy giảm hiệu suất, gây tăng tiêu hao năng lượng.

1.4 Xu hướng công nghệ tiên tiến

Xu hướng phát triển công nghệ lò công nghiệp hiện nay tập trung vào mục tiêu kép: giảm tiêu hao năng lượng và giảm phát thải, đồng thời nâng cao độ ổn định chất lượng sản phẩm và mức độ tự động hóa. Các hướng chính gồm:

Tối ưu cháy và điều khiển nâng cao: tăng mức tự động hóa, kiểm soát theo vùng và theo tải, giảm dao động nhiệt độ; từng bước ứng dụng điều khiển tiên tiến (như điều khiển dự báo theo mô hình) cho các lò quy mô lớn hoặc yêu cầu chất lượng nghiêm ngặt.

Thu hồi và tận dụng nhiệt thải theo hệ thống: mở rộng thu hồi nhiệt khói thải để gia nhiệt không khí cấp, gia nhiệt nước, sấy/tiền gia nhiệt; kết hợp cân bằng năng lượng toàn dây chuyền nhằm giảm “nhiệt thừa bị xả bỏ”.

Nâng cấp vật liệu và kết cấu nhiệt: cải thiện cách nhiệt, lớp lót chịu lửa, giảm rò rỉ và giảm thất thoát qua vỏ lò; đồng thời nâng cao tuổi thọ thiết bị và giảm thời gian dừng lò.

Chuyển đổi năng lượng và nhiên liệu: tăng tỷ trọng điện hóa (toàn phần hoặc một phần), phát triển hệ lai để linh hoạt theo điều kiện hạ tầng; mở rộng sử dụng sinh khối/nhiên liệu từ chất thải khi đáp ứng yêu cầu môi trường; chuẩn bị cho lộ trình nhiên liệu phát thải thấp (ví dụ sản sàng cho hiđrô) ở các ứng dụng phù hợp.

Số hóa vận hành và bảo trì: tăng cường đo lường, giám sát tập trung (PLC/SCADA), lưu trữ dữ liệu, cảnh báo bất thường và chuẩn hóa quy trình; hướng đến bảo trì theo tình trạng và tối ưu vận hành dựa trên dữ liệu.

1.5 Ứng dụng trong các ngành công nghiệp

Tùy đặc tính sản phẩm, yêu cầu nhiệt độ và chế độ vận hành, lò có thể được thiết kế theo mẻ hoặc liên tục, gia nhiệt trực tiếp hoặc gián tiếp, sử dụng nhiên liệu hóa thạch, nhiên liệu thay thế hoặc điện. Dưới đây là các nhóm ngành ứng dụng điển hình

Bảng 1. Ứng dụng công nghệ TKNL lò công nghiệp trong các ngành công nghiệp

STT	Tên ngành công nghiệp	Mục đích ứng dụng lò công nghiệp	Dải nhiệt sử dụng	Cấu hình phổ biến	Điểm TKNL
1	Xi măng – vôi – vật liệu xây dựng nung kết	Tạo clanhke (clinker) xi măng, vôi sống; yêu cầu ổn định phản ứng hóa-nhiệt và đồng đều chất lượng	900–1.450°C (clinker); 900–1.200°C (vôi)	Lò quay kèm tháp tiên nung và buồng phân hủy; lò đứng/lò quay cho vôi	Tối ưu phối liệu và cấp liệu; hồi nhiệt khí thải qua tháp tiên nung; đầu đốt hiệu suất cao; tăng cường oxy khi phù hợp; niêm kín đầu vào/ra; giám sát oxy/CO và cân bằng áp-lưu lượng quạt; tối ưu tốc độ quay, độ đầy, độ nghiêng
2	Gốm sứ – gạch ngói – vật liệu chịu lửa	Thiêu kết đạt cơ tính/màu men; đường cong nhiệt-âm chi phối co ngót và chất lượng bề mặt	850–1.300°C; vật liệu chịu lửa có thể đến 1.600°C	Lò tuy-nen/hầm (liên tục), lò con lăn; lò con thoi/buồng cho mẻ đặc thù	Gia nhiệt không khí đốt bằng thu hồi nhiệt; tuần hoàn khí nóng tăng đối lưu/đồng đều nhiệt; nâng cấp lớp lót bức xạ cao và cách nhiệt nhẹ; bịt kín cửa; tối ưu đường cong nung-giữ-làm nguội; điều chỉnh oxy dư và dùng biến tần cho quạt
3	Thủy tinh	Nấu chảy, tinh luyện, ủ sản phẩm; yêu cầu đồng nhất nhiệt và thủy lực trong bể	1.300–1.600°C	Lò bể nấu chảy đốt oxy hoặc đầu đốt khí kèm hồi nhiệt kiểu tái sinh; lò ủ là công đoạn hạ nhiệt có kiểm soát	Đốt oxy/tăng cường oxy (cân đối chi phí oxy); hồi nhiệt kiểu tái sinh/thu hồi nhiệt chất lượng cao; kiểm soát mức liệu-đối lưu; lớp lót bức xạ cao; giảm rò rỉ; giám sát trường nhiệt bằng camera hồng ngoại/cảm biến
4	Luyện kim đen và màu – gia nhiệt phôi, nấu/giữ kim loại	Gia nhiệt phôi trước cán/rèn/ép; nấu và giữ kim loại lỏng; yêu cầu bề mặt ít oxy hóa, đồng đều nhiệt tâm-biên	1.000–1.250°C (gia nhiệt phôi); 1.500–1.650°C (nấu luyện)	Lò gia nhiệt liên tục (đẩy bước/đẩy/đáy con lăn); lò buồng/giếng; lò hồ quang điện và lò cảm ứng cho nấu-giữ	Gia nhiệt không khí đốt/hồi nhiệt kiểu tái sinh; đầu đốt phát thải thấp; điều chỉnh oxy dư và cân bằng áp; biến tần cho quạt gió/khói và quạt tuần hoàn; tối ưu lịch sản xuất để giảm thời gian chờ; với lò điện: quản lý phụ tải, tối ưu hệ số công suất, cách nhiệt vùng giữ
5	Hóa chất – vật liệu mới (nung phân hủy, thiêu)	Phản ứng hóa-nhiệt chính xác, yêu cầu độ sạch bầu khí cao	300–1.600°C (tùy quy trình);	Lò ống quay nhỏ; lò buồng/chân không; lò băng tải/con lăn điều khiển đa vùng;	Cách nhiệt nhẹ và kín khí tốt; chuẩn hóa chu trình tăng nhiệt-giữ nhiệt; thu hồi nhiệt để tiền gia nhiệt liệu hoặc không gian phụ trợ; giám sát oxy/CO/H ₂ theo yêu cầu bầu khí

STT	Tên ngành công nghiệp	Mục đích ứng dụng lò công nghiệp	Dải nhiệt sử dụng	Cấu hình phổ biến	Điểm TKNL
	kết bột, xử lý nhiệt đặc biệt)		thường cần khí trợ/khử hoặc chân không	lò điện trở cho quy trình tinh khiết; cảm ứng cho xử lý cục bộ	
6	Ngành khác có gia nhiệt chuyên biệt (đúc, cơ khí chính xác, xử lý bề mặt...)	Ủ, ram, tôi bề mặt, phủ... tập trung vào độ chính xác nhiệt và bầu khí	150–1.100°C đến khoảng 1.200°C (một số thấm/thiêu kết)	Lò buồng/chuồng/giếng; lò băng tải cho sản lượng lớn; lò cảm ứng cho tôi cục bộ; nhiều ứng dụng điện trở/chân không	Điều khiển đa vùng; quạt tuần hoàn tăng đối lưu; điều chỉnh oxy dư hoặc kiểm soát khí trợ; cách nhiệt vi cấu trúc; tối ưu chu trình để giảm thời gian lưu

CHƯƠNG 2. CÁC GIẢI PHÁP TIẾT KIEM NĂNG LƯỢNG

2.1 Sàng lọc nhanh các giải pháp TKNL

Phần này bổ sung hướng dẫn sàng lọc ở mức tiền khả thi nhằm giúp người sử dụng nhanh chóng xác định nhóm giải pháp phù hợp, ước tính sơ bộ dải tiết kiệm, chi phí đầu tư (CAPEX) và thời gian hoàn vốn, đồng thời chuẩn hóa bộ thông tin tối thiểu phục vụ lập đề xuất nội bộ/doanh nghiệp và hồ sơ làm việc với tổ chức tài chính. Quy trình sàng lọc nhanh các giải pháp TKNL gồm 5 bước như sau:

- Bước 1 – Xác định bối cảnh: Loại lò/quy trình, nhiên liệu, dải nhiệt, sản lượng, giờ vận hành và các ràng buộc chất lượng.
- Bước 2 – Thiết lập đường cơ sở: Tổng hợp tiêu thụ năng lượng (theo ca/tháng), suất tiêu hao, chi phí năng lượng và các thông số vận hành chính (O_2/CO , nhiệt độ khói, áp suất, độ kín).
- Bước 3 – Sàng lọc cơ hội: Dựa trên triệu chứng và dữ liệu nhanh để khoanh vùng nhóm giải pháp ưu tiên (không mất chi phí hoặc chi phí đầu tư thấp trước, sau đó đến các hạng mục chi phí đầu tư trung bình – cao).
- Bước 4 – Ước tính nhanh hiệu quả tài chính: Áp dụng % tiết kiệm tham chiếu cho đường cơ sở; ước tính chi phí đầu tư theo dải; tính hoàn vốn tham chiếu và kiểm tra độ nhạy theo giá năng lượng.
- Bước 5 – Chốt phương án tiền khả thi: Xác định phạm vi, rủi ro chính, kế hoạch dừng máy, phương án đo lường – xác minh (M&V) và yêu cầu cam kết hiệu suất với nhà cung cấp.

Theo đó, các thông tin cần thu thập tối thiểu bao gồm nhưng không giới hạn ở các thông tin trong bảng dưới đây:

Bảng 2 Bộ thông tin tối thiểu cần thu thập

Thông tin cần có	Gợi ý nguồn/ghi chú
Thông tin về lò và quy trình	Loại lò, dải nhiệt, công suất/sản lượng, sơ đồ dòng vật chất – năng lượng, thời gian chạy/năm.
Đường cơ sở năng lượng	Tiêu thụ nhiên liệu/điện theo kỳ; suất tiêu hao theo tấn sản phẩm hoặc theo mẻ; hóa đơn năng lượng.

Thông tin cần có	Gợi ý nguồn/ghi chú
Chỉ số vận hành then chốt	Tỷ lệ O ₂ /CO (nếu có), nhiệt độ khói, chênh áp quạt/ống khói, nhiệt độ bề mặt vỏ, tình trạng cửa/khe hở.
Ràng buộc chất lượng & an toàn	Giới hạn nhiệt, độ đồng đều, yêu cầu NO _x /CO/bụi; các liên động an toàn hiện hữu.
Ràng buộc dừng máy	Cửa sổ bảo trì, lịch sản xuất, yêu cầu chạy thử và sấy lò (nếu cải tạo chịu lửa).
Mục tiêu dự án	Giảm chi phí năng lượng, tăng ổn định chất lượng, tăng công suất, giảm phát thải CO ₂ /ô nhiễm.
Phạm vi đầu tư & hình thức tài trợ	Ngân sách, yêu cầu hoàn vốn, khả năng huy động vốn, mô hình ESCO/cho thuê/đồng tài trợ/bảo lãnh.
Kế hoạch M&V và cam kết hiệu suất	Chỉ số cần đo lường, thiết bị đo lường, phương pháp M&V và điều khoản cam kết hiệu suất với nhà thầu.

Sau khi xác định nhanh hiệu quả tài chính, tiến hành so sánh nhanh với các thông tin tham chiếu trong **Bảng 8** để ra quyết định nhanh.

2.2 Các giải pháp/công nghệ TKNL đối với lò công nghiệp

Dưới góc nhìn thực hành, các giải pháp tiết kiệm năng lượng (TKNL) cho lò công nghiệp (trừ lò hơi, lò dầu tải nhiệt và lò sấy) xoay quanh vài “trụ cột” cốt lõi. Thứ nhất là tối ưu cháy và điều khiển, gồm nâng cấp đầu đốt hiệu suất cao/đầu đốt phát thải NO_x thấp, cải thiện phân phối gió, vận hành với O₂ dư tối ưu và điều khiển đa vùng theo recipe. Đây thường là “quả chín thấp”, vừa giảm tiêu hao 5–15% vừa ổn định chất lượng. Thứ hai là thu hồi nhiệt khí thải bằng bộ hâm không khí cháy (recuperator) hoặc bộ hồi nhiệt (regenerator) và/hoặc tiền gia nhiệt liệu, giúp hạ rõ tổn thất khói và tăng công suất hữu ích. Thứ ba là tối ưu lớp lót – cách nhiệt & kín khí: lựa chọn vật liệu bức xạ cao, bổ sung lớp cách nhiệt nhẹ, xử lý khe co giãn – cầu nhiệt, làm kín cửa nạp/ra để giảm truyền nhiệt qua vỏ và nhiệt tích trữ trong chu kỳ.

Song song, số hóa và giám sát vận hành thông qua các cảm biến đo oxy (O₂), khí CO, đo nhiệt độ đa điểm, áp suất – lưu lượng, cùng với hệ thống thu thập và giám sát dữ liệu tập trung (SCADA/DAS) và phân tích dữ liệu, kết hợp biến tần cho quạt và bơm, cho phép điều hành dựa trên dữ liệu, phát hiện sớm các bất

thường và duy trì hiệu suất vận hành ổn định trong dài hạn. Ở tầm chiến lược, doanh nghiệp có thể xem xét chuyển đổi nhiên liệu như gia nhiệt bằng điện trở, cảm ứng, hồ quang điện; cấu hình hệ lai điện – đốt; đồng đốt sinh khối hoặc nhiên liệu từ chất thải; hoặc lựa chọn đốt bằng oxy tinh khiết / lò sẵn sàng cho hiđrô, gắn với mục tiêu giảm phát thải các-bon và điều kiện hạ tầng năng lượng hiện có. Tích hợp nhiệt giữa các công đoạn nóng – nguội và chuẩn hóa vận hành – bảo trì giúp hoàn thiện tổng thể hệ thống, thường mang lại mức tiết kiệm bổ sung đáng kể với chi phí đầu tư thấp.

Một lộ trình triển khai điển hình gồm các bước: Chuẩn hóa vận hành và đo lường → tối ưu quá trình đốt / điều chỉnh oxy dư tự động & sử dụng biến tần → thu hồi nhiệt thải và cải thiện cách nhiệt, độ kín → tự động hóa nâng cao và tối ưu dựa trên dữ liệu → xem xét chuyển đổi nhiên liệu hoặc cấu hình hệ lai.

Các chỉ số hiệu quả (KPIs) cần theo dõi bao gồm: suất tiêu hao năng lượng riêng (SEC), nồng độ O₂/CO trong khí thải, nhiệt độ khí thải sau lò hoặc sau thiết bị trao đổi nhiệt, độ đồng đều nhiệt theo từng vùng lò, thời gian chu kỳ công nghệ và tỷ lệ sản phẩm đạt chất lượng.

2.2.1 Tối ưu quá trình đốt và điều khiển

Giải pháp tối ưu cháy và điều khiển là điểm khởi đầu hiệu quả cho đa số lò đốt nhiên liệu. Mục tiêu cốt lõi là vận hành quá trình cháy ổn định, đủ năng lượng, không thừa không khí, trường nhiệt đồng đều và chu trình có thể lặp lại. Về thiết bị, doanh nghiệp thường nâng cấp đầu đốt hiệu suất cao, phát thải NO_x thấp, hoặc đầu đốt ngọn lửa phẳng để phân bố bức xạ đều hơn; trong một số ứng dụng có thể cân nhắc đầu đốt dùng oxy-nhiên liệu (oxy-fuel) nhằm tăng tỷ phần bức xạ và giảm lưu lượng khói thải. Song song là cải thiện hình học buồng cháy và phân phối gió, bảo đảm vùng trộn tốt, tạo xoáy hợp lý, tránh điểm nóng cục bộ gây oxy hóa bề mặt hay biến dạng sản phẩm. Với các lò vận hành theo nhiều vùng, nên bố trí lại vùng gia nhiệt/giữ nhiệt/cân bằng, chuẩn hóa công thức nung và lập trình đoạn tăng – giữ nhiệt (ramp–soak) để chủ động chất lượng theo từng loại sản phẩm.

Trụ cột thứ hai là đo lường và điều khiển khép kín theo thời gian thực. Cần lắp đầu dò oxy tại chỗ để theo dõi O₂ khô trong khói thải; ở các quy trình nhạy với cháy không hoàn toàn, bổ sung cảm biến CO; đồng thời tăng mật độ điểm đo nhiệt độ theo từng vùng. Các tín hiệu này đưa về bộ điều khiển tỷ lệ gió – nhiên liệu theo nguyên tắc giới hạn chéo nhằm bảo đảm an toàn khi tăng/giảm tải. Lớp điều khiển trên hệ giám sát – điều khiển (SCADA/PLC) thực hiện tinh chỉnh oxy (Điều chỉnh oxy dư tự động) để giữ mức không khí thừa tối ưu, đồng thời điều khiển áp suất buồng lò qua van và biến tần cho quạt nhằm ngăn hút gió nguội từ bên ngoài. Ở dây chuyền lớn, có thể áp dụng điều khiển dự đoán theo mô hình để phối hợp

công suất giữa các vùng, điều chỉnh tốc độ băng tải/giường bước và cân bằng nhiệt động theo tải thực.

Các chỉ số mục tiêu nên hướng tới gồm: O₂ khô khoảng 2–4% với nhiên liệu khí, hoặc 3–5% với dầu (tùy yêu cầu sản phẩm); CO khói thải duy trì <200 ppm như giới hạn an toàn; nhiệt độ khói sau lò/trao đổi nhiệt giảm; độ lệch chuẩn nhiệt độ trong từng vùng trong khoảng ±5–10°C theo quy trình; áp suất buồng lò ổn định. Về hiệu quả, chỉ riêng phối trộn đúng và tinh chỉnh oxy đã có thể giảm tiêu hao 5–15%; tối ưu phân phối gió và tuần hoàn khí nóng thường mang thêm 1–5%; với đầu đốt phát thải Nox thấp, phát thải NOx giảm 20–50% mà không đánh đổi chất lượng. Lợi ích gián tiếp là tăng tính lặp lại của chu trình, giảm phế phẩm và rút ngắn thời gian khởi động.

Chi phí đầu tư điển hình bao gồm đầu đốt, cảm biến O₂/CO, một số cặp nhiệt điện bổ sung, tủ điều khiển, và khi cần biến tần quạt. Với lò có tải lớn và số giờ vận hành cao, thời gian hoàn vốn thường 0,5–2,5 năm, phụ thuộc giá nhiên liệu. Trước khi cải tạo, nên xây dựng đường cơ sở năng lượng ít nhất vài tuần, ghi dữ liệu trên SCADA và tính suất tiêu hao năng lượng (SEC) theo tấn sản phẩm đạt chuẩn để so sánh “trước – sau”.

Rủi ro chính cần kiểm soát là an toàn cháy và độ tin cậy cảm biến. Nếu giảm lượng không khí cung cấp quá nhanh thì lò có thể mất ổn định ngọn lửa và tăng CO, vì vậy phải đặt ngưỡng liên động CO và O₂ tối thiểu và quy định chu trình thổi làm sạch khi khởi động lại. Sai lệch đo O₂ do bám bẩn hoặc trôi cảm biến có thể dẫn tới điều khiển sai; cần hiệu chuẩn định kỳ, lắp lọc/bẫy bụi với đầu dò lấy mẫu, và giám sát chênh áp đường khói để phát hiện sớm tắc nghẽn bộ trao đổi nhiệt. Dao động áp suất buồng lò gây hút gió nguội được khắc phục bằng van điều áp kết hợp biến tần cho quạt hút và kiểm tra kín khí tại cửa, phốt băng tải và mối ghép.

Lộ trình triển khai nên theo ba bước:

- » Chẩn đoán nhanh (đo O₂/CO, nhiệt độ khói, phân bố nhiệt, rò rỉ, rung áp; lập đường cơ sở năng lượng, tính suất tiêu hao năng lượng);
- » Cải tiến phần cứng tối thiểu (đầu đốt, cảm biến, liên động giới hạn chéo (giữa gió và nhiên liệu), lắp đặt biến tần, chỉnh lại ống gió/miệng phun);
- » Tối ưu theo dữ liệu (kích hoạt hệ thống điều chỉnh luồng gió, chuẩn hóa công thức nung cho từng sản phẩm, giám sát KPIs trên bảng điều khiển SCADA, định kỳ tinh chỉnh mục tiêu O₂ và phân bố công suất vùng; với dây chuyền lớn, cân nhắc áp dụng điều khiển dự đoán theo mô hình).

Trong suốt quá trình, áp dụng quản lý thay đổi (MOC) và đào tạo vận hành, an toàn để bảo đảm hiệu quả và tính bền vững của dự án.

Bên cạnh đó, chỉ số Mức độ trưởng thành công nghệ hay Mức độ sẵn sàng công nghệ (TRL – Technology Readiness Level) cần được xem xét đến. Bảng dưới đây đưa ra khuyến nghị nhanh về mức độ trưởng thành công nghệ của nhóm tối ưu cháy và điều khiển.

Bảng 3. Đánh giá nhanh mức độ trưởng thành và khả năng áp dụng tại Việt Nam (Nhóm tối ưu cháy và điều khiển)

Giải pháp/công nghệ	Mức độ sẵn sàng công nghệ (TRL 1–9)	Chi phí đầu tư / chi phí vận hành	Tính khả dụng (thị trường/nhà cung cấp)	Khả năng áp dụng tại Việt Nam (điều kiện kèm theo)
Tinh chỉnh tỷ lệ gió – nhiên liệu; điều chỉnh theo oxy dư; liên động giới hạn chéo giữa gió và nhiên liệu; tối ưu “giá trị đặt”	9	Thấp / Thấp (thường không làm tăng chi phí vận hành)	Rất sẵn (đa số hệ thống điều khiển và đầu đốt đều hỗ trợ)	Cao. Phù hợp đa số lò. Điều kiện tối thiểu: đo lường oxy dư ổn định, hiệu chuẩn cảm biến định kỳ, kỷ luật vận hành theo quy trình.
Điều khiển đa vùng; chương trình “tăng nhiệt – giữ nhiệt”; quản lý “công thức vận hành”	8–9	Thấp–Trung bình / Thấp	Sẵn (PLC /SCADA phổ biến; nhiều đơn vị tích hợp hệ thống)	Cao. Hiệu quả rõ với lò nung, lò nhiệt luyện, lò sấy. Điều kiện: cảm biến nhiệt độ tin cậy, chuẩn hóa quy trình và phân quyền thay đổi công thức vận hành.
Giám sát vận hành theo dữ liệu (SCADA/thu thập dữ liệu); cảnh báo bất thường; tối ưu định kỳ theo chỉ số đánh giá	8–9	Thấp–Trung bình / Thấp	Sẵn (nhiều nhà thầu trong nước triển khai được)	Cao. Điều kiện: có đủ điểm đo (nhiên liệu, gió, nhiệt độ, oxy dư...), lưu trữ dữ liệu và cơ chế “giao trách nhiệm” theo ca/kíp.
Điều khiển dự báo theo mô hình (MPC) cho lò (tối ưu đa biến theo tải và nhiều)	7–9	Trung bình–Cao / Trung bình (chi phí phần mềm, mô hình, duy trì)	Có nhưng chọn lọc (thường qua nhà cung cấp/đơn vị chuyên sâu)	Trung bình–Cao (có điều kiện). Phù hợp lò quy mô lớn hoặc yêu cầu chất lượng nghiêm ngặt. Điều kiện then chốt: dữ liệu lịch sử đủ tốt, đo lường ổn định, có nguồn lực duy trì mô hình và hiệu chỉnh định kỳ.
Đốt oxy – nhiên liệu (bổ sung/ thay thế một phần không khí bằng oxy) gắn với điều khiển cháy	8–9 (tùy ứng dụng)	Cao / Cao (chi phí oxy là yếu tố chi phối)	Sẵn trên thị trường, nhưng phụ thuộc ngành và hạ tầng	Trung bình (chọn lọc). Khả thi nhất nơi có nguồn cung oxy ổn định, yêu cầu nhiệt độ cao/giảm lưu lượng

Giải pháp/công nghệ	Mức độ sẵn sàng công nghệ (TRL 1–9)	Chi phí đầu tư / chi phí vận hành	Tính khả dụng (thị trường/nhà cung cấp)	Khả năng áp dụng tại Việt Nam (điều kiện kèm theo)
			khí công nghiệp	khí thải. Điều kiện: đánh giá tổng chi phí vận hành, an toàn oxy, và khả năng tối ưu đồng bộ hệ thống cháy–khí thải.
Đầu đốt “sẵn sàng cho hiđrô” và/hoặc đồng đốt hiđrô tỷ lệ thấp	6–8	Trung bình–Cao / Phụ thuộc giá hiđrô	Đã có sản phẩm, mức phổ cập chưa đồng đều	Thấp–Trung bình (hiện tại), phụ thuộc mạnh vào thị trường hiđrô. Điều kiện: nguồn hiđrô ổn định, yêu cầu an toàn cao, kiểm soát phát thải ôxít nitơ, đánh giá vật liệu/thiết kế để hạn chế rủi ro cháy ngược.

Ghi chú: Thang điểm cụ thể của TRL được trình bày trong Phụ lục 1.

Về nguyên tắc, doanh nghiệp nên ưu tiên triển khai trước các giải pháp có mức độ sẵn sàng công nghệ cao cao (8–9), chi phí đầu tư thấp–trung bình và sẵn có rộng rãi như: tinh chỉnh tỷ lệ gió–nhiên liệu, kiểm soát oxy dư, liên động gió–nhiên liệu, điều khiển đa vùng và chuẩn hóa chương trình vận hành; đây là nhóm giải pháp có rủi ro thấp, dễ tích hợp và thường cho hiệu quả nhanh.

Các công nghệ chi phí cao hoặc yêu cầu năng lực vận hành nâng cao như điều khiển dự báo theo mô hình, đốt oxy–nhiên liệu, đầu đốt sẵn sàng cho hiđrô chỉ nên xem xét khi đáp ứng đồng thời các điều kiện tối thiểu: (i) lò có quy mô/giá trị sản phẩm đủ lớn để bù chi phí; (ii) hệ thống đo lường và dữ liệu vận hành ổn định; (iii) có năng lực duy trì (hiệu chuẩn cảm biến, cập nhật mô hình/thuật toán, đào tạo vận hành); và (iv) với đốt oxy–nhiên liệu/hiđrô, phải có nguồn cung ổn định và đánh giá đầy đủ an toàn – phát thải – tổng chi phí vận hành trước khi đầu tư.

Tóm lại, tối ưu cháy và điều khiển là đòn bẩy hiệu suất cho kết quả nhanh, chi phí trung bình và rủi ro kiểm soát được nếu tuân thủ chuẩn an toàn. Kết hợp đúng giữa việc lựa chọn đầu đốt phù hợp và phân phối gió tối ưu, điều khiển khép kín Điều chỉnh oxy dư tự động, doanh nghiệp thường đạt mục tiêu kép giảm tiêu hao 5–15% và ổn định chất lượng, đồng thời tạo nền tảng cho các bước kế tiếp như thu hồi nhiệt, cải thiện lớp lót – cách nhiệt và số hóa nâng cao.

2.2.2 Thu hồi nhiệt thải

Thu hồi nhiệt thải là đòn bẩy hiệu suất mang lại lợi ích lớn và bền vững cho hầu hết các lò công nghiệp. Nguyên lý cốt lõi là dùng nhiệt của khí thải để gia nhiệt

không khí cấp đốt hoặc tiền gia nhiệt liệu vào, từ đó giảm tổn thất qua ống khói và hạ tiêu hao nhiên liệu. Giải pháp phổ biến nhất là bộ gia nhiệt không khí cháy, thường ở dạng ống chùm, tấm hoặc lõi gốm tổ ong. Trong bộ gia nhiệt không khí, khói thải nóng truyền nhiệt cho không khí cấp, nâng nhiệt độ gió trước khi vào đầu đốt. Với những dây chuyền yêu cầu nhiệt độ gió rất cao và vận hành tải lớn, có thể cân nhắc sử dụng bộ hồi nhiệt, thiết bị tích-xả nhiệt luân phiên giữa hai dòng khí để đạt mức thu hồi sâu hơn. Ở một số công đoạn, sau khi thu hồi cho gió lò, phần khí thải còn nhiệt có thể được tận dụng tiếp cho tiền gia nhiệt nhiên liệu, sấy khuôn gá hoặc gia nhiệt không gian phụ trợ, miễn là bảo đảm an toàn và không gây ô nhiễm chéo.

Về phạm vi áp dụng, thu hồi nhiệt thải đặc biệt hiệu quả với lò liên tục hoặc lò mẻ chạy nhiều ca, nơi nhiệt độ khói thải sau lò lớn hơn 350–400°C và thời gian vận hành kéo dài, giúp thiết bị trao đổi nhiệt làm việc ổn định. Ở các lò có thành phần khói ăn mòn hoặc bụi cao, giải pháp vẫn khả thi nếu lựa chọn vật liệu chịu ăn mòn và bố trí hệ thống hồi gió hợp lý, đồng thời lắp lọc bụi sơ bộ để giảm bám bẩn.

Các chỉ số hiệu quả mục tiêu cần theo dõi bao gồm nhiệt độ gió nóng sau bộ hâm (thường đạt 200–450°C tùy cấu hình và nhiệt độ khói đầu vào), nhiệt độ khói sau trao đổi nhiệt giảm $\geq 100\text{--}250^\circ\text{C}$, cùng với tỷ phần tổn thất khói trong cân bằng năng lượng giảm rõ rệt. Khi vận hành với điều khiển tối ưu (ví dụ giữ O_2 ở mức mục tiêu và cân bằng áp), doanh nghiệp thường ghi nhận mức tiết kiệm nhiên liệu 8–25% đối với bộ gia nhiệt không khí và 15–35% đối với bộ hồi nhiệt. Trong trường hợp dùng đầu đốt oxy–nhiên liệu, mức tiết kiệm có thể cao hơn do lưu lượng khói thải giảm mạnh. Ngoài tiết kiệm, quá trình thu hồi nhiệt còn giúp tăng công suất hữu ích của lò.

Về chi phí và hoàn vốn, đầu tư bộ gia nhiệt gió ở quy mô công nghiệp ở mức trung bình cao. Tùy vào loại vật liệu và mức bảo vệ ăn mòn, thời gian hoàn vốn điển hình 1–3 năm với lò tải lớn, nhờ tiết kiệm nhiên liệu trực tiếp. Bộ hồi nhiệt đòi hỏi không gian và cơ cấu chuyển mạch phức tạp hơn, nhưng cho nhiệt độ gió cao và hiệu suất thu hồi lớn nên bài toán kinh tế phụ thuộc vào cường độ vận hành và giá nhiên liệu. Để bảo đảm hiệu quả dài hạn, cần kế hoạch vệ sinh, chống bám định kỳ, giám sát chênh áp qua thiết bị trao đổi nhiệt và xây dựng quy trình vận hành chuẩn cho việc hồi gió khi chênh áp vượt ngưỡng.

Rủi ro chính của các hệ thu hồi tập trung ở bám bẩn/ám bồ hóng, ăn mòn ở nhiệt cao và rò rỉ chéo giữa hai dòng khí. Biện pháp giảm thiểu bao gồm tiền xử lý bụi, chọn vật liệu phù hợp (thép chịu nhiệt, hợp kim Inconel, gốm kỹ thuật), thiết kế bề mặt truyền nhiệt ít bám, bố trí cửa vệ sinh thuận tiện và đường gió hồi để bảo toàn vận hành khi mức chênh áp tăng đột biến. Với khói chứa lưu huỳnh hoặc halogen, cần đánh giá điểm sương để tránh ngưng tụ ăn mòn ở đoạn lạnh. Khâu

an toàn cháy nổ phải được xem xét khi hồi nhiệt cho gió cấp bằng cách biện pháp như lắp van một chiều, đo rò rỉ và khóa liên động với hệ đốt.

Về mức độ sẵn có, thị trường trong nước có đầy đủ giải pháp tiêu chuẩn cho bộ gia nhiệt gió dạng ống chùm/tám và lõi gốm tổ ong cho môi trường bụi – nhiệt cao; với ứng dụng ăn mòn nặng, có thể đặt hàng vật liệu gốm hoặc hợp kim niken – crom chuyên dụng. Doanh nghiệp nên yêu cầu tính toán cân bằng nhiệt – vật chất, mô phỏng tổn thất áp suất và đánh giá kinh tế vòng đời thay vì chỉ xem xét chi phí đầu tư ban đầu. Khi thu hồi nhiệt được tích hợp cùng tinh chỉnh oxy (Điều chỉnh oxy dư tự động) và điều khiển áp suất buồng lò, hiệu quả tổng thể thường nhanh đạt mục tiêu và ổn định theo thời gian.

Bảng 4. Đánh giá nhanh mức độ trưởng thành và khả năng áp dụng tại Việt Nam (Nhóm thu hồi nhiệt thải)

Giải pháp/công nghệ thu hồi nhiệt thải	Mức độ sẵn sàng công nghệ (TRL 1–9)	Chi phí đầu tư / chi phí vận hành	Tính khả dụng (thị trường/nhà cung cấp)	Khả năng áp dụng tại Việt Nam (điều kiện kèm theo)
Bộ hâm nước cấp/bộ tiết kiệm nhiệt cho lò hơi (thu nhiệt khói thải để nâng nhiệt nước cấp)	9	Trung bình / Thấp	Rất sẵn (nhà cung cấp trong nước và quốc tế)	Cao. Phù hợp cơ sở có lò hơi và vận hành tương đối liên tục. Điều kiện: kiểm soát đóng cầu cặn, có kế hoạch vệ sinh bụi; kiểm tra nhiệt độ khói sau thu hồi để tránh ăn mòn điểm sương (đặc biệt khi nhiên liệu có lưu huỳnh/âm cao).
Bộ hâm không khí đốt (thu nhiệt khói thải để gia nhiệt gió cấp cho buồng đốt)	8–9	Trung bình / Thấp–Trung bình (có thể tăng điện quạt do tổn thất áp)	Sẵn	Cao với lò gia nhiệt, lò sấy, lò nung có hệ thống gió cấp rõ ràng. Điều kiện: đủ chênh nhiệt, bố trí không gian lắp đặt, kiểm soát rò rỉ chéo và vệ sinh bụi định kỳ.
Bộ trao đổi nhiệt khói thải – nước để tạo nước nóng phục vụ sản xuất/sinh hoạt	9	Trung bình / Thấp	Rất sẵn	Cao nếu có nhu cầu nước nóng ổn định (rửa, tiền xử lý, gia nhiệt bể...). Điều kiện: ghép tải phù hợp theo giờ vận hành; kiểm soát cầu cặn và ăn mòn.
Thu hồi nhiệt để sấy/tiền gia nhiệt nguyên liệu (dùng trực tiếp khói nóng hoặc gián tiếp qua trao đổi nhiệt)	8–9	Trung bình / Trung bình (quạt, ống gió, lọc bụi)	Sẵn	Cao trong gạch/ngói, gốm sứ, thực phẩm, vật liệu xây dựng... Điều kiện: tương thích về chất lượng sản phẩm (tránh nhiễm bẩn nếu dùng trực tiếp), đủ không gian đường ống, có giải pháp xử lý bụi/mùi khi cần.
Bộ thu hồi nhiệt kiểu “hồi nhiệt” (trao đổi nhiệt qua vách)	8–9	Trung bình–Cao / Trung bình	Có sẵn, cần thiết kế theo ứng dụng	Trung bình–Cao (có điều kiện). Phù hợp lò có nhiệt độ khói cao và vận hành ổn định. Điều kiện then chốt:

Giải pháp/công nghệ thu hồi nhiệt thải	Mức độ sẵn sàng công nghệ (TRL 1–9)	Chi phí đầu tư / chi phí vận hành	Tính khả dụng (thị trường/nhà cung cấp)	Khả năng áp dụng tại Việt Nam (điều kiện kèm theo)
cho lò nhiệt độ cao				vật liệu chịu nhiệt/ăn mòn phù hợp; kiểm soát bụi bám; bảo trì vệ sinh định kỳ.
Bộ thu hồi nhiệt “tái sinh” (tích-nhả nhiệt luân phiên) cho lò lưu lượng lớn, nhiệt độ cao	8–9	Cao / Trung bình	Có nhưng chọn lọc (thường theo gói công nghệ)	Trung bình (chọn lọc). Hiệu quả cao nhưng yêu cầu không gian, hệ van/điều khiển phức tạp và kỹ thuật bảo trì. Phù hợp dự án quy mô lớn, tải ổn định.
Thu hồi nhiệt thải để phát điện (ví dụ: hệ phát điện từ nhiệt thải)	7–9	Rất cao / Trung bình (vận hành-bảo trì chuyên sâu)	Có nhưng hạn chế (thường qua nhà cung cấp chuyên ngành)	Thấp–Trung bình (chọn lọc). Chỉ phù hợp khi có nguồn nhiệt thải lớn, liên tục, chênh nhiệt đủ cao và giá trị điện/giờ vận hành đủ hấp dẫn. Điều kiện: mặt bằng, đấu nối điện, năng lực vận hành và phương án bảo trì dài hạn.
Bơm nhiệt công nghiệp tận dụng nhiệt thải (nâng nhiệt độ lên mức hữu ích)	8–9	Cao / Trung bình (điện là chi phí chính)	Đang tăng (tùy dải nhiệt)	Trung bình (có điều kiện). Phù hợp khi nhiệt thải ở mức thấp–trung bình nhưng cần nhiệt độ cao hơn cho quy trình. Điều kiện: có tải nhiệt ổn định, giá điện và phương án vận hành tối ưu; yêu cầu kỹ thuật về môi chất và an toàn theo quy định.
Thu hồi nhiệt ngưng tụ từ khói thải (tận dụng nhiệt ẩn của hơi nước trong khói thải)	8–9	Trung bình–Cao / Thấp–Trung bình	Có sẵn nhưng cần vật liệu phù hợp	Trung bình (chọn lọc). Hiệu quả khi nhiên liệu có độ ẩm cao/khí thải có nhiều hơi nước và có nhu cầu nước nóng nhiệt độ thấp–trung bình. Điều kiện: vật liệu chống ăn mòn, xử lý nước ngưng, kiểm soát axit và an toàn ống khói.

Ghi chú: Thang điểm cụ thể của TRL được trình bày trong Phụ lục 1.

Doanh nghiệp nên ưu tiên trước các giải pháp có TRL cao (8–9) và đã xác định rõ nhu cầu sử dụng nhiệt thu hồi (ví dụ: gia nhiệt nước cấp, gia nhiệt không khí đốt, tạo nước nóng, sấy nguyên liệu), vì rủi ro thấp và dễ chứng minh hiệu quả. Các giải pháp đầu tư lớn (phát điện từ nhiệt thải, thu hồi nhiệt kiểu tái sinh quy mô lớn, bơm nhiệt công nghiệp) chỉ nên đưa vào danh mục tiền khả thi khi nguồn nhiệt thải đủ lớn và vận hành ổn định, đồng thời đầu ra nhiệt/điện tạo ra có thể được sử

dụng thường xuyên với giá trị kinh tế rõ ràng, nhằm đảm bảo hiệu quả theo góc nhìn tổng chi phí vòng đời.

2.2.3 Nâng cấp cách nhiệt & lớp lót chịu lửa

Nâng cấp cách nhiệt và lớp lót chịu lửa là đòn bẩy cho mọi loại lò vì tác động trực tiếp đến truyền nhiệt qua vỏ, nhiệt tích trữ và độ ổn định cơ nhiệt của thiết bị. Cách tiếp cận điển hình là thay mới hoặc cải tạo lớp mặt nóng chịu lửa bằng gạch/bê tông chịu lửa có độ phát xạ bức xạ nhiệt cao hoặc phủ lớp phủ tăng phát xạ để tăng trao đổi bức xạ về phía tải; đồng thời gia tăng lớp cách nhiệt bằng sợi gốm hoặc vật liệu vi cấu trúc siêu cách nhiệt. Phần công việc luôn đi kèm là xử lý khe co giãn, neo giữ, cầu nhiệt, tối ưu các chi tiết tiếp giáp và làm kín cửa lò (gioăng, phớt, tấm che) nhằm loại bỏ rò rỉ khí nóng/nguội trong vận hành.

Giải pháp áp dụng cho mọi lò, nhưng mang lại tỷ lệ lợi ích cao nhất ở lò mẻ và lò có chu kỳ ngắn/đóng mở cửa thường xuyên, nơi nhiệt tích trữ của lớp lót chiếm tỷ lệ đáng kể trong năng lượng tiêu hao mỗi mẻ. Với lò liên tục, cải thiện cách nhiệt giúp giảm rõ tổn thất qua vách và nhiệt vỏ lò, đồng thời cho phép tăng nhiệt độ vùng làm việc mà không vượt ngưỡng nhiệt bề mặt cho phép tại khu vực làm việc xung quanh.

Các chỉ số mục tiêu cần theo dõi sau cải tạo gồm: nhiệt độ bề mặt vỏ lò giảm khoảng 10–30°C tùy hiện trạng; tổn thất qua vách giảm 15–40% theo cân bằng năng lượng; thời gian lên nhiệt rút ngắn và dao động nhiệt độ trong vùng ổn định hơn. Kết quả tổng hợp thường cho mức tiết kiệm nhiên liệu 3–10%, tăng thêm khi kết hợp với làm kín cửa và tối ưu thao tác. Lợi ích gián tiếp là tăng tuổi thọ lớp lót, giảm dừng máy do nứt vỡ, và giảm rủi ro an toàn do bề mặt quá nóng.

Về kinh tế, chi phí đầu tư ở mức trung bình, chủ yếu là vật liệu chịu lửa/cách nhiệt, nhân công tháo – thi công – sấy lò, và thời gian dừng máy theo kế hoạch. Thời gian hoàn vốn điển hình 1–2 năm, rút ngắn hơn nếu hiện trạng có rò rỉ cửa lớn hoặc lớp lót xuống cấp gây tổn thất cao. Doanh nghiệp nên yêu cầu tính toán truyền nhiệt – cơ học (độ dày tối ưu, nhiệt độ tại các lớp, ứng suất nhiệt), mô phỏng điểm nóng/cầu nhiệt và kế hoạch sấy lò để đảm bảo chất lượng sau thi công.

Các rủi ro kỹ thuật chính cần lưu ý gồm: chọn vật liệu không phù hợp dải nhiệt hoặc môi trường hóa học dẫn đến sốc nhiệt – nứt; thay đổi đặc tính bức xạ (lớp phủ phát xạ cao) có thể tạo điểm nóng cục bộ nếu không điều chỉnh đầu đốt/tuần hoàn khí; thi công neo/khe co giãn không đúng quy cách gây bong tróc sau một thời gian ngắn. Biện pháp giảm thiểu là thiết kế lớp lót nhiều lớp (mặt nóng, trung gian, lạnh) với neo đúng chuẩn, bố trí khe co giãn ở vị trí chịu biến dạng, kiểm soát tốc độ gia nhiệt theo quy trình sấy lò, và sau khi vận hành lại, tinh chỉnh góc/áp gió đầu đốt hoặc tốc độ quạt tuần hoàn để đồng đều trường nhiệt.

Về mức độ sẵn có, thị trường trong nước có đầy đủ vật liệu chịu lửa (gạch, bê tông đúc tại chỗ/đúc sẵn), sợi gốm và tấm siêu cách nhiệt vi mô (microporous),

cùng dịch vụ thiết kế, thi công, sấy lò. Lớp phủ bức xạ nhiệt cao là hạng mục chuyên biệt, cần nhà cung cấp có kinh nghiệm về tương thích hóa học, nhiệt và quy trình thi công. Khuyến nghị lập hồ sơ dữ liệu trước, sau (nhiệt độ vỏ, tổn thất vách, suất tiêu hao năng lượng) để xác nhận hiệu quả và làm đường cơ sở cho bảo trì theo tình trạng. Khi được triển khai đồng bộ với làm kín cửa, điều khiển áp suất buồng lò và tối ưu cháy, nâng cấp cách nhiệt và lớp lót tạo ra nền hiệu suất ổn định, giúp các biện pháp khác (thu hồi nhiệt, điều chỉnh oxy dư tự động) phát huy tối đa.

Bảng 5. Đánh giá nhanh mức độ trưởng thành và khả năng áp dụng tại Việt Nam (Nhóm cách nhiệt & lớp lót chịu lửa)

Giải pháp/công nghệ	Mức độ sẵn sàng công nghệ (TRL 1-9)	Chi phí đầu tư / chi phí vận hành	Tính khả dụng (thị trường/nhà cung cấp)	Khả năng áp dụng tại Việt Nam (điều kiện kèm theo)
Bịt kín và giảm rò rỉ tại cửa lò, khe hở, cửa quan sát; thay gioăng, cải tiến cơ cấu đóng cửa	9	Thấp / Thấp	Rất sẵn	Rất cao. Hiệu quả nhanh nếu hiện trạng rò rỉ lớn. Điều kiện: kiểm tra định kỳ, duy trì cơ cấu đóng kín và kỷ luật vận hành.
Tăng cường lớp cách nhiệt vỏ lò/đường ống nóng; giảm “cầu nhiệt” tại gân, khung, bệ đỡ	9	Thấp–Trung bình / Thấp	Sẵn	Cao. Phù hợp hầu hết lò. Điều kiện: lựa chọn vật liệu theo nhiệt độ làm việc, bảo vệ chống ẩm và rung, thi công đúng tiêu chuẩn.
Thay/đổi cấu trúc lớp lót chịu lửa: vật liệu nhẹ hóa ở vùng nhiệt độ phù hợp; tối ưu chiều dày từng vùng	8–9	Trung bình / Thấp	Sẵn (cần thiết kế theo từng lò)	Cao (có điều kiện). Hiệu quả tốt khi bề mặt lò đang nóng bất thường hoặc lớp lót đã lão hóa. Điều kiện: đánh giá nhiệt độ theo vùng, tính toán cơ học–giãn nở, nghiệm thu thi công.
Sử dụng vật liệu chịu lửa đúc liền khối ít xi măng/độ bền cao; tối ưu neo giữ và mạch giãn nở	8–9	Trung bình–Cao / Thấp	Sẵn (phụ thuộc nhà thầu và vật liệu)	Trung bình–Cao. Phù hợp nơi sốc nhiệt/rung lớn hoặc yêu cầu độ bền lớp lót cao. Điều kiện: kiểm soát cấp phối, quy trình đổ–dưỡng hộ–sấy khô, quản lý chất lượng nghiêm.
Sử dụng mô-đun sợi gốm/cách nhiệt dạng sợi cho vùng phù hợp	8–9	Trung bình / Thấp	Sẵn	Trung bình–Cao. Hiệu quả khi cần giảm thất thoát và tăng tốc độ gia nhiệt. Điều kiện: phù hợp nhiệt độ, môi trường bụi/ăn mòn; bảo vệ cơ học; tuân thủ an toàn khi thi công và thay thế.

Giải pháp/công nghệ	Mức độ sẵn sàng công nghệ (TRL 1–9)	Chi phí đầu tư / chi phí vận hành	Tính khả dụng (thị trường/nhà cung cấp)	Khả năng áp dụng tại Việt Nam (điều kiện kèm theo)
Lớp phủ/giải pháp bề mặt nhằm giảm bức xạ và hạn chế bám xỉ (tùy vật liệu và lò)	7–9	Trung bình / Thấp–Trung bình	Có nhưng chọn lọc	Trung bình (chọn lọc). Chỉ nên áp dụng khi đã xác định cơ chế bám xỉ/ăn mòn và có điều kiện thử nghiệm tại chỗ. Điều kiện: đánh giá tương thích hóa học, kế hoạch kiểm tra suy giảm định kỳ.
Giám sát suy giảm lớp lót bằng đo nhiệt độ bề mặt/ảnh nhiệt để phát hiện điểm nóng và lập kế hoạch sửa chữa	8–9	Thấp–Trung bình / Thấp	Sẵn	Cao. Phù hợp mọi loại lò. Điều kiện: quy trình đo chuẩn, ngưỡng cảnh báo và cơ chế phản hồi bảo trì rõ ràng.

Nên ưu tiên triển khai trước các giải pháp TRL 9, chi phí thấp và tác động tức thời như bịt kín rò rỉ, tăng cường cách nhiệt và giám sát điểm nóng, vì dễ triển khai và ít rủi ro. Các hạng mục thay đổi cấu trúc lớp lót hoặc vật liệu chịu lửa quy mô lớn chỉ nên quyết định sau khi đo kiểm hiện trạng (nhiệt độ bề mặt/điểm nóng), đánh giá nguyên nhân hư hỏng và chốt phương án thi công–sấy khô nhằm tránh rủi ro nứt vỡ, bong tróc và dừng lò kéo dài.

2.2.4 Số hóa & giám sát

Số hóa và giám sát là nền tảng vận hành theo dữ liệu, giúp lò công nghiệp duy trì hiệu suất mục tiêu và kiểm soát chất lượng theo thời gian thực. Trọng tâm là mở rộng lớp đo lường và lớp điều hành. Ở lớp đo lường, lắp cặp nhiệt điện đa điểm để nắm nhiệt độ theo vùng; đầu dò oxy và khí cần cảm biến CO/NOx để đánh giá cháy; đo áp suất, lưu lượng, chênh áp trên đường gió/khói; camera hồng ngoại cho giám sát ngọn lửa và trường nhiệt. Toàn bộ tín hiệu đưa về SCADA/DAS (hệ giám sát, thu thập dữ liệu) làm cơ sở thiết lập bảng chỉ số hiệu quả, đặc biệt là suất tiêu hao năng lượng và các đồ thị chuẩn. Ở lớp điều hành, triển khai Điều chỉnh oxy dư tự động (tự động tinh chỉnh oxy), điều khiển theo công thức và từng bước áp dụng điều khiển dự đoán theo mô hình để tối ưu tốc độ băng tải/xe goòng, phân bổ công suất giữa các vùng và giữ ổn định áp suất buồng lò.

Phạm vi áp dụng hầu như không giới hạn. Mọi lò đốt nhiên liệu đều hưởng lợi, đặc biệt là các dây chuyền có nhiều lò hoặc sản lượng lớn, nơi biến động tải và thay đổi sản phẩm diễn ra liên tục. Nhờ số hóa, doanh nghiệp chuyển từ kiểm tra sau sự kiện sang giám sát chủ động với cảnh báo sớm, giúp ra quyết định tức thời và giảm phụ thuộc vào kinh nghiệm cá nhân.

Các chỉ số hiệu quả mục tiêu kỳ vọng gồm: suất tiêu hao năng lượng có xu hướng giảm theo thời gian nhờ tối ưu vận hành; độ lệch nhiệt độ giữa các vùng lò được thu hẹp (độ lệch chuẩn nằm trong giới hạn cho phép theo quy trình công

nghe); thời gian dừng máy do sự cố giảm tối thiểu 20–30% nhờ hệ thống cảnh báo sớm các hiện tượng bất thường như nhiều quá trình đốt, rò rỉ khí, tắc bẩn thiết bị trao đổi nhiệt hoặc lệch áp suất buồng lò. Đồng thời, cần bổ sung các chỉ số công nghệ như tỷ lệ sản phẩm đạt chất lượng, thời gian chu kỳ, và hiệu suất thiết bị tổng thể nhằm liên kết trực tiếp giữa năng lượng – chất lượng – năng suất.

Lợi ích định lượng thường ở mức 3–10% tiết kiệm nhiên liệu/điện từ tối ưu điểm đặt, tinh chỉnh O₂ và điều khiển tốc độ quạt bằng biến tần, chưa kể lợi ích chất lượng và năng lực truy vết mẻ. Với lò có tải lớn, gói đo O₂ kết hợp điều chỉnh oxy dư tự động và biến tần thường có thời gian hoàn vốn < 1 năm; khi mở rộng sang SCADA + phân tích dữ liệu, hoàn vốn điển hình 1–2 năm nhờ giảm dừng máy và tiêu hao nèn.

Rủi ro chủ yếu nằm ở dữ liệu nhiều hoặc thiếu và tâm lý ngại thay đổi. Biện pháp giảm thiểu là chuẩn hóa cảm biến (vị trí lắp, dải đo, bảo vệ nhiệt/ăn mòn), xây dựng lịch hiệu chuẩn và quy trình kiểm tra chéo; thiết kế kiến trúc dữ liệu nhất quán (tần suất lấy mẫu, gán nhãn dữ liệu, lưu trữ); và triển khai đào tạo quy trình vận hành chuẩn để gắn dữ liệu với hành động cụ thể. Với camera hồng ngoại và cảm biến khí, cần đánh giá điều kiện môi trường (bụi, bức xạ, rung, nhiệt cao) và giải pháp bảo vệ (làm mát, thổi rửa bằng khí sạch, ống ngắm).

Lộ trình triển khai khuyến nghị theo ba bước:

(1) Đo lường trọng yếu: trang bị đầu dò đo oxy dư (O₂), bổ sung các điểm đo nhiệt độ, áp suất và chênh áp; đồng thời kích hoạt điều chỉnh oxy dư tự động và sử dụng biến tần cho quạt cấp/hút.

(2) Xây dựng nền tảng dữ liệu: triển khai hệ thống thu thập và giám sát dữ liệu tập trung (SCADA/DAS), xây dựng bảng điều khiển KPI, thiết lập đường cơ sở SEC và biểu đồ chuẩn cho từng loại sản phẩm.

(3) Tối ưu nâng cao: phân tích dữ liệu lịch sử để xác định giá trị đặt tối ưu, thiết lập cảnh báo sớm bất thường, và từng bước thử nghiệm điều khiển dự báo theo mô hình (MPC) đối với các vùng vận hành nhạy cảm.

Cách tiếp cận này giúp “khóa” hiệu quả đã đạt được từ các dự án nâng cấp đầu đốt, hồi nhiệt, cách nhiệt; đồng thời tạo năng lực vận hành theo dữ liệu (data-driven operations) bền vững cho nhà máy.

2.2.5 Chuyển đổi nhiên liệu

Chuyển đổi nhiên liệu là đòn bẩy chiến lược để giảm phát thải trực tiếp và nâng chuẩn môi trường của lò công nghiệp, đồng thời tạo biên độ linh hoạt trước biến động giá năng lượng. Trực giải pháp gồm: điện hóa bằng điện trở/bức xạ, cảm ứng hoặc hồ quang; lai ghép giữa điện và đốt; đồng đốt sinh khối/nhiên liệu từ chất thải; và đầu đốt chuẩn bị sẵn cho hydro. Về nguyên lý, điện hóa chuyển năng lượng điện thành nhiệt ngay tại vị trí cần gia nhiệt, loại bỏ tổn thất cháy và

phát thải tại chỗ; hybrid cho phép “pha trộn” nguồn nhiệt theo tải và mục tiêu chi phí; đồng đốt tận dụng nhiên liệu tái tạo sẵn có tại địa phương để hạ cường độ các-bon; còn đầu đốt chuẩn bị sẵn cho hydro mở ra phương án thay thế một phần/hoàn toàn khí tự nhiên khi nguồn H_2 khả dụng.

Phạm vi áp dụng các giải pháp chuyển đổi năng lượng phụ thuộc chặt chẽ vào yêu cầu chất lượng sản phẩm và hạ tầng năng lượng của từng cơ sở. Các quy trình gia nhiệt cục bộ, nhiệt luyện chính xác và xử lý bề mặt thường phù hợp với gia nhiệt điện trở hoặc cảm ứng nhờ khả năng điều khiển chính xác, môi trường sạch và tính lặp lại cao; các công đoạn nấu và giữ kim loại có thể áp dụng cảm ứng hoặc hồ quang điện tùy theo quy mô và sản lượng. Đối với các quy trình nung, thiêu kết và hoàn nguyên công suất lớn (ví dụ sản xuất clanhke hoặc vôi), giải pháp thực tiễn hơn là đồng đốt sinh khối hoặc nhiên liệu từ chất thải (RDF), kết hợp lộ trình tăng dần tỷ lệ thay thế nhiên liệu và cải thiện đặc tính đầu đốt cũng như khí động học buồng cháy. Đối với hiđrô, ứng dụng trước mắt phù hợp nhất là pha trộn H_2 ở tỷ lệ thấp đến trung bình vào dòng khí đốt hiện hữu, song song với việc nâng cấp đầu đốt sẵn sàng cho hiđrô, hệ thống cấp khí và các yêu cầu an toàn chuyên biệt.

Về chỉ số mục tiêu, các giải pháp chuyển đổi có thể giảm phát thải CO_2 trực tiếp từ 20–100% tùy theo lộ trình triển khai (điện hóa giúp loại bỏ phát thải tại chỗ; đồng đốt sinh khối/nhiên liệu từ chất thải giảm phát thải theo tỷ lệ thay thế nhiên liệu; hiđrô gần như không phát sinh CO_2 tại điểm đốt). Phát thải ôxít nito (NOx) thường giảm mạnh khi điện hóa; với hiđrô cần áp dụng các chiến lược giảm NOx như phân tầng quá trình đốt hoặc tuần hoàn khí thải để kiểm soát nhiệt độ đỉnh ngọn lửa. Ở một số quy trình, gia nhiệt cảm ứng cho phép tăng tốc độ nung nhờ mật độ công suất cao, rút ngắn chu kỳ và giảm tổn thất nền. Các chỉ số hiệu quả trọng yếu cần theo dõi gồm: suất tiêu hao năng lượng, hệ số công suất điện, tỷ lệ thay thế nhiên liệu (% sinh khối/nhiên liệu từ chất thải/ H_2), phát thải NOx , và độ ổn định chất lượng sản phẩm.

Bài toán kinh tế mang tính trường hợp cụ thể. Chi phí đầu tư cho điện hóa hoặc hệ lai điện – đốt thường cao đến rất cao do yêu cầu về phần tử điện, tủ công suất, hệ làm mát và nâng cấp lưới điện; chi phí vận hành phụ thuộc mạnh vào tương quan giá điện – giá nhiên liệu và khả năng điều độ phụ tải thông qua hệ thống quản lý năng lượng để tránh các khung giờ giá cao. Đồng đốt sinh khối/nhiên liệu từ chất thải có chi phí đầu tư trung bình (chủ yếu cho cải tạo đầu đốt và hệ thống cấp liệu) nhưng đòi hỏi chuỗi cung ứng nhiên liệu ổn định, đặc biệt về độ ẩm và thành phần. Đối với hiđrô, do hạn chế về nguồn cung và chi phí, cách tiếp cận hợp lý hiện nay là đầu đốt sẵn sàng cho hydro: chuẩn hóa vật liệu, béc phun, van và liên động an toàn ngay từ giai đoạn thiết kế hoặc cải tạo để sẵn sàng tăng tỷ lệ hiđrô khi điều kiện thị trường cho phép. Việc đánh giá kinh tế nên dựa trên chi

phí vòng đời, bao gồm chi phí đầu tư, chi phí năng lượng, bảo trì, dừng máy và chi phí các-bon (nếu áp dụng).

Quản trị rủi ro là yêu cầu bắt buộc. Vật liệu chịu lửa cần được kiểm chứng tương thích với phổ nhiệt và môi trường khí mới (hiđrô có ngọn lửa lan truyền nhanh và khuếch tán cao; sinh khối/nhiên liệu từ chất thải có tro và kiềm gây bám bẩn và ăn mòn). Với hiđrô, phải thực hiện đánh giá an toàn cháy nổ toàn diện, bao gồm phát hiện rò rỉ, thông gió cưỡng bức, van an toàn, thổi rửa, khóa liên động an toàn đạt cấp mức độ toàn vẹn an toàn và đào tạo nhân sự. Với điện hóa, rủi ro chuyển sang điện – nhiệt, đòi hỏi bảo vệ hồ quang, kiểm soát làm mát, xử lý sóng hài và giới hạn công suất; do đó cần tích hợp hệ thống quản lý năng lượng và lập kế hoạch vận hành theo biểu giá điện. Đồng đốt yêu cầu kiểm soát chất lượng nhiên liệu (kích thước hạt, độ ẩm, clo/lưu huỳnh) và lựa chọn giải pháp lọc bụi – chống ăn mòn phù hợp để bảo vệ thiết bị, đặc biệt là hệ thống thu hồi nhiệt.

Về mức độ sẵn có của công nghệ, cảm ứng và hồ quang đã được áp dụng rộng rãi trong luyện kim; gia nhiệt điện trở/bức xạ sẵn sàng cho xử lý nhiệt và gốm kỹ thuật; đồng đốt sinh khối/nhiên liệu từ chất thải đã được triển khai ở quy mô thương mại tại nhiều nhà máy; đầu đốt sẵn sàng cho hiđrô đã có trên thị trường, tuy nhiên nguồn cung hiđrô còn hạn chế. Lộ trình khuyến nghị gồm:

- (1) đánh giá kỹ thuật, chất lượng và an toàn;
- (2) mô phỏng cân bằng năng lượng và phụ tải điện;
- (3) phân tích chi phí vòng đời và các kịch bản giá năng lượng/các-bon;
- (4) thí điểm quy mô nhỏ, sau đó mở rộng theo các mốc giảm phát thải và trần chi phí đã phê duyệt.

Cách tiếp cận này giúp doanh nghiệp khử các-bon có kiểm soát, tránh gián đoạn sản xuất, đồng thời tối ưu hiệu quả đầu tư theo từng giai đoạn.

Bảng 6. Đánh giá nhanh mức độ trưởng thành và khả năng áp dụng tại Việt Nam (Nhóm chuyển đổi nhiên liệu)

Giải pháp/công nghệ	Mức độ sẵn sàng công nghệ (TRL 1–9)	Chi phí đầu tư / chi phí vận hành	Tính khả dụng (thị trường/nhà cung cấp)	Khả năng áp dụng tại Việt Nam (điều kiện kèm theo)
Điện hóa bằng gia nhiệt điện trở / tấm phát nhiệt / dây điện trở (thay thế một phần hoặc toàn bộ đốt nhiên liệu)	8–9	Trung bình–Cao / Phụ thuộc giá điện (thường tăng nếu giá điện cao, nhưng giảm chi phí bảo trì đốt)	Sẵn	Trung bình–Cao (chọn lọc). Phù hợp lò sấy, lò nhiệt luyện, một số lò gia nhiệt quy mô vừa. Điều kiện: đủ công suất điện và hạ tầng cấp điện; đánh giá giới hạn nhiệt độ làm việc, vật liệu gia nhiệt và chi phí vận hành theo giờ cao điểm.

Giải pháp/công nghệ	Mức độ sẵn sàng công nghệ (TRL 1-9)	Chi phí đầu tư / chi phí vận hành	Tính khả dụng (thị trường/nhà cung cấp)	Khả năng áp dụng tại Việt Nam (điều kiện kèm theo)
Điện hóa bằng gia nhiệt cảm ứng (gia nhiệt trực tiếp vật liệu dẫn điện)	9	Cao / Trung bình (hiệu suất cao, nhưng phụ thuộc giá điện)	Sẵn (nhiều nhà cung cấp)	Cao cho ứng dụng phù hợp (nấu/luyện kim loại, gia nhiệt phối, tôi cao tần...). Điều kiện: vật liệu và hình học sản phẩm phù hợp; yêu cầu làm mát, an toàn điện và che chắn điện từ.
Hệ lai điện – nhiên liệu (điện hóa một phần, duy trì đầu đốt để đạt nhiệt độ/đáp ứng tải)	8-9	Trung bình–Cao / Phụ thuộc cơ cấu vận hành	Có sẵn, thường theo giải pháp tích hợp	Cao (thực tế triển khai tốt). Phù hợp nơi cần linh hoạt theo giá năng lượng/đáp ứng tải. Điều kiện: chiến lược vận hành rõ ràng (khi nào chạy điện/khi nào đốt), nâng cấp điều khiển liên động và an toàn.
Chuyển sang sinh khối (trấu, mùn cưa, viên nén...) bằng đầu đốt/lò đốt sinh khối	8-9	Trung bình / Trung bình (chi phí nhiên liệu + logistics + tro xỉ)	Sẵn	Trung bình–Cao (có điều kiện). Khả thi khi có nguồn sinh khối ổn định gần nhà máy. Điều kiện: kiểm soát độ ẩm, kích thước; xử lý tro xỉ; kiểm soát bụi/khí thải; bố trí kho bãi và phòng cháy chữa cháy.
Sử dụng nhiên liệu từ chất thải cho lò/hệ đốt phù hợp	7-9	Trung bình–Cao / Trung bình (phụ thuộc chất lượng RDF và chi phí xử lý môi trường)	Có nhưng không đồng đều	Trung bình (chọn lọc). Phù hợp cơ sở có yêu cầu nhiệt lớn và có hệ thống xử lý khí thải tốt. Điều kiện then chốt: chất lượng nhiên liệu từ chất thải ổn định (nhiệt trị, clo, ẩm), quản lý phát thải và ăn mòn; tuân thủ yêu cầu pháp lý về môi trường và đồng xử lý.
Đồng đốt (trộn một phần nhiên liệu thay thế vào nhiên liệu chính: sinh khối/nhiên liệu từ chất thải cùng than /dầu /khí)	8-9	Trung bình / Trung bình	Sẵn	Cao nếu kiểm soát tốt nhiên liệu. Là bước chuyển tiếp hiệu quả khi chưa thể chuyển đổi toàn phần. Điều kiện: thiết kế cấp liệu phù hợp, kiểm soát ổn định ngọn lửa, theo dõi phát thải; quy trình

Giải pháp/công nghệ	Mức độ sẵn sàng công nghệ (TRL 1–9)	Chi phí đầu tư / chi phí vận hành	Tính khả dụng (thị trường/nhà cung cấp)	Khả năng áp dụng tại Việt Nam (điều kiện kèm theo)
				kiểm soát chất lượng nhiên liệu đầu vào.
Đầu đốt “sẵn sàng cho hiđrô” (thiết kế cho khả năng chuyển sang hiđrô hoặc pha trộn tỷ lệ nhất định)	6–8	Trung bình–Cao / Phụ thuộc giá hiđrô	Đã có sản phẩm, nhưng triển khai còn chọn lọc	Thấp–Trung bình (hiện tại), tăng dần khi thị trường hiđrô hình thành. Điều kiện: nguồn hiđrô ổn định; yêu cầu an toàn rất cao; kiểm soát ôxít nitơ; đánh giá rủi ro cháy ngược, rò rỉ và vật liệu đường ống/phụ kiện.
Đồng đốt hiđrô tỷ lệ thấp (pha một phần hiđrô vào nhiên liệu khí)	6–8	Trung bình / Cao (do chi phí hiđrô hiện thường cao)	Chọn lọc	Thấp–Trung bình (thí điểm/đặc thù). Chỉ nên cân nhắc khi có nguồn hiđrô tại chỗ (phụ phẩm/quy trình khác) và có hệ an toàn đầy đủ; yêu cầu kiểm soát phát thải và ổn định cháy.

Nên ưu tiên các phương án chuyển đổi theo lộ trình: bắt đầu bằng đồng đốt hoặc hệ lai điện – nhiên liệu khi chưa chắc chắn về nguồn cung/năng lực hạ tầng, vì rủi ro thấp hơn và linh hoạt vận hành. Các phương án điện hóa toàn phần, RDF quy mô lớn hoặc sẵn sàng cho hiđrô chỉ nên đưa vào danh mục tiền khả thi khi đã chốt được hạ tầng cung cấp (điện/nhiên liệu), phương án an toàn – môi trường và bài toán chi phí vận hành theo tổng chi phí vòng đời.

2.2.6 Tích hợp nhiệt & cân bằng năng lượng

Tích hợp nhiệt là chiến lược tận dụng nhiệt dư trong dây chuyền để giảm phụ tải cho lò, từ đó nâng hiệu suất tổng thể của nhà máy. Nguyên lý là dùng khí thải sau trao đổi nhiệt của lò để tiền gia nhiệt liệu, sấy khuôn/đường ống, sưởi không gian hoặc cấp cho các công đoạn lân cận có nhu cầu ở mức nhiệt phù hợp; song song cân bằng nhiệt giữa các công đoạn nóng, nguội, tối ưu toàn tuyến áp suất, lưu lượng quạt gió/khói. Cách tiếp cận này không can thiệp sâu vào lõi công nghệ của lò nhưng tạo ra lợi ích cộng hưởng, đặc biệt tại nhà máy có nhiều phụ tải nhiệt gần nhau, đường ống ngắn, chênh nhiệt đủ lớn để truyền nhiệt hiệu quả.

Các chỉ số hiệu quả bao gồm giảm phụ tải lò chính 5–15%, nâng hiệu suất dây chuyền, hạ nhiệt độ khói thải cuối tuyến, và giảm điện năng phụ trợ nhờ vận hành quạt tại điểm hiệu suất cao. Lợi ích bổ sung là cải thiện điều kiện làm việc (nhiệt trường xưởng ổn định hơn), giảm điểm nóng cục bộ và hạn chế số lần mở cửa lò nhờ tiền gia nhiệt/giữ nhiệt hợp lý.

Về hiệu quả kinh tế, chi phí đầu tư ban đầu ở mức trung bình, tập trung chủ yếu cho thiết bị trao đổi nhiệt tiêu chuẩn, hệ đường ống, van điều khiển, đường đi vòng, cách nhiệt và hệ thống điều khiển. Trong trường hợp tận dụng được hạ tầng hiện hữu, thời gian hoàn vốn điển hình khoảng 1–2 năm. Các rủi ro chính bao gồm nhiễm bẩn chéo và ăn mòn trong quá trình trao đổi khí – khí hoặc khí – chất lỏng. Do đó, cần lựa chọn vật liệu phù hợp (như thép chịu nhiệt, hợp kim niken hoặc vật liệu gốm), tách dòng tại các đoạn nhạy cảm, bố trí nhánh đi vòng để duy trì vận hành khi tổn thất áp suất tăng, đồng thời kiểm soát hiện tượng ngưng tụ axit bằng cách thiết lập nhiệt độ tối thiểu tại các đoạn lạnh của hệ thống.

Về mức độ sẵn sàng công nghệ, đa số nhà máy có thể triển khai giải pháp này thông qua thiết bị tiêu chuẩn và kết nối với hệ thống ống gió/ống khói hiện có, kết hợp hệ thống giám sát và điều khiển tập trung (SCADA) để theo dõi cân bằng năng lượng theo thời gian thực.

Bảng 7. Đánh giá nhanh mức độ trưởng thành và khả năng áp dụng tại Việt Nam (Nhóm tích hợp nhiệt & cân bằng năng lượng)

Giải pháp/công nghệ	Mức độ sẵn sàng công nghệ (TRL 1–9)	Chi phí đầu tư / chi phí vận hành	Tính khả dụng (thị trường / nhà cung cấp)	Khả năng áp dụng tại Việt Nam (điều kiện kèm theo)
Lập cân bằng năng lượng cho lò và dây chuyền (xác định “điểm tiêu hao lớn”, tổn thất qua khói, vỏ lò, rò rỉ, làm mát...)	9	Thấp / Thấp	Rất sẵn (có thể tự thực hiện hoặc thuê tư vấn)	Rất cao. Điều kiện: có số liệu đo/ghi chép đủ tin cậy (nhiên liệu, gió, nhiệt độ, sản lượng, giờ vận hành).
Tối ưu chế độ vận hành theo tải và lịch sản xuất (giảm chạy non tải, giảm thời gian chờ nóng, tối ưu lịch nung/sấy)	9	Thấp / Thấp	Rất sẵn	Cao. Phụ thuộc kỹ luật vận hành và phối hợp sản xuất–bảo trì. Điều kiện: có quy trình, phân quyền điều chỉnh và theo dõi chỉ số tiêu hao theo ca.
Tối ưu mạng phân phối nhiệt (hơi/nước nóng/khí nóng): rút ngắn tuyến, giảm thất thoát, tối ưu áp suất–nhiệt độ phân phối	9	Thấp–Trung bình / Thấp	Sẵn	Cao. Điều kiện: khảo sát hiện trạng, xử lý rò rỉ và cách nhiệt đường ống, kiểm soát bẫy hơi/van.
Tăng cường trao đổi nhiệt giữa các dòng nóng–lạnh trong dây chuyền (bố trí lại/thiết kế bổ sung thiết bị trao đổi nhiệt)	8–9	Trung bình / Thấp	Sẵn	Trung bình–Cao (có điều kiện). Điều kiện then chốt: có dòng nóng và dòng lạnh “phù hợp” về nhiệt độ và lưu lượng, có mặt bằng lắp đặt và khả năng dừng máy để thi công.

Giải pháp/công nghệ	Mức độ sẵn sàng công nghệ (TRL 1-9)	Chi phí đầu tư / chi phí vận hành	Tính khả dụng (thị trường / nhà cung cấp)	Khả năng áp dụng tại Việt Nam (điều kiện kèm theo)
Tối ưu “mạng trao đổi nhiệt” theo phương pháp phân tích điểm thất (xác định mức nhiệt tối thiểu cần gia nhiệt/làm mát, xác định vị trí ưu tiên thu hồi)	7-9	Thấp- Trung bình / Thấp	Có (thường qua đơn vị tư vấn/thiết kế)	Trung bình. Hiệu quả cao cho nhà máy nhiều công đoạn, nhưng cần dữ liệu tốt và phối hợp liên phòng ban.
Tích trữ nhiệt (tận dụng nhiệt thải theo thời gian, giảm lệch pha giữa lúc có nhiệt và lúc cần nhiệt)	7-9	Trung bình-Cao / Thấp- Trung bình	Có nhưng chọn lọc	Trung bình (chọn lọc). Phù hợp khi vận hành theo mẻ hoặc có chênh lệch thời gian giữa nguồn nhiệt thải và nhu cầu sử dụng. Điều kiện: mặt bằng, vật liệu phù hợp và đánh giá an toàn.
Bơm nhiệt công nghiệp để nâng nhiệt mức thấp lên mức hữu ích (kết hợp cân bằng năng lượng toàn nhà máy)	8-9	Cao / Trung bình (chi phí điện là chính)	Đang tăng	Trung bình (có điều kiện). Phù hợp nơi có nhiều nhiệt thải nhiệt độ thấp nhưng nhu cầu nhiệt ở mức trung bình. Điều kiện: tải ổn định, tính toán kinh tế theo giá điện và phương án vận hành.

Nên ưu tiên thực hiện trước việc lập cân bằng năng lượng và tối ưu vận hành theo tải/ lịch sản xuất, vì chi phí thấp, rủi ro thấp và tạo “bản đồ cơ hội” cho toàn bộ giải pháp phía sau. Các hạng mục cải tạo tích hợp nhiệt có đầu tư trung bình–cao (bố trí bổ sung trao đổi nhiệt, tích trữ nhiệt, bơm nhiệt công nghiệp) chỉ nên triển khai khi đã xác định được dòng nóng–lạnh phù hợp, mức tiết kiệm dự kiến và điều kiện dừng máy/thi công, đồng thời đánh giá theo tổng chi phí vòng đời để hạn chế rủi ro “đầu tư xong nhưng không khai thác hết công suất”.

2.2.7 Vận hành – bảo trì chuẩn hóa

Vận hành, bảo trì chuẩn hóa là “lớp nền” bảo đảm hiệu quả thu được từ các dự án kỹ thuật không bị trôi theo thời gian. Trọng tâm là xây dựng và tuân thủ quy trình vận hành chuẩn cho các thao tác nạp/ra liệu, đóng/mở cửa, chế độ thổi làm sạch, thay đổi tải; triển khai bảo trì dự phòng cho đầu đốt, béc phun, bơm dầu, quạt, vệ sinh bộ hâm không khí, kiểm tra kín khí định kỳ; đồng thời đào tạo vận hành và an toàn cháy nổ có chứng chỉ. Mục tiêu là nâng tỷ lệ chạy ổn định, giảm dừng máy do sự cố, duy trì nhiệt độ vỏ lò trong ngưỡng cho phép và đưa rò rỉ khí về gần 0.

Về chỉ số hiệu quả, nhóm giải pháp quản trị và quy trình vận hành thường mang lại mức tiết kiệm năng lượng 2–6% dưới dạng không cần đầu tư hoặc đầu tư rất thấp, đồng thời kéo dài tuổi thọ của lớp lót chịu lửa, đầu đốt và quạt, và giảm rủi ro mất an toàn trong vận hành. Chi phí triển khai ở mức rất thấp, chủ yếu dành cho đào tạo nhân sự, vật tư dự phòng và thiết bị đo – kiểm tra.

Rủi ro lớn nhất là thiếu kỷ luật vận hành và thiếu phụ tùng dự phòng. Các biện pháp khắc phục bao gồm đào tạo định kỳ, đánh giá tay nghề, áp dụng cơ chế thưởng – phạt minh bạch, kiểm tra nội bộ theo danh mục kiểm tra, và xây dựng kế hoạch tồn kho tối ưu dựa trên dữ liệu thời gian trung bình giữa hai lần hỏng và thời gian sửa chữa trung bình. Khi gắn chuẩn vận hành vào hệ thống giám sát và thu thập dữ liệu (SCADA/DAS) thông qua nhật ký điện tử, cảnh báo vượt ngưỡng và xác nhận số, doanh nghiệp có thể hình thành vòng lặp cải tiến liên tục, bảo đảm lò công nghiệp luôn vận hành gần điểm hiệu suất thiết kế và sẵn sàng cho các bước cải tiến tiếp theo.

Giải pháp/công nghệ	Mức độ sẵn sàng công nghệ (TRL 1–9)	Chi phí đầu tư / chi phí vận hành	Tính khả dụng (thị trường/nguồn lực)	Khả năng áp dụng tại Việt Nam (điều kiện kèm theo)
Xây dựng và áp dụng quy trình vận hành chuẩn; danh mục kiểm tra theo ca/kíp (khởi động–dừng lò, tăng/giảm tải, kiểm soát an toàn)	9	Thấp / Thấp	Rất sẵn (tự xây dựng hoặc thuê tư vấn)	Rất cao. Điều kiện: phân quyền rõ, đào tạo và giám sát tuân thủ; cập nhật theo thay đổi thiết bị/quy trình.
Chuẩn hóa chế độ đốt và hiệu chỉnh định kỳ (kiểm soát oxy dư, ổn định ngọn lửa, giảm thừa gió)	9	Thấp–Trung bình / Thấp	Sẵn (có thể tự làm hoặc thuê nhà cung cấp)	Cao. Điều kiện: có điểm đo tối thiểu (oxy dư/nhiệt độ/áp), lịch hiệu chuẩn cảm biến và hồ sơ theo dõi.
Bảo trì dự phòng theo kế hoạch (vệ sinh trao đổi nhiệt, xử lý rò rỉ, thay gioăng, kiểm tra cửa lò, kiểm tra quạt–đường ống)	9	Thấp–Trung bình / Trung bình (tăng công bảo trì nhưng giảm dừng máy)	Rất sẵn	Rất cao. Điều kiện: lập kế hoạch theo rủi ro, vật tư dự phòng, phân công trách nhiệm và đánh giá sau bảo trì.
Bảo trì theo tình trạng (dựa trên rung, nhiệt độ ổ trục, chênh áp lọc, nhiệt độ bề mặt lò...)	8–9	Trung bình / Thấp–Trung bình	Sẵn (thiết bị đo và dịch vụ phổ biến)	Cao (có điều kiện). Điều kiện: chọn đúng chỉ tiêu theo thiết bị, thiết lập ngưỡng cảnh báo và quy trình phản ứng.

Giải pháp/công nghệ	Mức độ sẵn sàng công nghệ (TRL 1–9)	Chi phí đầu tư / chi phí vận hành	Tính khả dụng (thị trường/nguồn lực)	Khả năng áp dụng tại Việt Nam (điều kiện kèm theo)
Bảo trì dự đoán (dựa trên phân tích dữ liệu lịch sử và xu hướng)	7–9	Trung bình–Cao / Trung bình	Có nhưng chọn lọc	Trung bình. Phù hợp nhà máy có dữ liệu tốt và tổ chức bảo trì trưởng thành. Điều kiện: dữ liệu đủ dài, chuẩn hóa mã sự cố, năng lực phân tích và cải tiến liên tục.
Quản lý năng lượng theo chỉ số (suất tiêu hao theo ca/kíp, theo sản phẩm; bảng theo dõi và hợp rà soát định kỳ)	9	Thấp / Thấp	Rất sẵn	Cao. Điều kiện: đo lường tối thiểu và thống nhất cách tính; gắn trách nhiệm với ca/kíp và cơ chế thưởng–phạt hợp lý.
Đào tạo và đánh giá năng lực vận hành – an toàn (định kỳ, theo vị trí công việc)	9	Thấp–Trung bình / Thấp	Rất sẵn	Rất cao. Điều kiện: tài liệu đào tạo phù hợp công nghệ lò, có bài kiểm tra và giám sát hiện trường.
Số hóa nhật ký vận hành và bảo trì (PLC/SCADA/ghi dữ liệu) để truy vết nguyên nhân và tối ưu	8–9	Trung bình / Thấp	Sẵn	Cao (có điều kiện). Điều kiện: chuẩn hóa điểm đo, quyền truy cập dữ liệu, quy trình sử dụng dữ liệu trong quyết định vận hành/bảo trì.

Nên ưu tiên triển khai trước các nội dung TRL 9 và chi phí thấp như quy trình vận hành chuẩn, danh mục kiểm tra theo ca, hiệu chỉnh chế độ đốt định kỳ và bảo trì dự phòng, vì đây là “nền móng” giúp giảm thất thoát ngay và duy trì hiệu quả lâu dài. Các nội dung dựa trên dữ liệu nâng cao (bảo trì theo tình trạng, bảo trì dự đoán, số hóa nhật ký) chỉ nên mở rộng khi nhà máy đã ổn định hệ thống đo lường, chuẩn hóa dữ liệu và có cơ chế phản ứng rõ ràng để chuyển cảnh báo thành hành động, tránh đầu tư hệ thống nhưng không khai thác hiệu quả.

2.3 Lợi ích của công nghệ tiết kiệm năng lượng

Việc triển khai các giải pháp TKNL cho lò công nghiệp (không bao gồm lò hơi, lò dầu tải nhiệt, lò sấy) tạo ra giá trị đa chiều: kỹ thuật – vận hành, kinh tế – tài chính và môi trường – xã hội. Lợi ích không chỉ đến từ mức giảm nhiên liệu trực

tiếp mà còn từ ổn định chất lượng, tăng tính sẵn sàng thiết bị và khả năng đáp ứng chuẩn mực tuân thủ ngày càng khắt khe.

2.3.1 Lợi ích kỹ thuật – vận hành

Nhìn từ lăng kính kỹ thuật – vận hành, các giải pháp tiết kiệm năng lượng cho lò công nghiệp tạo ra một chuỗi lợi ích gắn kết và gia tăng theo thời gian. Trước hết là hiệu suất nhiệt. Khi tối ưu cháy, tinh chỉnh lượng không khí thừa, thu hồi nhiệt khí thải cho gió cấp và cải thiện lớp cách nhiệt – lớp lót, tổn thất qua khói, qua vách và qua các khe hở được kéo giảm rõ rệt. Nhiệt độ gió vào đầu đốt tăng, độ kín khí của buồng lò tốt lên, trường nhiệt giữa các vùng ổn định hơn, giúp năng lượng được đưa vào đúng nơi cần và được sử dụng hữu ích thay vì thất thoát ra môi trường. Từ nền tảng đó, lò vận hành “nhẹ” hơn ở cùng sản lượng, giảm sức ép lên hệ quạt – ống khói, đồng thời tạo biên an toàn về nhiệt cho các chi tiết kết cấu xung quanh.

Chất lượng sản phẩm nhờ vậy trở nên ổn định và có thể lặp lại. Khi nhiệt độ theo thời gian và theo không gian trong lò được kiểm soát tốt, các điểm nóng cục bộ giảm, bề mặt sản phẩm hạn chế oxy hóa hoặc bám muội, các phản ứng nhiệt – hóa diễn ra đúng cửa sổ công nghệ. Đường cong nung được giữ theo thiết kế, nhiệt độ tâm – biên đồng đều hơn, tỷ lệ đạt chuẩn tăng lên, phế phẩm và hàng phải xử lý lại giảm xuống. Điều này đặc biệt quan trọng với những công đoạn nhạy cảm như nung gốm sứ, nhiệt luyện chi tiết cơ khí, gia nhiệt phôi trước cán – rèn hoặc nấu chảy thủy tinh, nơi chỉ một sai lệch nhỏ của trường nhiệt cũng có thể kéo theo thiệt hại lớn về chất lượng.

Năng lực sản xuất cũng được cải thiện theo hai hướng. Một mặt, thời gian gia nhiệt và thời gian chu kỳ rút ngắn nhờ hạn chế nhiệt tích trữ trong lớp lót, nhờ phân phối nhiệt hợp lý và nhờ vận hành theo công thức chuẩn. Bên cạnh đó, với cùng mức tiêu hao, hiệu suất và công suất hữu ích được nâng lên nếu vùng đầu vào được ổn định hóa nhiệt, tránh tình trạng khí thải quá nóng thoát ra gây nghẽn nhiệt. Sự linh hoạt khi chuyển đổi sản phẩm, độ dày hoặc tải cũng tăng lên vì lò có nhiều vùng điều khiển độc lập, điểm đặt được quản trị theo dữ liệu và công thức nung được số hóa.

Tính tin cậy thiết bị được nâng lên rõ rệt. Khi vỏ lò mát hơn và chênh lệch nhiệt giữa các lớp lót được tính toán, kiểm soát tốt, ứng suất nhiệt giảm, tuổi thọ lớp lót và mối neo tăng lên. Đầu đốt hoạt động trong vùng tối ưu, ít bám muội, ít lệch ngọn lửa; bộ hâm không khí được vận hành kèm quy trình vệ sinh, giám sát chênh áp nên hạn chế tắc bần đột ngột. Các quạt gió, quạt hút được điều khiển theo nhu cầu, làm việc gần điểm hiệu suất cao, giảm rung, giảm nhiệt, kéo dài vòng đời ỏ trực. Nhờ vậy, thời gian dừng máy do sự cố ít hơn, lịch bảo trì có thể chuyển dần sang mô hình dựa trên tình trạng, giảm chi phí ngoài kế hoạch.

Vận hành theo dữ liệu là một thay đổi mang tính hệ thống. Các cảm biến oxy, khí, nhiệt độ đa vùng, áp suất – lưu lượng và camera nhiệt được kết nối về hệ thống giám sát, tạo nên bảng chỉ số thời gian thực. Nhờ đó, điểm đặt được điều chỉnh theo xu hướng oxy, CO, nhiệt độ khói, chênh áp và tải thay vì cảm tính. Hệ thống còn cảnh báo sớm lệch cháy, rò rỉ, tắc bộ trao đổi nhiệt, quá nhiệt vỏ lò và dao động áp suất. Dữ liệu lịch sử trở thành “sổ sức khỏe” của thiết bị, giúp chuẩn hóa chế độ vận hành và rút ngắn thời gian ra quyết định khi thay đổi đơn hàng.

Cuối cùng, lợi ích về an toàn vận hành được thể hiện ở cả phòng ngừa và ứng phó. Quy trình liên động an toàn cho đánh lửa, thổi làm sạch buồng lò, khóa cứng khi mất lửa hoặc khi áp suất vượt ngưỡng được thiết lập và kiểm chứng; áp suất buồng lò được điều khiển ổn định để tránh hút khí nguội đột ngột và tránh tràn lửa; độ kín khí của cửa, phốt và mối ghép được duy trì, giảm rủi ro thoát khí nóng ra khu vực làm việc. Nhờ trường nhiệt được kiểm soát và bề mặt vỏ lò mát hơn, điều kiện lao động bớt khắc nghiệt, nguy cơ bỏng nhiệt, sốc nhiệt hay sự cố cháy nổ giảm xuống. Tất cả những lợi ích này cộng hưởng, tạo nên một hệ thống lò vận hành ổn định, hiệu suất cao và an toàn, sẵn sàng đáp ứng yêu cầu sản lượng và chất lượng của nhà máy trong dài hạn.

2.3.2 Lợi ích kinh tế – tài chính

Từ góc độ kinh tế – tài chính, các giải pháp tiết kiệm năng lượng cho lò công nghiệp đem lại giá trị tức thời lẫn dài hạn. Trước hết là giảm chi phí năng lượng trực tiếp. Khi tối ưu cháy và Điều chỉnh oxy tự động, lấp hồi nhiệt cho không khí đốt, cải thiện cách nhiệt/kín khí và điều khiển quạt bằng biến tần, suất tiêu hao năng lượng riêng (SEC) giảm rõ theo tấn sản phẩm. Hiệu quả này không đơn lẻ mà cộng gộp: một gói nâng cấp “nền tảng” thường đưa chi phí năng lượng trên mỗi đơn vị sản phẩm xuống mức cạnh tranh, đồng thời ổn định chi phí vận hành giữa các ca và mùa. Tiếp theo là dòng tiền tích cực với thời gian hoàn vốn ngắn. Nhiều hạng mục có thể hoàn vốn trong 1–3 năm nhờ phần tiết kiệm đo đếm được; riêng các cải tiến không mất chi phí đầu tư hoặc đầu tư thấp như tinh chỉnh O₂ theo dữ liệu, bịt kín cửa lò, chuẩn hóa thao tác tăng nhiệt – giữ nhiệt theo chương trình thường phát huy hiệu quả ngay, tạo nguồn tiền nội sinh để tái đầu tư cho các hạng mục lớn hơn.

Lợi ích không dừng ở hóa đơn năng lượng. Về chi phí vòng đời, lớp lót và thiết bị phụ trợ bền hơn khi nhiệt vỏ lò thấp, trường nhiệt ổn định; đầu đốt làm việc trong vùng tối ưu, bộ hâm không khí được vệ sinh – giám sát theo kế hoạch; quạt vận hành tại điểm hiệu suất cao. Tất cả giúp giảm chi phí bảo trì, hạn chế dừng máy ngoài kế hoạch, giảm rủi ro mất doanh thu do sự cố. Dưới góc nhìn tài chính doanh nghiệp, đây là phần “ẩn” nhưng rất định lượng được nếu gắn với dữ liệu SCADA/DAS và nhật ký bảo trì.

Một giá trị quan trọng khác là nâng năng lực tiếp cận vốn xanh. Dự án TKNL có hồ sơ đo lường minh bạch (suất tiêu hao năng lượng, O₂, nhiệt độ khói, NO_x), phương án kinh tế rõ ràng và quy trình quản lý rủi ro – an toàn đầy đủ, phù hợp tiêu chí tín dụng xanh/ESG. Điều này giúp doanh nghiệp mở khóa nguồn vốn ưu đãi: lãi suất thấp hơn, thời hạn dài hơn, hoặc bảo lãnh tín dụng; đồng thời tăng điểm số bền vững trong mắt khách hàng chuỗi cung ứng. Khi chuẩn bị lộ trình khử các-bon, các khoản đầu tư vào hồi nhiệt, số hóa, cách nhiệt, Điều chỉnh oxy dư tự động... là “tài sản chuyển đổi” để chứng minh hiệu quả và tác động phát thải.

Sau cùng, những giải pháp này nâng cao năng lực phòng vệ trước biến động giá năng lượng. Mức tiêu thụ năng lượng thấp giúp biên lợi nhuận duy trì ổn định ngay cả khi giá khí, dầu và điện leo thang. Việc tích hợp hồi nhiệt làm giảm mức độ phụ thuộc vào nhiên liệu ban đầu; hệ thống số hóa hỗ trợ điều độ theo khung giá, quản lý và phân bổ phụ tải hiệu quả. Đối với lò điện hoặc hybrid, doanh nghiệp có thể chuyển dịch phụ tải sang giờ thấp điểm, kết hợp nguồn tái tạo tại chỗ và các hợp đồng mua bán điện linh hoạt để kiểm soát chi phí cận biên. Tất cả các yếu tố này góp phần làm “mỏng” hồ sơ rủi ro năng lượng, cải thiện khả năng dự báo dòng tiền, nâng cao xếp hạng tín nhiệm và củng cố sự tự tin trong các quyết định đầu tư. Do đó, đầu tư vào hiệu quả năng lượng cho lò không chỉ đơn thuần là bài toán tiết kiệm mà còn đóng vai trò như một công cụ tài chính chiến lược, gia tăng lợi thế cạnh tranh và tính bền vững trong kinh doanh.

Bảng 8. Các thông số lợi ích kinh tế - tài chính của các nhóm công nghệ tiết kiệm năng lượng của lò công nghiệp

Nhóm giải pháp	Mức đầu tư	Tác động chi phí phạm hành	Tỷ lệ tiết kiệm năng lượng so với đường cơ sở	Thời gian hoàn vốn tham chiếu	Điều kiện áp dụng thuận lợi	Rủi ro/ Lưu ý chính
1. Tối ưu cháy & điều khiển (nâng cấp đầu đốt, phân phối gió, Điều chỉnh oxy dư tự động, điều khiển đa vùng)	Thấp-TB	Giảm nhẹ (điều khiển tốt hơn, ít dừng máy)	5–15% (thêm 1–5% nếu tối ưu phân phối gió/tuần hoàn)	0,5–2,5 năm	Lò chạy nhiều ca, có chênh lệch O ₂ / CO lớn, hiện chưa đo O ₂	Cần hiệu chuẩn cảm biến; đặt “lan can” an toàn CO/O ₂ ; điều khiển áp suất buồng lò ổn định

Nhóm giải pháp	Mức đầu tư	Tác động chi phí phạt hành	Tỷ lệ tiết kiệm năng lượng so với đường cơ sở	Thời gian hoàn vốn tham chiếu	Điều kiện áp dụng thuận lợi	Rủi ro/ Lưu ý chính
2. Thu hồi nhiệt thải (gia nhiệt gió/ hồi nhiệt, tiền gia nhiệt liệu)	Trung bình– Cao (bộ hồi nhiệt có thể Cao+)	Giảm (nhiên liệu), tăng nhẹ bảo trì vệ sinh	8–25% (bộ gia nhiệt gió); 15–35% (bộ hồi nhiệt; oxy-nhiên liệu có thể cao hơn)	1–3 năm (tải lớn)	Khói thải > 350–400°C, giờ vận hành dài, không gian lắp đặt đủ	Bám bẩn/ ăn mòn, chênh áp tăng; cần hồi gió, lọc bụi sơ bộ, vật liệu phù hợp
3. Nâng cấp cách nhiệt & lớp lót chịu lửa (kèm làm kín cửa)	Trung bình	Giảm (ít tổn thất, ít dừng máy)	3–10% (cao hơn với lò mẻ, chu kỳ ngắn)	1–2 năm	Lò mẻ/lò mở cửa thường xuyên; vỏ lò nóng, tổn thất qua vách cao	Tính toán nhiệt–cơ; quy trình sấy lò; điều chỉnh burner/tuần hoàn tránh điểm nóng
4. Số hóa & giám sát (SCADA/DAS, Điều chỉnh oxy dư tự động, bổ sung điểm đo; sử dụng biến tần cho quạt)	Thấp–Trung bình	Giảm (tối ưu điểm đặt; điện quạt giảm)	3–10%	<1 năm với gói Điều chỉnh oxy dư tự động + biến tần; 1–2 năm với SCADA + phân tích	Dây chuyền nhiều lò, sản lượng lớn; cần truy vết chất lượng	Dữ liệu nhiều/thiếu → chuẩn hóa cảm biến, lịch hiệu chuẩn; đào tạo vận hành
5. Tích hợp nhiệt & cân bằng năng lượng (tích hợp nhiệt giữa công đoạn nóng–nguội)	Trung bình	Giảm (nhiên liệu & điện phụ trợ)	5–15% phụ tải lò chính; tăng hiệu suất hệ thống	1–2 năm (tận dụng hạ tầng sẵn có)	Có phụ tải nhiệt gần nhau, đường ống ngắn, chênh nhiệt đủ lớn	Ngưng tụ acid, nhiễm bẩn chéo → chọn vật liệu, tách dòng, hồi gió

Nhóm giải pháp	Mức đầu tư	Tác động chi phí phạt hành	Tỷ lệ tiết kiệm năng lượng so với đường cơ sở	Thời gian hoàn vốn tham chiếu	Điều kiện áp dụng thuận lợi	Rủi ro/ Lưu ý chính
6. Vận hành – bảo trì chuẩn hóa (bảo trì dự phòng, vệ sinh bộ gia nhiệt gió, kiểm tra kín khí)	Rất thấp	Giảm	2–6% (không hoặc đầu tư thấp)	Ngay– <0,5 năm	Mọi lò; đặc biệt nơi thao tác chưa chuẩn hóa	Kỷ luật vận hành, kiểm tra định kỳ; cần kế hoạch vật tư dự phòng
7. Chuyển đổi nhiên liệu (điện hóa/cảm ứng/hồ quang; công nghệ đốt lai; đồng đốt biomass/ nhiên liệu từ chất thải; đầu đốt sẵn sàng cho hydro)	Cao–Rất cao (điện hóa cao nhất)	Biến động (phụ thuộc giá điện/ nhiên liệu; cần có hệ thống quản lý năng lượng)	Giảm CO ₂ 20–100%; tiết kiệm NL 0–15% tùy công nghệ/quy trình	>3 năm (thường trung–dài hạn); đồng đốt có thể 1–4 năm	Quy trình sạch/ chính xác (điện), hoặc nguồn biomass/ nhiên liệu từ chất thải ổn định; lộ trình khử các-bon	Yêu cầu hạ tầng điện/ khí; kiểm soát NOx với H ₂ ; đánh giá chi phí vòng đời, an toàn cháy nổ, chất lượng nhiên liệu

Bảng 9. Mức chi phí đầu tư ước tính

Nhóm giải pháp	CAPEX ước tính (USD)	Ghi chú phạm vi
1. Tối ưu cháy & điều khiển (nâng cấp đầu đốt, phân phối gió, Điều chỉnh oxy dư tự động, điều khiển đa vùng)	20.000 – 250.000	1–4 đầu đốt; gồm cảm biến O ₂ /CO, tủ điều khiển/PLC, chỉnh ống gió; đầu đốt phát thải Nox thấp/đầu đốt ngọn lửa phẳng ở biên trên.
2a. Thu hồi nhiệt thải – Bộ gia nhiệt gió (ống chùm/tám/tổ ong gốm)	80.000 – 1.500.000	Phụ thuộc nhiệt độ khói, vật liệu (thép chịu nhiệt/gốm/Inconel), lưu lượng và không gian lắp đặt.
2b. Thu hồi nhiệt thải – Bộ hồi nhiệt (luân phiên nạp/xả nhiệt)	500.000 – 3.000.000	Cần van đảo chiều, khối gốm lớn; kinh tế khi chạy tải liên tục, nhiệt độ khói rất cao.
3. Nâng cấp cách nhiệt & lớp lót chịu lửa (kèm làm kín cửa)	30.000 – 400.000	Tùy diện tích lót, cấp vật liệu (gạch/bê tông/sợi gốm/microporous) và khối lượng sửa chữa cơ khí.

Nhóm giải pháp	CAPEX ước tính (USD)	Ghi chú phạm vi
4a. Số hóa & giám sát – gói tối thiểu (Điều chỉnh oxy dư tự động, bổ sung điểm đo, biến tần cho quạt)	15.000 – 120.000	1–2 quạt chính; đầu dò O ₂ ; tích hợp PLC hiện hữu.
4b. Số hóa & giám sát – SCADA/DAS + phân tích	100.000 – 500.000	Nhiều vùng/nhiều lò, máy chủ dữ liệu, phần mềm phân tích/Điều khiển dự báo theo mô hình (mức vào biên trên).
5. Tích hợp nhiệt & cân bằng năng lượng	50.000 – 500.000	Bộ trao đổi khí–khí/khí–chất lỏng, đường ống, bộ hồi gió, cách nhiệt; tận dụng hạ tầng có sẵn → biên dưới.
6. Vận hành – bảo trì chuẩn hóa (quy trình vận hành chuẩn, dụng cụ đo, phụ tùng thiết yếu)	5.000 – 30.000	Đào tạo, bộ dụng cụ kiểm tra, gioăng/phốt dự phòng, quy trình thổi rửa & an toàn.
7a. Chuyển đổi nhiên liệu – Điện trở, cảm ứng, hồ quang	500.000 – 5.000.000+	Thiết bị công suất, máy biến áp/chỉnh lưu, làm mát, cải tạo điện; biên trên cho công suất lớn.
7b. Đồng đốt sinh khối/nhiên liệu từ chất thải (cải tạo đầu đốt & cấp liệu)	200.000 – 1.500.000	Hệ cấp liệu, sửa đầu đốt/béc, cải tạo lọc bụi/ống khói, kho chứa; phụ thuộc % thay thế.
7c. Đầu đốt sẵn sàng cho hydro (chưa gồm hệ thống H ₂)	50.000 – 300.000	Thay đầu đốt/van/điều khiển tương thích H ₂ ; hạ tầng sản xuất/lưu trữ H ₂ tính riêng.

2.3.3 Lợi ích môi trường – xã hội và tuân thủ

Các dự án tiết kiệm năng lượng cho lò công nghiệp mang lại giá trị môi trường – xã hội rõ rệt, đồng thời củng cố năng lực tuân thủ và quản trị ESG của doanh nghiệp. Trước hết, giảm phát thải khí nhà kính là kết quả trực tiếp của việc hạ tiêu hao nhiên liệu: khí tối ưu cháy, tinh chỉnh oxy (Điều chỉnh oxy dư tự động), thu hồi nhiệt khói thải và cải thiện cách nhiệt – kín khí, mức CO₂ phạm vi 1 giảm tương ứng với lượng nhiên liệu cắt giảm. Xa hơn, lộ trình chuyển đổi nhiên liệu—điện hóa, đồng đốt sinh khối/nhiên liệu từ rác thải, hoặc chuẩn bị sẵn cho hydro—mở không gian cho giảm phát thải sâu ở quy mô nhà máy, giúp doanh nghiệp tiến gần các mục tiêu trung hòa các-bon. Việc số hóa đo lường và chuẩn hóa báo cáo năng lượng, phát thải cũng tạo nền tảng để theo dõi tiến độ giảm phát thải theo năm một cách minh bạch, nhất quán.

Song song với hiệu quả năng lượng, các giải pháp này tác động tích cực đến ô nhiễm cục bộ tại nguồn. Việc nâng cấp đầu đốt phát thải NO_x thấp, tối ưu phân bố gió, áp dụng cháy phân tầng và/hoặc tuần hoàn khí thải, kết hợp kiểm soát hàm lượng oxy, giúp giảm phát thải NO_x và CO ngay trong buồng đốt, đồng

thời hạn chế mùi, khói đen và nguy cơ cháy không hoàn toàn. Lớp lót và hệ cách nhiệt được cải thiện, cùng với độ kín khí đạt chuẩn, làm giảm rò rỉ khí nóng ra khu vực làm việc, qua đó cải thiện vi khí hậu trong xưởng sản xuất. Khi cần thiết, có thể kết hợp các giải pháp xử lý bụi và khí thải phù hợp (như lọc bụi, hấp thụ ướt/khô, khử NOx chọn lọc không xúc tác hoặc có xúc tác) để bảo đảm nồng độ khí thải luôn nằm trong giới hạn pháp lý, ổn định theo thời gian và không phụ thuộc vào “kỹ xảo” vận hành.

Về tuân thủ pháp lý và các chứng chỉ liên quan, việc giảm suất tiêu hao năng lượng và kiểm soát phát thải giúp doanh nghiệp dễ dàng đáp ứng các quy chuẩn, tiêu chuẩn về năng lượng và môi trường ở cấp quốc gia và khu vực, từ kiểm toán năng lượng, dán nhãn hiệu suất đến các cơ chế quản lý phát thải (như định giá các-bon hoặc hạn ngạch phát thải). Hạ tầng số hóa (hệ thống giám sát – thu thập dữ liệu, bảng điều khiển chỉ số hiệu suất) cùng với hồ sơ đo lường theo chuẩn cho phép minh chứng dữ liệu nhanh chóng khi thanh tra, kiểm tra, rút ngắn thời gian chuẩn bị và giảm rủi ro vi phạm thủ tục. Trong các chuỗi cung ứng toàn cầu, doanh nghiệp có hệ thống quản lý năng lượng và phát thải minh bạch thường đạt điểm đánh giá bền vững cao hơn, qua đó thuận lợi trong ký kết hợp đồng dài hạn và tham gia các chương trình mua sắm xanh.

Lợi ích xã hội và an toàn nghề nghiệp cũng rất đáng kể. Khi trường nhiệt được điều khiển tốt, nhiệt độ bề mặt vỏ lò giảm, mức bức xạ nhiệt tại khu vực làm việc thấp hơn; cộng với kín khí tốt và hệ quạt, áp suất được tối ưu, điều kiện lao động mát hơn, ít bụi, ít khí độc, giảm nguy cơ bỏng nhiệt và sự cố. Các liên động an toàn (thổi rửa, mát lửa, quá áp/âm), quy trình vận hành chuẩn và đào tạo định kỳ giúp củng cố văn hóa an toàn, giảm tần suất sự cố và ngày công nghỉ do tai nạn. Đối với cộng đồng xung quanh, giảm NOx/CO/bụi và kiểm soát tiếng ồn từ quạt – ống khói giúp giảm tác động môi trường, hạn chế khiếu nại và rủi ro pháp lý.

Cuối cùng, lợi ích mềm nhưng bền vững là hình ảnh doanh nghiệp và ESG. Khi công bố minh bạch dữ liệu năng lượng – phát thải, có lộ trình khử các-bon khả thi, và chứng minh được cải thiện về an toàn – sức khỏe nghề nghiệp, doanh nghiệp nâng cao uy tín với khách hàng, nhà đầu tư và cơ quan quản lý. Điều này tạo giá trị thương hiệu, hỗ trợ huy động vốn xanh, và mở ra cơ hội tham gia các chương trình liên minh giảm phát thải trong ngành. Nói cách khác, mỗi kWh hoặc Nm³ nhiên liệu tiết kiệm được không chỉ giảm chi phí, mà còn chuyển hóa thành điểm ESG cụ thể, làm mạnh năng lực tuân thủ và khả năng cạnh tranh dài hạn của doanh nghiệp.

Bảng 10. Tổng hợp lợi ích môi trường - xã hội và tuân thủ

Nhóm giải pháp	Giảm CO ₂ trực tiếp (%)	Giảm NO _x /CO/ bụi	Cải thiện môi trường làm việc (nhiệt, khí, tiếng ồn)	An toàn Sức khỏe-An toàn-Môi trường	Khả năng đáp ứng tuân thủ	Khả năng chứng minh bằng dữ liệu (báo cáo bền vững/chỉ số)	Ghi chú
1. Tối ưu cháy & điều khiển (đầu đốt, phân phối gió, tinh chỉnh oxy, điều khiển đa vùng)	5-15	NO _x giảm 20-50% với đầu đốt phát thải thấp; CO giảm rõ	Trường nhiệt đồng đều; giảm rò rỉ khí nóng; tiếng ồn quạt giảm khi dùng biến tần	Cao (giới hạn chéo, thổi làm sạch, kiểm soát áp suất)	Cao - dễ đạt chuẩn, thuận lợi kiểm toán	Cao - số liệu oxy/CO, nhiệt độ, áp suất ghi trên hệ giám sát	Nền tảng cho mọi chương trình giảm phát thải
2. Thu hồi nhiệt thải (bộ hâm không khí, bộ hồi nhiệt; tiền gia nhiệt liệu)	8-35	Gián tiếp giảm NO _x /CO nhờ vận hành ổn định	Giảm nhiệt thải ra môi trường; giảm nóng bức trong xưởng	Trung bình (kiểm soát chênh áp, bám bản)	Trung bình - Cao - giảm tổng phát thải của nhà máy	Trung bình - Cao - theo dõi chênh nhiệt, chênh áp, lưu lượng, suất tiêu hao	Cần kiểm soát bám bản, ăn mòn, ngưng tụ axit
3. Nâng cấp cách nhiệt & lớp lót chịu lửa (kèm làm kín cửa)	3-10	Giảm gián tiếp nhờ cháy ổn định	Bức xạ nhiệt giảm; nhiệt vỏ lò giảm khoảng 10-30°C	Trung bình	Trung bình - hỗ trợ điều kiện an toàn và môi trường	Trung bình - theo dõi nhiệt vỏ, rò rỉ khí, suất tiêu hao	Tính toán nhiệt-cơ; sảy lò đúng quy trình
4. Số hóa & giám sát (hệ giám sát dữ liệu, tinh chỉnh oxy, biến tần, camera hồng ngoại)	3-10	CO/NO _x giảm do giữ oxy mục tiêu; phát hiện cháy không hoàn toàn	Ổn định áp suất, lưu lượng; tiếng ồn quạt giảm	Cao - cảnh báo sớm, giảm sự cố	Rất cao - dữ liệu sẵn sàng cho kiểm tra và báo cáo	Rất cao - bằng chỉ số thời gian thực (suất tiêu hao, oxy, NO _x , chênh áp...)	Bước đệm cho điều khiển nâng cao; hồ sơ số đầy đủ
5. Tích hợp nhiệt & cân bằng năng lượng	5-15	Không trực tiếp; tổng phát thải của xưởng giảm	Giảm điểm nóng cục bộ; giảm nhiệt thải ra xưởng	Trung bình	Trung bình - dễ thuyết minh ở cấp nhà máy	Trung bình - đo năng lượng trao đổi, nhiệt độ, lưu lượng	Lưu ý tách dòng, đường vòng, vật liệu phù hợp
6. Vận hành - bảo trì chuẩn hóa (quy trình chuẩn, bảo trì dự phòng, vệ	2-6	CO giảm nhờ quy trình đánh lửa/thổi làm sạch; bụi/tiếng ồn ổn định	Điều kiện làm việc an toàn hơn; rò rỉ khí gần như bằng 0	Cao	Cao - đáp ứng yêu cầu vận hành an toàn	Cao - nhật ký, danh mục kiểm tra, minh chứng hiện trường	Hiệu quả chi phí thấp, triển khai ngay

Nhóm giải pháp	Giảm CO ₂ trực tiếp (%)	Giảm NOx/CO/ bụi	Cải thiện môi trường làm việc (nhiệt, khí, tiếng ồn)	An toàn Sức khỏe–An toàn–Môi trường	Khả năng đáp ứng tuân thủ	Khả năng chứng minh bằng dữ liệu (báo cáo bền vững/chỉ số)	Ghi chú
sinh trao đổi nhiệt, kiểm tra kín khí)							
7. Chuyển đổi nhiên liệu (điện hóa/hỗn hợp; đồng đốt sinh khối/nhiên liệu từ chất thải; sẵn sàng dùng hydro)	20 – 100	Điện hóa hầu như không phát thải NOx; dùng hydro cần kiểm soát NOx; đồng đốt có thể tăng bụi nếu không xử lý	Giảm khí nóng và tiếng ồn tùy công nghệ	Trung bình–Cao (đánh giá an toàn điện/hydro)	Cao về chiến lược giảm phát thải; phụ thuộc quy định địa phương	Trung bình–Cao – cần hệ thống đo phát thải và truy xuất nhiên liệu	Giải pháp dài hạn; cần phân tích chi phí vòng đời và hạ tầng năng lượng

2.3 Đánh giá tính khả thi áp dụng công nghệ lò công nghiệp TKNL

Dưới đây là hướng dẫn chi tiết để đánh giá tính khả thi kỹ thuật khi áp dụng các công nghệ/giải pháp TKNL cho lò công nghiệp (không bao gồm lò hơi, lò dầu tải nhiệt, lò sấy). Nội dung đi theo đúng chuỗi “điều kiện tiên đề → cách đo lường → ngưỡng tham chiếu → rủi ro và biện pháp khắc phục”, giúp ra quyết định nhanh ở bước tiền khả thi và làm đầu bài cho khảo sát chi tiết.

2.4.1 Mặt bằng – công nghệ hiện hữu

Trước hết, rà soát ràng buộc không gian và cấu trúc sẵn có:

- » Không gian lắp đặt: còn đủ cho bộ hâm không khí cháy, đường ống hồi gió, ống khói mới, bệ đỡ, hạ tầng bảo trì? Khoảng hở thao tác $\geq 800\text{mm}$ quanh thiết bị nóng; tải nền $\geq 5\text{--}8\text{ kN/m}^2$ cho cụm trao đổi nhiệt kim loại; kiểm tra độ võng sàn khi đặt gồm tổ ong.
- » Đường ống gió–khói hiện hữu: sơ đồ và kích thước; vị trí chứa tê-nhánh để đấu nối; có van cách ly để chạy thử từng nhánh? Tổn thất áp suất hiện hữu để tính lại quạt.
- » Kết cấu lò: vỏ, lớp cách nhiệt, bích chò, cửa quan sát, điểm đo. Đánh giá khả năng dừng máy theo kế hoạch (ví dụ 48–72 giờ) để thi công hạng mục nóng.

- » Hạ tầng phụ trợ: nguồn điện, khí nén, nước làm mát, hệ thống nâng/hạ (cầu, pa-lăng) phục vụ lắp đặt.

Nếu các hạng mục trên thiếu nghiêm trọng (không có tuyến ống/không gian khả thi, không thể dừng máy theo chu kỳ sản xuất), coi như điểm chặn cho các giải pháp thu hồi nhiệt và phải chuyển hướng sang các giải pháp không hoặc mất ít chi phí đầu tư như tối ưu cháy – điều khiển.

2.4.2 Hệ thống cấp nhiên liệu – không khí

Mục tiêu là đánh giá “độ điều khiển được” của quá trình đốt, trong đó, việc xem xét tập trung vào ba nhóm yếu tố chính:

- » Nhiên liệu: Nhiên liệu: đánh giá dải biến thiên chất lượng nhiên liệu (kích thước hạt, độ ẩm, hàm lượng tro và giá trị nhiệt) cũng như mức độ sạch và đồng đều, đặc biệt quan trọng khi áp dụng các giải pháp đốt hiệu suất cao như đầu đốt phát thải NO_x thấp, ngọn lửa phẳng hoặc đốt oxy. Đồng thời cần xem xét khả năng chuẩn hóa và duy trì cấp liệu liên tục, nhất là đối với lò tầng sôi và lò đốt trên ghi.
- » Không khí cháy: Đánh giá quạt cấp gió, đặc tính áp suất – lưu lượng, và mức dự phòng áp suất tĩnh ($\geq 10\text{--}20\%$) để bù tổn thất phát sinh khi tích hợp bộ trao đổi nhiệt. Kiểm tra khả năng chia vùng gió (zone control), chất lượng điều khiển van và độ kín gioăng.
- » Đo lường tại chỗ: Xem xét việc trang bị đầu dò O₂/CO chịu nhiệt cao, các điểm đo nhiệt độ và áp suất trong buồng lò, cùng khả năng bổ sung “cửa sổ” cho cảm biến hồng ngoại. Nếu chưa có, đây là hạng mục đầu tư bắt buộc trong mọi phương án tối ưu hóa cháy và tự động hóa.

Ngưỡng tham chiếu thực hành tốt gồm: dư O₂ khô sau buồng đốt 2–4% (đốt khí) hoặc 3–5% (đốt dầu); dao động nhiệt độ theo vùng ở mức $\pm 5\text{--}10\text{ }^{\circ}\text{C}$; và nồng độ CO < 200 ppm trong chế độ vận hành ổn định. Sai lệch đáng kể khỏi các giá trị này thường cho thấy tồn tại điểm nghẽn trong điều khiển hoặc pha trộn.

2.4.3 Xử lý khí thải – môi trường

Các giải pháp nâng cấp như tăng hiệu suất cháy, thu hồi nhiệt hoặc nâng lưu lượng gió cấp sẽ làm thay đổi đặc tính khói thải. Do đó, cần xem xét các vấn đề sau:

- » Nhiệt độ và lưu lượng khí thải sau cải tạo có nguy cơ giảm xuống dưới điểm sương axit (liên quan đến SO₃/H₂SO₄), gây ăn mòn ống khói và quạt. Vì vậy, cần lựa chọn vật liệu hoặc lớp lót phù hợp, hoặc duy trì nhiệt độ xả tối thiểu theo giá trị đặt để tránh ngưng tụ axit.

- » Thiết bị lọc và xử lý khí thải (thiết bị lọc xoáy, túi lọc bụi, lọc tĩnh điện, hệ khử lưu huỳnh/khử ôxít nitơ): cần đánh giá khả năng tiếp nhận tải bụi và tải khí tăng thêm, đồng thời bảo đảm không vượt các giới hạn phát thải hiện hành.
- » Hệ thống quan trắc khí thải liên tục hoặc kế hoạch quan trắc định kỳ: cần xác định sớm vị trí lấy mẫu, đường ống lấy mẫu gia nhiệt, và tủ phân tích khi bổ sung các đầu đo oxy (O_2), CO và NOx.

Trong trường hợp cụm xử lý khí thải hiện hữu đã vận hành gần ngưỡng thiết kế hoặc vật liệu không đáp ứng được chế độ vận hành mới, cần tính bổ sung chi phí cải tạo môi trường vào bài toán chi phí đầu tư của dự án.

2.4.4 Đồng bộ dây chuyền – ảnh hưởng công nghệ

Đánh giá tác động chéo giữa lò và các công đoạn trước–sau:

- » Cân bằng nhiệt giữa các đoạn: rút ngắn thời gian lên nhiệt/chu kỳ có làm quá nhiệt ở khâu sau. Có nguy cơ tạo điểm nóng cục bộ làm co nứt sản phẩm (gốm, thủy tinh, luyện kim màu)?
- » Truyền động – cơ cấu: biến thiên lưu lượng gió cấp/hút có gây rung, vượt giới hạn áp âm/áp dương cho buồng lò, gây tụ khói?
- » Hồi nhiệt liên công đoạn: khi triển khai tích hợp nhiệt liên công đoạn (ví dụ sử dụng khí thải để sấy khuôn hoặc sấy đường ống), cần kiểm soát chặt chẽ các liên động của van đi vòng và van an toàn nhằm bảo đảm không làm treo tải hoặc gây gián đoạn vận hành lò.
- » Khuyến nghị áp dụng quy trình quản lý thay đổi: yêu cầu mô tả đầy đủ nội dung thay đổi, đánh giá rủi ro, xây dựng phương án thử nghiệm ở tải thấp, tăng tải theo từng bậc, và xác định rõ tiêu chí “cho phép/không cho phép” ở từng bước triển khai.

2.4.5 Điều khiển – đo lường

Đây là điều kiện tiên quyết để biến lợi ích lý thuyết thành tiết kiệm thực:

- » Ngõ vào/ra và thuật toán: đủ kênh ngõ vào tương tự/ngõ vào số/ngõ ra số để gắn thêm cảm biến, van; có sẵn khối chức năng tăng nhiệt–giữ nhiệt, giới hạn chéo theo vùng, chu trình thổi sạch liên động an toàn; lưu vết dữ liệu 1–5 giây/điểm để phân tích chỉ số hiệu quả (suất tiêu hao năng lượng riêng, ôxít nitơ, độ lệch nhiệt).
- » Biến tần/van điều áp: cho quạt gió cấp/hút và bơm tuần hoàn (nếu có) để bám tải tuyến tính, giảm quá điều khiển.
- » Báo động – liên động an toàn: ngưỡng CO cao, oxy dư thấp/quá cao; áp suất–nhiệt độ vượt giá trị đặt; logic dừng khẩn có kiểm chứng; quy trình thử nghiệm mức toàn vẹn an toàn/kiểm tra định kỳ theo chứng minh an toàn.

Không có tầng điều khiển phù hợp thì lợi ích từ đầu đốt hiệu suất cao/thu hồi nhiệt thường giảm mạnh hoặc không ổn định.

2.4.6 Tương thích vật liệu chịu lửa – lớp cách nhiệt

Nâng nhiệt độ bề mặt, đổi trường nhiệt – ẩm sẽ tác động trực tiếp đến tuổi thọ lớp lót:

- » Chọn vật liệu mặt nóng: gạch/bê tông chịu lửa độ phát xạ cao; lớp cách nhiệt vật liệu vi xốp / sợi gốm cho vùng tổn thất lớn; thiết kế khe co giãn – neo – cầu nhiệt; bịt kín cửa.
- » Tải biến thiên – sốc nhiệt: phân tích biểu đồ nhiệt–ẩm quyết định co ngót của vật liệu; nâng cấp vật liệu tại các “điểm nóng” (cửa, góc, mối nối) để tránh nứt – bong.
- » Bức xạ cao: xem xét sơn/phủ bề mặt độ phát xạ cao và kiểm soát điểm quá nhiệt bằng điều chỉnh đầu đốt/tuần hoàn không khí nóng.
- » Mục tiêu vận hành tốt: giảm nhiệt vỏ lò 10–30 °C; tổn thất qua vách giảm 15–40%; thời gian lên nhiệt rút ngắn nhưng vẫn trong giới hạn ứng suất nhiệt của lớp lót.

2.4.7 Tiêu chí đánh giá kỹ thuật và thử nghiệm

Trước khi chốt đầu tư, phải có bộ tiêu chí tối thiểu và kịch bản thử tải:

- » Tiêu chí chấp nhận: nồng độ oxy dư (O_2 khô) và CO ổn định trong dải cho phép theo từng loại sản phẩm; phát thải ôxít nitơ (NO_x) và bụi (PM) đáp ứng quy chuẩn hiện hành; độ lệch nhiệt độ giữa các vùng lò không vượt quá $\pm 5-10$ °C; rung động và độ ồn của quạt nằm trong giới hạn cho phép; và không xuất hiện điểm sương axit tại khu vực ống khói.
- » Thử nghiệm và nghiệm thu: thực hiện mô phỏng thuật toán điều khiển trên máy tính; thử nghiệm tại xưởng và nghiệm thu tại hiện trường đối với hệ thống điều khiển; tiến hành chạy thử nóng theo các bậc tải 40–60–80–100%, lưu trữ dữ liệu vận hành trong 24–72 giờ; và nghiệm thu tổng thể dựa trên chỉ số năng lượng (suất tiêu hao năng lượng), chất lượng sản phẩm và mức độ an toàn vận hành.
- » Vận hành – bảo trì chuẩn hóa: ban hành quy trình vận hành chuẩn cho nạp/ra liệu, đóng/mở cửa, thổi sạch; chuyển đổi đơn hàng; lập kế hoạch bảo trì dự phòng cho đầu đốt, béc phun, bơm/quạt; đào tạo vận hành và an toàn cháy nổ.

2.4.8 Rủi ro điển hình & biện pháp kiểm soát

- Mất ổn định ngọn lửa khi nồng độ O_2 thấp hoặc phân bố gió kém: cần triển khai điều khiển Điều chỉnh oxy dư tự động, cân bằng lại hệ gió, và thiết lập ngưỡng CO/giới hạn an toàn để kiểm soát vận hành.

- Ăn mòn do điểm sương khi giảm sâu nhiệt độ khí thải: lựa chọn vật liệu phù hợp (ví dụ hợp kim chịu nhiệt hoặc vật liệu gốm), kết hợp nhánh khí nóng đi vòng hoặc duy trì giá trị đặt nhiệt độ xả tối thiểu.
- Điểm quá nhiệt và nứt lớp lót khi suất bức xạ tăng sau cải tạo: sử dụng vật liệu chịu sốc nhiệt, bổ sung neo giữ và điều chỉnh sơ đồ phân bố ngọn lửa (mô hình phân bố ngọn lửa của đầu đốt).
- Quá tải quạt và ống khói do gia tăng tổn thất áp: cần tính toán lại điểm làm việc, thay cánh/quạt hoặc điều khiển bằng biến tần, đồng thời xem xét bố trí nhánh khí đi vòng.

Bảng 11. Tổng hợp tiêu chí đánh giá tính khả thi kỹ thuật

Nhóm tiêu chí	Chỉ số/Thang đo chính	Ngưỡng khuyến nghị để quyết định triển khai	Bảng chứng/ Chứng cứ cần thu thập	Rủi ro nếu không đạt
Mặt bằng – kết cấu	Không gian lắp đặt; tải nền; thời gian dừng máy	Bố trí mặt bằng khả thi; tải nền $\geq 5-8$ kN/m ² ; dừng máy ≥ 48 giờ	Bản vẽ bố trí 2D/3D; khảo sát hiện trường; biên bản thống nhất thời gian dừng máy	Không đáp ứng lắp đặt/thi công an toàn
Đường ống gió – khói – quạt	Dự phòng áp suất tĩnh; tổn thất áp suất bổ sung	Dự phòng áp suất $\geq 10-20\%$; điểm làm việc của quạt vẫn trong vùng hiệu suất phù hợp	Đặc tính quạt; đo chênh áp tại hiện trường; tính toán lại mạng ống	Quạt quá tải, rung/ồn; lưu lượng không đạt
Nhiên liệu và cấp liệu	Biến thiên độ ẩm/kích cỡ hạt; độ ổn định cấp liệu	Dải biến thiên nằm trong thông số đầu đốt/thiết bị đốt	Kết quả phân tích nhiên liệu; quy trình vận hành chuẩn của hệ cấp liệu	Cháy không hoàn toàn, CO cao
Không khí cháy và đo lường	Đo oxy dư/CO trực tuyến; cảm biến nhiệt độ/áp suất; biến tần quạt chính	Có đầu dò oxy dư/CO; cảm biến theo vùng; quạt chính có biến tần	Danh mục điểm đo–điều khiển; sơ đồ điện–điều khiển; biên bản hiệu chuẩn	Điều khiển không bám tải, chất lượng cháy kém
Điều khiển – SCADA	Giới hạn chéo; tăng nhiệt–giữ nhiệt; liên động an toàn	Thuật toán sẵn có; độ phân giải dữ liệu ≤ 5 giây	Hồ sơ yêu cầu người dùng/hồ sơ thiết kế chức năng; kết quả thử nghiệm tại xưởng và nghiệm thu tại hiện trường; mẫu xu hướng dữ liệu	Lợi ích không ổn định; rủi ro an toàn
Môi trường – xử lý khí	Khả năng tải bụi/khí; điểm sương axit	Thiết bị lọc/khử còn dự phòng tải; vật liệu phù hợp	Báo cáo đo đạc; tính toán điểm	Không đạt chuẩn phát

Nhóm tiêu chí	Chỉ số/Thang đo chính	Ngưỡng khuyến nghị để quyết định triển khai	Bảng chứng/ Chứng cứ cần thu thập	Rủi ro nếu không đạt
		hợp môi trường ăn mòn	sương; đặc tả vật liệu	thải; ăn mòn thiết bị
Lớp lót và cách nhiệt	Tải nhiệt; sức nhiệt; thiết kế khe hở	Bảo đảm độ bền theo mô hình phân bố ngọn lửa mới; giảm tổn thất 15–40%	Hồ sơ vật liệu; tính toán nhiệt; đo ảnh nhiệt (hồng ngoại)	Nứt, bong tróc, rò rỉ khí nóng
Chất lượng và năng suất	Độ lệch nhiệt theo vùng; thời gian lên nhiệt	Độ chênh nhiệt theo vùng $\leq \pm 5-10$ °C; thời gian đạt giá trị đặt rút ngắn	Bản ghi dữ liệu chạy thử; báo cáo chất lượng	Sai lệch chất lượng, phế phẩm tăng
An toàn – tuân thủ	Liên động CO/oxy dư; quy trình vận hành; phòng cháy chữa cháy	Quy trình vận hành chuẩn và quy trình khóa – treo thẻ an toàn; liên động được thử nghiệm	Hồ sơ đào tạo; danh mục kiểm tra thử liên động	Sự cố cháy nổ, dừng máy khẩn cấp

2.5 Phân loại doanh nghiệp phù hợp ứng dụng công nghệ

Để lựa chọn “đúng thuốc – đúng liều”, có thể phân loại doanh nghiệp theo một số đặc trưng vận hành và ràng buộc nguồn lực. Mỗi nhóm đi kèm một gói giải pháp ưu tiên, giúp tối đa hóa hiệu quả đầu tư và giảm rủi ro triển khai.

2.5.1 Theo quy mô và năng lực đầu tư

Doanh nghiệp lớn, vận hành nhiều ca, sản lượng ổn định. Ưu tiên gói giải pháp có vốn đầu tư trung bình cao nhưng hiệu quả bền vững bằng cách thu hồi nhiệt (bộ hâm không khí cháy/bộ thu hồi nhiệt, bộ hồi nhiệt), số hóa ở mức SCADA và phân tích dữ liệu, tối ưu cháy đa vùng, điều khiển áp suất – biến tần quạt, nâng cấp lớp lót – cách nhiệt. Có thể xem xét tích hợp nhiệt giữa các công đoạn và lộ trình chuyển đổi nhiên liệu.

Đối với doanh nghiệp vừa và nhỏ với giới hạn ngân sách, lộ trình tối ưu nên bắt đầu từ các biện pháp chi phí thấp hoặc không tốn chi phí: giảm rò rỉ bằng bịt kín cửa và khe hở, điều chỉnh nồng độ O₂ theo dữ liệu đo, áp dụng biến tần cho quạt, chuẩn hóa quy trình vận hành – bảo trì, gia cố cách nhiệt tại các vị trí tổn thất lớn và bổ sung hệ đo đặc trọng yếu (O₂/CO, nhiệt độ, chênh áp). Sau khi tích lũy dữ liệu vận hành và tạo ra dòng tiền tiết kiệm, có thể triển khai các giải pháp hồi nhiệt gọn (kiểu ống–tấm) và các mức tự động hóa cơ bản.

2.5.2 Theo hiện trạng hệ thống lò

Đối với hệ thống lò cũ, hiệu suất thấp và phát thải cao: Đối với hệ thống lò hiện hữu có hiệu suất thấp và phát thải cao, cần triển khai một gói giải pháp nâng

cấp nền tảng theo hướng đồng bộ: kiểm tra an toàn và độ kín khít; thay thế đầu đốt hiệu suất cao hoặc đầu đốt giảm ôxít nitơ; bổ sung đo lường và liên động an toàn; cải tạo lớp lót chịu lửa và hệ cách nhiệt; đồng thời lắp đặt thu hồi nhiệt ở cấp độ phù hợp (ưu tiên bộ trao đổi nhiệt thu hồi nhiệt bằng kim loại hoặc gốm). Trước tiên cần bảo đảm ổn định chất lượng sản phẩm, sau đó mới xem xét các giải pháp tăng tải.

Đối với hệ thống lò mới hoặc đã được hiện đại hóa một phần: Trọng tâm là tối ưu hóa dựa trên dữ liệu: áp dụng điều chỉnh oxy dư tự động, điều khiển đa vùng và điều khiển dự báo theo mô hình/kết hợp trí tuệ nhân tạo tại các điểm nhạy; mở rộng tích hợp nhiệt; tối ưu các yếu tố nội bộ như tiền gia nhiệt nguyên liệu, sấy khuôn và sấy đường ống; đồng thời chuẩn hóa bảng điều khiển chỉ số hiệu quả phục vụ kiểm toán năng lượng, quản trị ESG và cải tiến liên tục.

2.5.3 Theo mô thức vận hành quy trình

Đối với lò liên tục vận hành trong thời gian dài: Hiệu suất được cải thiện rõ rệt khi áp dụng hệ thống thu hồi nhiệt thải (bộ thu hồi nhiệt hoặc bộ tái sinh nhiệt), điều khiển áp suất buồng lò, tối ưu hóa phân phối gió và triển khai hệ thống số hóa giám sát liên tục 24/7. Đồng thời, tích hợp nhiệt giữa các lò hoặc công đoạn có thể mang lại hiệu ứng cộng hưởng về năng lượng và ổn định vận hành.

Đối với lò theo mẻ/chu kỳ ngắn với tần suất mở cửa cao: Trọng tâm nâng cấp bao gồm tăng cường cách nhiệt và lớp lót bằng vật liệu nhẹ, hệ số phát xạ cao; cải thiện độ kín của cửa lò; tối ưu thuật toán nâng nhiệt – giữ nhiệt; và tuần hoàn khí nóng trong buồng lò nhằm rút ngắn thời gian gia nhiệt, giảm nhiệt tích trữ của kết cấu, từ đó hạ suất tiêu hao năng lượng.

2.5.4 Theo yêu cầu chất lượng sản phẩm

Đối với các quy trình nhạy cảm về trường nhiệt và bầu khí (gốm sứ, thủy tinh, nhiệt luyện chính xác), cần ưu tiên đồng đều hóa trường nhiệt và kiểm soát chặt chẽ oxy dư/CO. Các giải pháp khuyến nghị gồm sử dụng đầu đốt ngọn lửa phẳng hoặc đầu đốt giảm phát thải ôxít nitơ, kết hợp camera nhiệt và cảm biến đa điểm để theo dõi phân bố nhiệt, đồng thời áp dụng điều khiển dự báo theo mô hình nhằm hạn chế điểm quá nhiệt và bảo vệ bề mặt sản phẩm.

Đối với các quy trình ít nhạy cảm hơn (gia nhiệt phơi trước cán/rèn, sấy nung vật liệu chịu lửa thô...). Có thể theo đuổi bài toán tiết kiệm chi phí mạnh hơn: Điều chỉnh oxy dư tự động, hồi nhiệt sâu, tích hợp nhiệt cho phụ tải phụ trợ.

2.5.5 Theo ràng buộc pháp lý – môi trường

Đối với các đơn vị chịu ràng buộc về khí thải và định giá các-bon, cần ưu tiên đầu đốt giảm ôxít nitơ, đốt phân tầng/tuần hoàn khí thải, và điều chỉnh oxy dư tự động; đồng thời lựa chọn giải pháp lọc bụi/khử ôxít nitơ phù hợp. Cần chuẩn hóa hệ thống quan trắc và quản trị dữ liệu để chứng minh kết quả giảm phát thải.

Song song, cần nhắc lộ trình đồng đốt sinh khối/nhiên liệu từ chất thải hoặc điện hóa từng phần nhằm giảm phát thải CO₂ phạm vi 1.

2.5.6 Theo sẵn có nhiên liệu và hạ tầng năng lượng

Khi nguồn sinh khối/nhiên liệu từ chất thải dồi dào và hạ tầng điện hạn chế:

Chiến lược tối ưu là triển khai đồng đốt và từng bước nâng tỷ lệ nhiên liệu thay thế; cải tạo đầu đốt và hệ cấp liệu để phù hợp đặc tính nhiên liệu; kiểm soát ăn mòn và đóng bám; đồng thời áp dụng các giải pháp hồi nhiệt và số hóa nhằm giảm mức tiêu hao cơ sở.

Khi lưới điện mạnh và mục tiêu giảm phát thải các-bon ở mức cao:

Có thể xem xét điện hóa các công đoạn gia nhiệt (điện trở, cảm ứng, hồ quang) hoặc cấu hình lai điện – đốt. Nếu định hướng sử dụng hydro, cần chuẩn bị đầu đốt tương thích hoặc đầu đốt sẵn sàng cho hiđrô để giảm chi phí chuyển đổi sau này.

2.5.7 Theo mức sẵn sàng tổ chức – nhân lực

Trong trường hợp đội ngũ vận hành – bảo trì có năng lực cao và văn hóa dữ liệu đã được thiết lập:

Doanh nghiệp có thể đẩy nhanh quá trình ứng dụng các công nghệ điều khiển tiên tiến như điều khiển dự báo theo mô hình/AI, tối ưu hóa theo dữ liệu và tích hợp hệ dữ liệu liên ca phục vụ phân tích và cải tiến liên tục.

Trong trường hợp nguồn lực vận hành còn hạn chế và tính kỷ luật chưa đồng đều:

Cần triển khai theo lộ trình “chuẩn hóa trước”: hoàn thiện quy trình vận hành chuẩn, đào tạo và áp dụng danh mục kiểm tra an toàn; đồng thời thực hiện số hóa mức cơ bản (đo oxy dư/CO và nhiệt độ) trước khi đầu tư các giải pháp điều khiển nâng cao.

Bảng 12. Thứ tự ưu tiên triển khai các giải pháp, công nghệ TKNL

Nhóm doanh nghiệp	Ưu tiên triển khai (theo thứ tự)	Ghi chú triển khai
Lớn, chạy 24/7, áp lực ESG	1) Tối ưu cháy và điều chỉnh oxy dư tự động; 2) Thu hồi nhiệt thải; 3) Số hóa SCADA và phân tích dữ liệu; 4) Tích hợp nhiệt; 5) Lộ trình chuyển đổi năng lượng/nhiên liệu (hệ lai điện – đốt/điện hóa/đầu đốt sẵn sàng cho hiđrô)	Tổ chức dự án theo mô-đun; nghiệm thu bằng chỉ số năng lượng (suất tiêu hao năng lượng riêng) và phát thải; chuẩn hóa dữ liệu phục vụ kiểm toán.
Vừa và nhỏ, ngân sách hạn chế	1) Quy trình vận hành chuẩn – bịt kín – cải thiện cách nhiệt cục bộ; 2) Điều chỉnh oxy dư tự động + biến tần; 3) Bộ thu hồi nhiệt gọn; 4) Bảng theo dõi chỉ số hiệu quả đơn giản	Dùng các giải pháp “không hoặc ít vốn” làm nguồn tiền quay

Nhóm doanh nghiệp	Ưu tiên triển khai (theo thứ tự)	Ghi chú triển khai
		vòng cho các hạng mục lớn.
Hệ thống lò cũ, hiệu suất thấp	1) An toàn – kín khí – lớp lót; 2) Thay/nâng cấp đầu đốt giảm ôxít nitơ; 3) Đo lường oxy dư/CO và điều khiển áp suất; 4) Bộ thu hồi nhiệt; 5) SCADA	Ưu tiên ổn định chất lượng trước khi tăng tải.
Lò liên tục	1) Bộ thu hồi nhiệt (hồi nhiệt/tái sinh); 2) Điều chỉnh oxy dư tự động và phân phối gió; 3) Điều khiển áp suất + biến tần; 4) Tích hợp nhiệt	Bảo đảm quạt/đường ống khói đáp ứng tổn thất áp suất tăng sau thu hồi nhiệt.
Lò theo mẻ/chu kỳ ngắn	1) Cách nhiệt – lớp lót nhẹ, tăng bức xạ; 2) Làm kín cửa; 3) Tuần hoàn khí nóng; 4) Chương trình tăng nhiệt – giữ nhiệt; 5) Điều chỉnh oxy dư tự động	Trọng tâm là rút ngắn thời gian lên nhiệt, giảm nhiệt tích trữ.
Quy trình nhạy cảm chất lượng	1) Đầu đốt ngọn lửa phẳng/đầu đốt giảm ôxít nitơ; 2) Cảm biến đa điểm + camera nhiệt; 3) Điều khiển dự báo theo mô hình; 4) Thu hồi nhiệt có kiểm soát điểm sương	Xây dựng ngưỡng “cảnh báo sớm” CO/oxy dư và biểu đồ theo dõi chất lượng.
Áp lực pháp lý/định giá các-bon	1) Đầu đốt giảm ôxít nitơ + điều chỉnh oxy dư tự động; 2) Giải pháp lọc bụi/khử ôxít nitơ; 3) Đồng đốt sinh khối/nhiên liệu từ chất thải hoặc điện hóa từng phần; 4) Chuẩn hóa quan trắc	Gắn lộ trình đầu tư với mục tiêu phát thải/năm và chi phí các-bon.

2.6 Rào cản và giải pháp hỗ trợ

Việc triển khai công nghệ tiết kiệm năng lượng (TKNL) cho lò công nghiệp thường vấp phải một tập hợp rào cản “kỹ thuật, tài chính, tổ chức, thị trường”. Để bảo đảm dự án khả thi và bền vững, cần nhận diện rào cản theo ngữ cảnh cụ thể của doanh nghiệp, sau đó “gắn” đúng công cụ hỗ trợ. Dưới đây là tổng hợp theo các nhóm rào cản chủ đạo và gói giải pháp khuyến nghị.

2.6.1 Rào cản về kỹ thuật

Nhiều cơ sở sử dụng lò cũ, thiết kế không đồng bộ; không gian hạn chế nên khó lắp bộ hâm không khí/bộ hồi nhiệt; mạng ống gió–khói đã sứt mẻ, quạt thiếu dư địa áp; lớp lót xuống cấp gây rò rỉ gió – khí lớn; đo lường – điều khiển không đầy đủ (thiếu đầu dò O₂/CO, thiếu điểm đo nhiệt độ/áp suất). Chất lượng nhiên liệu biến động mạnh (ẩm, tạp chất, nhiệt trị), làm quá trình cháy thiếu ổn định. Hệ thống xử lý khí thải (lọc bụi/khử NO_x) cũng ít dư tải để chấp nhận điều kiện vận hành mới. Tổng hợp các yếu tố này khiến khó lượng hóa lợi ích, đồng thời gia tăng rủi ro an toàn – vận hành.

Giải pháp hỗ trợ:

- » Khảo sát tiền khả thi chuẩn hóa; kiểm định quạt – ống khói và tính lại điểm làm việc.
- » Bổ sung lớp đo lường tối thiểu (O_2/CO , nhiệt độ, chênh áp).
- » Chuẩn hóa quy trình vận hành và chạy thử theo bậc tải.
- » Mô phỏng cân bằng nhiệt – vật chất, tính điểm sương acid và phân bố nhiệt.
- » Lựa chọn cấu hình trao đổi nhiệt phù hợp vật liệu, thiết kế hồi nhiệt và liên động an toàn.

2.6.2 Rào cản chi phí đầu tư

Chi phí đầu tư cho hồi nhiệt, đầu đốt phát thải NO_x thấp, số hóa/SCADA hoặc cải tạo lớp lót có thể lớn so với dòng tiền tự có. Ngoài ra, chi phí vận hành tăng thêm cho vệ sinh – hiệu chuẩn khiến doanh nghiệp thận trọng.

Giải pháp hỗ trợ

- » Huy động tín dụng xanh/ESG, cơ chế đồng tài trợ hoặc bảo lãnh tín dụng.
- » Áp dụng mô hình ESCO/hiệu suất cam kết.
- » Thuê tài chính/thuê mua cho thiết bị đo – điều khiển.
- » Áp dụng cơ chế khấu hao nhanh, ưu đãi thuế cho đầu tư tiết kiệm năng lượng.
- » Gắn điều khoản theo hiệu quả/kết quả đối với nhà thầu để chia sẻ rủi ro

2.6.3 Rào cản thông tin – đo lường

Thiếu dữ liệu đường cơ sở (suất tiêu hao năng lượng, O_2 , CO , nhiệt độ khói, chênh áp), thiếu benchmark ngành; không có phương pháp đo lường – xác minh (M&V) thống nhất, khiến khó thuyết phục nội bộ và ngân hàng.

Giải pháp hỗ trợ

- » Xây dựng bộ mẫu hồ sơ yêu cầu kỹ thuật và chào giá chuẩn; ban hành hướng dẫn đo lường – xác minh và bảng điều khiển chỉ số hiệu quả.
- » Triển khai gói đo lường nhanh trong 2–4 tuần nhằm thiết lập dữ liệu đường cơ sở trước cải tạo.
- » Xây dựng thư viện ca điển hình và bộ chỉ số chuẩn ngành.
- » Yêu cầu nhà thầu bàn giao dữ liệu trước–sau cải tạo theo định dạng thống nhất.

2.6.4 Rào cản nhân sự kỹ thuật và quản trị thay đổi

Đội ngũ vận hành mỏng, kỷ luật ca/kíp chưa đồng đều; tâm lý ngại thay đổi do sản xuất gấp; thiếu kỹ năng khai thác dữ liệu, hiệu chuẩn cảm biến, vận hành Điều chỉnh oxy dư tự động/biến tần.

Giải pháp hỗ trợ

- » Chương trình đào tạo theo vai trò (vận hành, bảo trì, kiểm soát chất lượng, an toàn – môi trường), kèm chứng nhận năng lực nội bộ.
- » Quy trình vận hành chuẩn chi tiết cho các công đoạn: đánh lửa, thổi rửa an toàn, chuyển đổi đơn hàng/sản phẩm, và kiểm tra độ kín khí.
- » Cơ chế khuyến khích – kỷ luật gắn với chỉ số hiệu quả về năng lượng, chất lượng và an toàn.
- » Hướng dẫn kèm cặp trực tiếp tại hiện trường trong giai đoạn chạy thử và ổn định vận hành.
- » Tài liệu đào tạo điện tử và danh mục kiểm tra định kỳ phục vụ vận hành – bảo trì.

2.6.5 Rào cản thời gian dừng máy & rủi ro ảnh hưởng chất lượng

Lịch đơn hàng dày, lo ngại thay đổi trường nhiệt làm ảnh hưởng chất lượng; khó chấp nhận dừng dài ngày cho thi công – sấy lò.

Giải pháp hỗ trợ

- » Chia nhỏ phạm vi cải tạo theo mô-đun, tổ chức thi công xen kẽ ca sản xuất nhằm giảm thời gian dừng lò.
- » Tăng tải theo từng bậc sau cải tạo, kèm điều khoản bảo hành chất lượng vận hành trong hợp đồng.
- » Sử dụng vật liệu và cụm lắp đặt tiên chế để rút ngắn thời gian sấy lò và chạy thử.
- » Vận hành so sánh A/B giữa lò đã cải tạo và lò đối chứng để đánh giá khách quan hiệu quả năng lượng và chất lượng.
- » Xây dựng phương án dự phòng bằng đường đi vòng nhằm tránh treo tải hoặc gián đoạn dây chuyền trong suốt quá trình triển khai.

2.6.6 Rào cản thị trường – chuỗi cung ứng

Nguồn sinh khối/nhiên liệu từ rác thải không ổn định; phụ tùng đầu đốt/đầu dò nhập khẩu có thời gian giao hàng dài; dịch vụ sau bán hàng phân tán.

Giải pháp hỗ trợ

- » Khung thỏa thuận mua sắm với nhiều nhà cung cấp.
- » Kiểm soát chất lượng nhiên liệu theo tiêu chuẩn.
- » Dự phòng vật tư chiến lược.
- » Phát triển dịch vụ tại chỗ hoặc đại lý ủy quyền.

2.6.7 Rào cản chính sách – thể chế

Nhiều doanh nghiệp chưa thấy rõ động lực kinh tế vì định giá các-bon hoặc tiêu chuẩn bắt buộc chưa phổ biến; thiếu chương trình hỗ trợ vận hành theo dữ liệu.

Giải pháp hỗ trợ

- » Khuyến nghị triển khai tiêu chuẩn hiệu suất năng lượng tối thiểu.
- » Xây dựng chương trình giảm phát thải theo ngành.
- » Áp dụng biểu giá điện theo thời gian, cơ chế dịch chuyển phụ tải.
- » Quỹ hỗ trợ kiểm toán năng lượng – đo lường số hóa.
- » Xây dựng cẩm nang kỹ thuật và chương trình trình diễn quy mô ngành.

Bảng 13. Tổng hợp rào cản và nhu cầu hỗ trợ

Nhóm rào cản	Mô tả điển hình	Tác động tới dự án	Giải pháp hỗ trợ khuyến nghị	Đơn vị đầu mối	Chỉ số theo dõi/KPI
Kỹ thuật – hạ tầng	Thiếu không gian lắp đặt/đường ống; quạt và ống khói vận hành gần ngưỡng tải; rò rỉ khí; thiếu thiết bị đo	Hiệu quả không ổn định, gia tăng rủi ro an toàn	Khảo sát hiện trạng theo chuẩn; bổ sung đo oxy/CO, nhiệt độ và chênh áp; tính toán lại quạt; bố trí đường đi vòng; mô phỏng điểm sương axit; ban hành quy trình an toàn	Doanh nghiệp + nhà thầu	Hoàn thành hồ sơ khảo sát; đủ điểm đo; chênh áp/quạt đạt yêu cầu; xu hướng O ₂ /CO ổn định
Chi phí đầu tư	Chi phí đầu tư ban đầu cao; lo ngại chi phí vận hành cho vệ sinh và hiệu chuẩn	Trì hoãn quyết định, thu hẹp phạm vi cải tạo	Huy động tín dụng xanh/ESG; mô hình ESCO hoặc thuê mua; ưu đãi thuế/khấu hao nhanh; hợp đồng theo kết quả đạt được	Ngân hàng/ESCO + doanh nghiệp	Thời gian hoàn vốn/giá trị hiện tại ròng đạt ngưỡng; tỷ lệ vốn ưu đãi trong tổng đầu tư
Thông tin – đo lường & xác minh	Thiếu dữ liệu đường cơ sở (suất tiêu hao năng lượng, O ₂ , CO, nhiệt độ khói); chưa có quy trình đo lường – xác minh chuẩn	Khó phê duyệt đầu tư, khó nghiệm thu	Gói đo nhanh 2–4 tuần; bảng điều khiển chỉ số hiệu quả; mẫu hồ sơ yêu cầu kỹ thuật/chào giá; quy trình đo lường – xác minh thống nhất	Doanh nghiệp + tư vấn	Đường cơ sở được phê duyệt; báo cáo đo lường – xác minh sau cải tạo
Nhân sự – quản trị thay đổi	Hạn chế kỹ năng vận hành/hiệu chuẩn; tâm lý ngại thay đổi	Sai lệch chất lượng, hiệu quả suy giảm theo thời gian	Đào tạo theo vai trò; quy trình vận hành chuẩn chi tiết; kèm cặp tại hiện trường; cơ chế thưởng – phạt theo chỉ số hiệu quả	Doanh nghiệp	Tỷ lệ nhân sự được chứng nhận; mức tuân thủ quy trình vận hành chuẩn; số sự cố/tháng giảm
Thời gian dừng máy	Lịch sản xuất dày; lo ngại rủi ro chất lượng khi cải tạo	Chậm tiến độ, cắt giảm phạm vi	Chia phạm vi theo mô-đun; tăng tải theo bậc; bảo hành chất lượng; thi công	Doanh nghiệp + nhà thầu	Hoàn thành theo mốc kế hoạch; tỷ lệ lỗi chất lượng

Nhóm rào cản	Mô tả điển hình	Tác động tới dự án	Giải pháp hỗ trợ khuyến nghị	Đơn vị đầu mối	Chỉ số theo dõi/KPI
			tiền chế; phương án by-pass		bảng 0 khi nghiệm thu
Chuỗi cung ứng	Nguồn nhiên liệu sinh khối/RDF không ổn định; thời gian cung ứng dài	Hiệu quả dao động; chậm đưa vào vận hành	Khung mua sắm dài hạn; tiêu chuẩn hóa chất lượng nhiên liệu; tồn kho chiến lược; mạng lưới dịch vụ	Doanh nghiệp + hiệp hội + nhà cung cấp	Tỷ lệ giao hàng đúng hạn; chất lượng nhiên liệu đạt chuẩn
Chính sách – thể chế	Thiếu động lực kinh tế; ít chương trình hỗ trợ số hóa	Ưu tiên đầu tư thấp	Áp dụng tiêu chuẩn hiệu suất tối thiểu; quỹ hỗ trợ đo lường/kiểm toán; biểu giá theo thời gian/điều chỉnh phụ tải; chương trình trình diễn	Cơ quan quản lý + nhà tài trợ	Số doanh nghiệp tham gia; mức tiết kiệm năng lượng đạt được

CHƯƠNG 3. ỨNG DỤNG THỰC TẾ VÀ NGHIÊN CỨU ĐIỂN HÌNH

3.1 Ứng dụng thực tế tại Việt Nam

3.1.1 Ứng dụng công nghệ thu hồi nhiệt thải để phát điện trong ngành xi măng

Nhà máy Xi măng Tân Thắng (xã Tân Thắng, huyện Quỳnh Lưu, Nghệ An) vận hành dây chuyền sản xuất clinker công suất 5.000 tấn/ngày. Từ năm 2025, doanh nghiệp đã đầu tư hệ thống phát điện tận dụng nhiệt khí thải (waste heat recovery – WHR) cho dây chuyền này, với công suất thiết kế 9.000 kW, công suất phát điện gross 8.650 kW và công suất net 8.035 kW. Hệ thống do Công ty CP Xi măng Tân Thắng làm chủ đầu tư, nhà thầu thiết kế – cung cấp thiết bị và lắp đặt là Shanghai Conch Kawasaki Engineering Co., Ltd. Hệ thống WHR thu hồi nhiệt dư từ khí thải có nhiệt độ khoảng 250–400°C tại tháp trao đổi nhiệt và ghi làm nguội clinker, dẫn khí nóng qua các bộ trao đổi nhiệt, nồi hơi áp suất cao, sau đó qua tua-bin hơi để phát điện, toàn bộ điện năng phát ra được hòa vào lưới nội bộ của nhà máy.



Hình 4. Hệ thống thu hồi nhiệt từ quá trình phát thải tại Nhà máy Xi măng Tân Thắng

Về hiệu quả năng lượng và môi trường, hệ thống WHR giúp tận dụng gần như 100% nhiệt của dòng khí thải để phát điện, đáp ứng khoảng 1/3 nhu cầu điện năng của toàn nhà máy, tương đương tiết kiệm 25–30% sản lượng điện phải mua từ EVN. Theo đánh giá của doanh nghiệp, lượng điện tự phát này giúp nhà máy tiết kiệm khoảng 78–80 tỷ đồng tiền điện mỗi năm, đồng thời giảm tải cho hệ thống truyền tải quốc gia trong các thời điểm cao điểm phụ tải.

Cùng với hiệu quả kinh tế, hệ thống còn giúp giảm phát thải khoảng 40.000 tấn CO₂ mỗi năm; nồng độ bụi trong khí thải sau xử lý giảm từ khoảng 30 mg/Nm³ xuống chỉ còn khoảng 10 mg/Nm³, đáp ứng các tiêu chuẩn môi trường khắt khe tương đương EU và G7.

Về hiệu quả đầu tư, dự án được đánh giá có hiệu quả tài chính tốt với thời gian hoàn vốn khoảng 6 năm nhờ giá trị tiết kiệm chi phí điện năng hàng năm nêu trên.

Từ tỷ lệ tiết kiệm điện khoảng 25–30% và quy mô giảm phát thải CO₂, có thể coi đây là mô hình điển hình cho giải pháp thu hồi nhiệt thải phát điện trong ngành xi măng – một ngành tiêu thụ năng lượng và phát thải lớn. Dự án đồng thời đóng góp cho mục tiêu “xi măng xanh”, thực hiện Chiến lược quốc gia về Tăng trưởng xanh và cam kết phát thải ròng bằng “0” đến năm 2050, là cơ sở quan trọng để xem xét nhân rộng công nghệ WHR cho các dây chuyền lò nung clinker khác trong cả nước.

Bảng 14. Tổng hợp thông tin về dự án thu hồi nhiệt thải phát điện tại công ty CP xi măng Tân Thắng

Hạng mục	Thông tin
Tên doanh nghiệp	Công ty Cổ phần Xi măng Tân Thắng
Địa điểm	Nhà máy Xi măng Tân Thắng, Xóm Bắc Thắng, xã Quỳnh Thắng, tỉnh Nghệ An
Lĩnh vực	Sản xuất clinker và xi măng
Loại giải pháp TKNL	Thu hồi nhiệt khí thải phát điện (WHR)
Mục tiêu đầu tư	Tận dụng nhiệt dư của khí thải trong quá trình sản xuất clinker để phát điện, giảm chi phí mua điện và giảm phát thải môi trường
Dây chuyền/lò công nghiệp liên quan	Dây chuyền sản xuất clinker công suất 5.000 tấn/ngày
Công suất thiết kế hệ thống	9.000 kW (công suất thiết kế)
Công suất phát điện	8.650 kW (tại máy phát), 8.035 kW (phát lên lưới)
Nguồn nhiệt thu hồi	Nhiệt khí thải tại ghi làm nguội clinker và tháp trao đổi nhiệt, nhiệt độ khoảng 250–400°C
Nguyên lý/cấu hình chính	Khí thải nóng đi qua bộ trao đổi nhiệt – nồi hơi áp suất cao – tua bin hơi – máy phát điện, điện phát ra hòa lưới nội bộ nhà máy
Thời điểm đưa vào vận hành thương mại	30/4/2025 (vận hành thương mại), khánh thành và bàn giao hệ thống năm 2025

Hạng mục	Thông tin
Nhà thầu/đơn vị cung cấp công nghệ	Công ty Shanghai Conch Kawasaki Engineering Co., Ltd (thiết kế, cung cấp thiết bị, lắp đặt)
Tỷ lệ đáp ứng nhu cầu điện nhà máy	Hệ thống WHR đáp ứng khoảng 1/3 nhu cầu điện của toàn nhà máy; tương đương tiết kiệm 25–30% lượng điện phải mua từ EVN
Giá trị tiết kiệm chi phí điện	Khoảng 78–80 tỷ đồng/năm tiền điện (ước tính theo sản lượng điện tự phát)
Lợi ích môi trường	Giảm phát thải khoảng 40.000 tCO ₂ /năm; nồng độ bụi sau xử lý giảm từ ~30 mg/Nm ³ xuống ~10 mg/Nm ³ , đáp ứng tiêu chuẩn môi trường EU/G7
Thời gian thu hồi vốn sơ bộ	Khoảng 6 năm nhờ giá trị tiết kiệm chi phí điện hàng năm
Thời gian thi công	Thực tế rút ngắn từ khoảng 15 tháng xuống còn 9,5 tháng so với kế hoạch hợp đồng
Ghi chú	Dự án được đánh giá là mô hình tiêu biểu về giải pháp thu hồi nhiệt khí thải phát điện trong ngành xi măng, đóng góp cho mục tiêu “xi măng xanh” và lộ trình Net Zero của Việt Nam

3.1.2 Đầu tư lò tuy-nen di động tại Công ty TNHH Gạch tuy-nen Tiên Hưng (Bắc Giang)

Công ty TNHH Gạch tuy-nen Tiên Hưng (huyện Lục Nam, tỉnh Bắc Giang) là doanh nghiệp chuyên sản xuất gạch xây dựng từ đất sét nung. Trước đây, doanh nghiệp sử dụng công nghệ lò vòng truyền thống với mức tiêu hao năng lượng lớn, phát thải bụi và khí thải cao, chất lượng gạch không ổn định và cường độ lao động cao tại các khâu xếp – dỡ gạch.

Để nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng và tăng sức cạnh tranh, Công ty đã quyết định đầu tư dây chuyền sản xuất gạch hiện đại theo công nghệ lò tuy-nen di động (lò đĩa), dây chuyền khép kín, mức đầu tư hơn 80 tỷ đồng, với công suất khoảng 30 triệu viên gạch/năm. Đây là dạng lò tuy-nen hiện đại, buồng nung cố định, xe goòng mang gạch mộc di chuyển qua các vùng sấy – gia nhiệt – nung – làm nguội trong “đường hầm” nhiệt độ được điều khiển tự động.

Hệ thống lò mới được thiết kế tự động hóa cao, các thao tác vận hành, điều chỉnh nhiệt độ, tốc độ goòng được điều khiển từ phòng điều khiển trung tâm; doanh nghiệp đầu tư thêm hai robot xếp – gắp gạch cho các công đoạn xếp mộc và ra lò, qua đó chỉ cần một số ít công nhân vận hành nhưng có thể thay thế khoảng 40 lao động thủ công trước đây. Vỏ lò bằng thép kết hợp lớp vật liệu cách nhiệt hiệu suất cao giúp hạn chế tổn thất nhiệt qua thành lò. Ngoài ra, doanh nghiệp không dùng đất sét ruộng mà chuyển sang sử dụng đất đồi, đất bóc thải từ mỏ, bìa than, xỉ lò, gạch ngói phế thải... góp phần tận dụng tài nguyên thứ cấp và giảm sức ép lên đất nông nghiệp.

Việc chuyển đổi từ lò vòng sang lò tuy-nen di động đã giúp tăng sản lượng khoảng 30% so với trước, đồng thời giảm đáng kể mức tiêu thụ nhiên liệu cho mỗi viên gạch nhờ khả năng tận dụng nhiệt tốt hơn và giảm tổn thất nhiệt qua vỏ lò. Lò mới “tiết kiệm năng lượng, giảm đáng kể lượng khí thải” so với công nghệ cũ – đây là các chỉ số then chốt đối với doanh nghiệp vật liệu xây dựng trong bối cảnh chi phí năng lượng tăng và yêu cầu về môi trường ngày càng nghiêm ngặt.

Về môi trường, lò tuy-nen di động có kết cấu kín, kiểm soát tốt quá trình cháy nên lượng bụi, khí thải ra môi trường giảm mạnh so với lò vòng. Kết hợp với việc sử dụng các nguồn nguyên liệu đất đồi, đất bóc thải, xỉ, gạch vỡ, dự án góp phần giảm khai thác đất nông nghiệp, giảm chất thải rắn chôn lấp. Nhờ tự động hóa và robot hóa, điều kiện lao động của công nhân được cải thiện đáng kể: giảm tiếp xúc trực tiếp với nhiệt, bụi, tăng an toàn lao động và kỷ luật vận hành.

Về hiệu quả kinh tế – tài chính, khoản đầu tư hơn 80 tỷ đồng cho lò tuy-nen di động và dây chuyền khép kín được bù đắp bằng: (i) tăng sản lượng thêm khoảng 30% so với dây chuyền cũ; (ii) giảm chi phí nhiên liệu, điện năng nhờ hiệu suất nhiệt và tự động hóa; (iii) cắt giảm mạnh chi phí lao động trực tiếp khi robot thay thế khoảng 40 lao động; (iv) giảm tỷ lệ phế phẩm, nâng chất lượng và độ đồng đều của sản phẩm, qua đó nâng biên lợi nhuận và khả năng cạnh tranh về giá. Nhìn tổng thể, đây là một trường hợp điển hình về đổi mới công nghệ lò gạch sang lò tuy-nen hiện đại gắn với mục tiêu tiết kiệm năng lượng, giảm phát thải và chuyển dịch sang mô hình sản xuất xanh hơn trong ngành vật liệu xây dựng.

Bảng 14. Tổng hợp thông tin về giải pháp điển hình đầu tư lò tuy-nen di động

Hạng mục	Đơn vị	Giá trị
Công nghệ trước khi đầu tư	–	Lò vòng nung gạch truyền thống
Công nghệ sau đầu tư	–	Lò tuy-nen di động (lò đĩa), dây chuyền khép kín, có robot
Chi phí đầu tư	Tỷ đồng	> 80
Công suất thiết kế	Triệu viên/năm	30
Thay đổi sản lượng	%	30%
Thay đổi lao động	Người	Giảm ~40 lao động trực tiếp
Nhiên liệu chính	–	Than cám
Suất tiêu hao than trước khi đầu tư (lò vòng – giả định)	kg than / 1.000 viên	200
Suất tiêu hao than sau đầu tư (lò tuy-nen – giả định)	kg than/1.000 viên	135
Tổng than tiêu thụ trước khi đầu tư	tấn/năm	≈ 6.000
Tổng than tiêu thụ sau khi đầu tư	tấn/năm	≈ 4.050

Hạng mục	Đơn vị	Giá trị
Lượng than tiết kiệm	tấn/năm	≈ 1.950
Đơn giá than tham chiếu	đ/kg	2
Chi phí nhiên liệu tiết kiệm	Tỷ đồng/năm	≈ 3,9
Hệ số phát thải CO ₂ của than cám loại 3–5	tCO ₂ /tấn than	2,1–2,9
Giảm phát thải CO ₂ ước tính	tCO ₂ /năm	≈ 5.600

3.2 Nghiên cứu điển hình quốc tế

3.2.1 Đầu đốt tái sinh cho lò nung lại thép (Thái Lan)

3.2.1.1 Bối cảnh và đặc điểm công nghệ lò

Một nhà máy cán thép tại Thái Lan vận hành dây chuyền cán nóng sử dụng lò nung lại phôi thép kiểu đẩy, công suất khoảng 30 tấn phôi/giờ. Lò sử dụng nhiên liệu khí tự nhiên, nhiệt độ nung trong lò khoảng 1.100–1.250°C, làm việc gần như liên tục để cấp phôi cho dây chuyền cán.

Trước khi cải tạo, lò đã được trang bị bộ thu hồi nhiệt để tận dụng nhiệt khói thải làm nóng không khí cháy. Tuy nhiên, do giới hạn trao đổi nhiệt, nhiệt độ không khí cháy chỉ đạt xấp xỉ 300°C, trong khi nhiệt độ khói thải vẫn ở mức cao, tổn thất nhiệt lớn. Suất tiêu hao năng lượng trên 1 tấn thép cán còn khá cao, chi phí nhiên liệu là một cấu phần đáng kể trong giá thành sản phẩm, đồng thời phát thải CO₂ tương ứng.

Để nâng cao hiệu quả năng lượng, nhà máy quyết định đầu tư hệ thống đầu đốt tái sinh, kết hợp nâng cấp hệ thống điều khiển – đo lường và tối ưu hóa chế độ vận hành lò.

3.2.1.2 Mô tả giải pháp TKNL

Giải pháp được triển khai là thay thế các đầu đốt thông thường bằng cụm đầu đốt tái sinh, mỗi cụm gồm hai đầu đốt lắp đối xứng, kèm theo buồng chứa vật liệu gạch chịu lửa dạng tổ ong. Nguyên lý làm việc:

- » Ở một chu kỳ, một đầu đốt hoạt động, hút không khí cháy qua buồng thu hồi nhiệt tái sinh đã được làm nóng sẵn; không khí qua đây được gia nhiệt từ nhiệt độ môi trường lên tới khoảng 1.000°C trước khi vào buồng đốt.
- » Đồng thời, đầu đốt còn lại ở chế độ xả khói thải; dòng khói nóng từ lò đi ngược qua khối gạch chịu lửa của đầu đốt này, truyền nhiệt và làm nóng khối gạch.
- » Sau một khoảng thời gian (vài chục giây đến vài phút, tùy thiết kế), chu kỳ đảo chiều: đầu đốt đang cháy chuyển sang xả khói, và đầu đốt còn lại bắt đầu cấp nhiên liệu – không khí đã được gia nhiệt qua khối gạch đang nóng.

- » Nhờ quá trình hoàn nhiệt luân phiên như vậy, nhiệt độ không khí cháy trước buồng đốt tăng lên rất cao (xấp xỉ 1.000°C), đồng nghĩa với việc giảm đáng kể lượng nhiên liệu cần thiết để đạt nhiệt độ nung trong lò. Hệ thống được tích hợp với:
- » Bộ điều khiển PLC/DCS để điều khiển chu kỳ đảo chiều, lưu lượng khí – không khí và áp suất buồng lò.
- » Hệ thống giám sát nhiệt độ các vùng lò, nhiệt độ không khí cháy, nhiệt độ khói thải sau thu hồi nhiệt tái sinh và sau ống khói.
- » Các thiết bị an toàn cháy nổ, van khóa nhanh, cảm biến áp suất, van xả khẩn.

Toàn bộ quá trình cải tạo được thực hiện khi lò dừng bảo dưỡng định kỳ, nhằm giảm tối đa thời gian ngừng sản xuất.

3.2.1.3 Hiệu quả năng lượng – môi trường – tài chính

Kết quả đo đạc trước và sau cải tạo cho thấy:

- » Nhiệt độ không khí cháy tăng từ khoảng 300°C (chỉ dùng bộ hồi nhiệt) lên gần 1.000°C nhờ đầu đốt tái sinh.
- » Suất tiêu hao nhiên liệu của lò giảm khoảng 43% so với trường hợp chỉ sử dụng bộ hồi nhiệt, với cùng sản lượng và chất lượng sản phẩm.
- » Nhiệt độ khói thải cuối sau hệ thống tận dụng nhiệt giảm đáng kể, tổn thất theo khói thải được cắt giảm mạnh.
- » Phát thải CO₂ từ tiêu thụ khí tự nhiên giảm tương ứng (xấp xỉ 0,2 tCO₂/MWh nhiệt), qua đó góp phần đáp ứng các mục tiêu giảm phát thải của doanh nghiệp.

Về tài chính, mặc dù số liệu chi tiết về vốn đầu tư không được công bố đầy đủ, kinh nghiệm quốc tế cho thấy:

- » Đối với lò công suất trung bình – lớn, thời gian hoàn vốn điển hình khoảng 2–4 năm, tùy giá nhiên liệu và mức độ tận dụng nhiệt hiện có.
- » Dòng tiền tiết kiệm nhiên liệu khá ổn định, dễ huy động các nguồn tài chính xanh hoặc triển khai theo mô hình ESCO.

Ngoài ra, nhờ cải thiện phân bố nhiệt và kiểm soát cháy tốt hơn, một số nhà máy còn ghi nhận:

- » Tăng nhẹ năng suất cán do rút ngắn thời gian nung.
- » Giảm tỷ lệ phế phẩm do nung quá nhiệt hoặc không đồng đều.

3.2.1.4 Bài học kinh nghiệm và khả năng nhân rộng tại Việt Nam

Điều kiện tiên quyết:

- » Lò làm việc liên tục, công suất trung bình lớn, nhiệt độ làm việc cao (>1.050 – 1.100°C).
- » Có nguồn nhiên liệu khí tự nhiên/LPG/khí lò cao có thể kiểm soát được chất lượng và áp suất.
- » Cấu trúc lò đủ không gian để lắp đặt các cụm đầu đốt tái sinh và đường ống đi kèm.

Thiết kế và tích hợp hệ thống:

- » Cần thiết kế chi tiết vị trí đầu đốt, phân vùng nhiệt, chu kỳ đảo chiều tối ưu để tránh dao động nhiệt độ quá lớn trong lò.
- » Kết hợp cải tạo lớp cách nhiệt, giảm rò lọt không khí nguội và tối ưu hóa đường đi sản phẩm.

Vận hành và bảo trì:

- » Đòi hỏi đội ngũ vận hành nắm vững nguyên lý hoạt động, đặc biệt là các chế độ sự cố (mất khí, mất điện, lỗi van đảo chiều).
- » Buồng regenerator cần được kiểm tra định kỳ hiện tượng nứt, bám bụi hoặc bít tắc kênh gạch chịu lửa.

Giải pháp đầu đốt tái sinh rất phù hợp với:

- » Lò nung lại phôi thép trong các nhà máy cán thép dài, thép tấm, thép xây dựng;
- » Lò rèn, lò xử lý nhiệt kim loại có chế độ vận hành liên tục hoặc bán liên tục;
- » Các lò công nghiệp nhiệt độ cao khác (gốm sứ, vật liệu chịu lửa) nếu sử dụng nhiên liệu khí và có không gian bố trí thiết bị.

Các yếu tố thuận lợi ở Việt Nam:

- » Ngành thép cán dài và thép xây dựng có nhiều lò nung lại công suất từ vài chục tấn/giờ trở lên, tiềm năng tiết kiệm lớn nếu chuyển đổi đầu đốt.
- » Chính sách khuyến khích TKNL và giảm phát thải khí nhà kính giúp nâng cao tính hấp dẫn của các dự án đầu tư chiều sâu.

Các rào cản chính:

- » Vốn đầu tư ban đầu tương đối lớn so với các giải pháp TKNL “nhẹ” (tối ưu vận hành, bảo ôn, cải tạo quạt – bơm).
- » Phụ thuộc vào nhà cung cấp công nghệ đầu đốt tái sinh, van đảo chiều, hệ điều khiển) và dịch vụ bảo trì sau bán hàng.
- » Yêu cầu trình độ kỹ thuật vận hành cao hơn, cần đào tạo và hỗ trợ kỹ thuật trong giai đoạn đầu.

Tóm lại, đây là một giải pháp TKNL chuyên sâu cho các lò nung kim loại, mang lại mức giảm tiêu thụ năng lượng rất lớn và tác động rõ rệt tới chi phí sản xuất cũng như phát thải CO₂. Đối với các nhà máy cán thép quy mô vừa và lớn tại Việt Nam, việc nghiên cứu, thí điểm áp dụng đầu đốt tái sinh là hướng đi tiềm năng, đặc biệt trong bối cảnh chi phí năng lượng ngày càng tăng và yêu cầu giảm phát thải ngày càng khắt khe.

3.2.2 Cải tạo lò nung lại phôi thép bằng buồng đốt tái sinh, Indonesia

3.2.2.1 Thông tin chung

Ngành / loại lò: Lò nung lại phôi thép cho dây chuyền cán thép dài.

Doanh nghiệp tiêu biểu: PT Gunung Garuda, Cibitung, Indonesia – dự án mẫu hợp tác Indonesia và Nhật Bản (Nippon Steel Engineering, NEDO, JICA).

Quy mô điển hình: Chương trình nhân rộng được thiết kế cho các lò nung lại công suất khoảng 300.000 tấn/năm (lò của các nhà máy lớn) và 50.000 tấn/năm (nhà máy vừa), lắp 12 cặp đầu đốt cho một lò lớn và 2 cặp đầu đốt cho một lò trung bình.

3.2.2.2 Mô tả công nghệ TKNL

Lò nung lại ban đầu sử dụng các đầu đốt thông thường kết hợp bộ thu hồi nhiệt kiểu hồi nhiệt bằng kim loại để tận dụng một phần nhiệt khói thải.

- » Dự án thay thế cụm đầu đốt cũ bằng hệ thống buồng đốt tái sinh.
- » Mỗi cặp burner luân phiên giữa hai chế độ: đốt và xả khói.
- » Khi xả, khói lò nhiệt độ cao đi qua khối vật liệu gốm và làm nóng khối gốm.
- » Khi đốt, không khí cháy được hút qua khối gốm này và được gia nhiệt tới khoảng 900–1.000°C, xấp xỉ nhiệt độ lò trước khi trộn với nhiên liệu.

Do nhiệt cháy đến từ không khí đã được gia nhiệt sâu, hệ thống:

- » Giảm đáng kể lượng nhiên liệu cần cho cùng tải nhiệt.
- » Giảm tổn thất nhiệt theo khói thải.
- » Giảm phát thải NO_x nhờ chế độ cháy “mềm”, phân bố nhiệt đều trong buồng lò.

3.2.2.3 Quy mô đầu tư và các chỉ số hiệu quả

Theo nghiên cứu chương trình mẫu của JICA/IEEJ cho cụm lò cán thép sử dụng đầu đốt tái sinh tại Indonesia:

Quy mô triển khai mẫu:

- » Nhà máy lớn: 18 lò, mỗi lò 12 cặp đầu đốt.
- » Nhà máy vừa: 33 lò, mỗi lò 2 cặp đầu đốt.

Chi phí đầu tư thiết bị:

- » Khoảng 33 tỷ Rupiah (~52 tỷ VNĐ) cho 12 cặp đầu đốt (một lò cỡ lớn).

- » Khoảng 5 tỷ Rupiah (~8 tỷ VNĐ) cho 2 cặp đầu đốt (một lò cỡ trung).
Hiệu quả năng lượng và tài chính:
- » Tiết kiệm năng lượng: giảm khoảng 30% tiêu thụ dầu/nhiên liệu cho lò nung lại so với công nghệ burner thông thường.
- » Giảm chi phí mua dầu: khoảng 300 tỷ Rupiah (~470 tỷ VNĐ) trong 10 năm, trong đó chi phí tăng thêm (O&M, khấu hao, lãi vay) khoảng 70 tỷ Rupiah (~110 tỷ VNĐ), lợi ích ròng 230 tỷ Rupiah/10 năm (~360 tỷ VNĐ/10 năm).
- » Chỉ tiêu tài chính: suất sinh lợi nội bộ IRR ~20% trong kịch bản được hỗ trợ một phần vốn; với kịch bản giá dầu cao, IRR riêng cho doanh nghiệp có thể gần 60%.
- » Giảm phát thải: giảm khoảng 33 nghìn tấn CO₂/năm khi nhân rộng cho toàn bộ các lò mục tiêu trong ngành thép Indonesia.

3.2.2.4 Đánh giá khả năng áp dụng tại Việt Nam

Tính tương thích công nghệ: Việt Nam có nhiều lò nung lại phôi thép (cán dài, cán tấm) đang sử dụng dầu FO hoặc khí tự nhiên, nhiệt độ lò 1.150 – 1.250°C, khói thải nhiệt độ cao; điều kiện gần tương đồng các nhà máy ở Indonesia và Nhật Bản – là môi trường rất phù hợp cho đầu đốt tái sinh.

Tiềm năng tiết kiệm: Nếu giả sử một lò nung lại tiêu thụ nhiên liệu tương tự, mức giảm 25 – 30% nhiên liệu là khả thi về mặt kỹ thuật, đặc biệt với các lò hiện dùng đầu đốt thông thường và bộ hồi nhiệt bằng kim loại. Mức giảm này sẽ tương đương giảm chi phí nhiên liệu hàng năm hàng chục tỷ đồng cho mỗi lò cỡ 200 – 300 nghìn tấn/năm, tùy giá FO/khí.

Yêu cầu hạ tầng & điều kiện tiên quyết

- » Cần có nguồn khí đốt ổn định (NG/LPG/than khí hóa) hoặc dầu FO chất lượng ổn định.
- » Không gian bố trí các cụm thu hồi nhiệt tái sinh gồm tại thành lò (thường lớn hơn burner cũ).
- » Hệ thống điều khiển cháy tự động, đo lưu lượng nhiên liệu – không khí, giám sát O₂ khói thải.
- » Chất lượng gạch chịu lửa và kết cấu lò phải chịu được nhiệt độ cao hơn tại vùng cháy.

Khả năng nội địa hóa & rào cản

- » Về cơ khí và kết cấu, Việt Nam có thể gia công vỏ burner, ống dẫn, giá đỡ; bộ thu hồi nhiệt tái sinh bằng gốm và van đảo chiều nhiệt độ cao có thể phải nhập khẩu trong giai đoạn đầu.

- » Rào cản chính nằm ở chi phí đầu tư ban đầu tương đối lớn và yêu cầu dừng lò để cải tạo; tuy nhiên với IRR thực tế 17–20% trở lên và thời gian đánh giá 10 năm, đây là giải pháp phù hợp cho các dự án tiết kiệm năng lượng có hỗ trợ tín dụng ưu đãi/ESCO.

Khuyến nghị cho Việt Nam

- » Ưu tiên thử nghiệm cho 1–2 lò nung lại phôi thép quy mô ≥ 200.000 tấn/năm đang dùng dầu FO hoặc khí tự nhiên, có dữ liệu tiêu thụ nhiên liệu đầy đủ.
- » Kết hợp đo kiểm trước và sau cải tạo để xây dựng bộ số liệu chuẩn về suất tiêu hao, chi phí và phát thải, từ đó đưa vào danh mục công nghệ TKNL khuyến nghị cho ngành thép và lò công nghiệp nhiệt độ cao nói chung.

3.2.3 Bánh xe thu hồi nhiệt cho lò tuy-nen gốm – sứ (Ấn Độ)

3.2.3.1 Bối cảnh và hiện trạng công nghệ

Doanh nghiệp gốm sứ này vận hành lò tuy-nen đốt nhiên liệu hóa thạch (thường là dầu hoặc khí) để nung sản phẩm gốm sứ. Cấu hình lò điển hình gồm các vùng: sấy, tiền gia nhiệt, nung và làm nguội. Trước khi cải tạo, khu vực tiền gia nhiệt xả ra khoảng $7.500 \text{ m}^3/\text{h}$ khí nóng ở 300°C trực tiếp ra môi trường, trong khi phía đầu vào lò lại cần cung cấp không khí nóng để sấy và gia nhiệt sản phẩm.

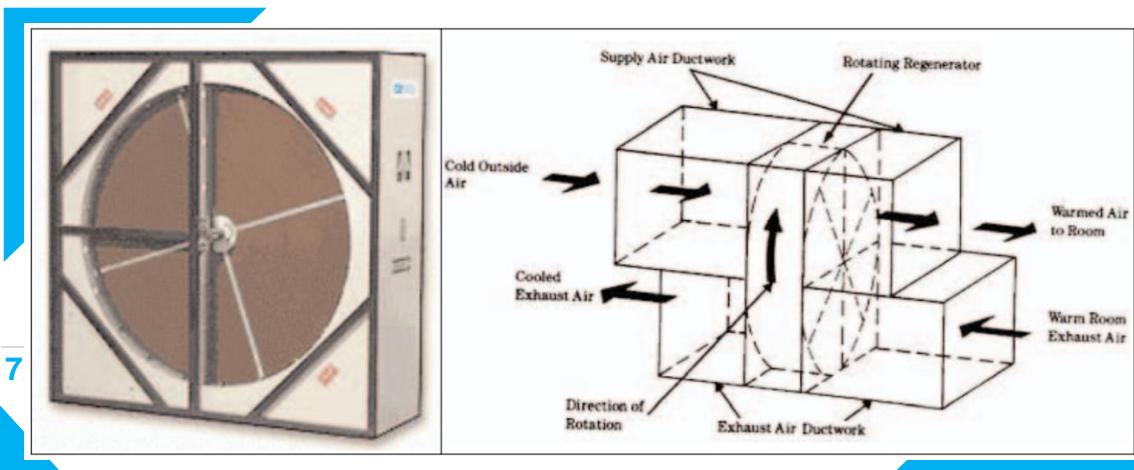
Điều này dẫn đến hai vấn đề chính:

- » Tổn thất nhiệt rất lớn theo dòng khói thải, làm suất tiêu hao nhiên liệu trên một đơn vị sản phẩm cao, chi phí năng lượng chiếm tỷ trọng đáng kể trong giá thành.
- » Nhiệt độ không khí cấp cho vùng sấy/tải đầu lò bị giới hạn, ảnh hưởng đến tốc độ sấy, dễ phát sinh nứt vỡ sản phẩm nếu điều khiển không tốt.

Doanh nghiệp đặt mục tiêu giảm chi phí nhiên liệu, tận dụng nhiệt thải nhưng không làm phức tạp quá mức việc vận hành lò, nên đã lựa chọn giải pháp lắp bánh xe nhiệt tại vùng tiền gia nhiệt.

3.2.3.2 Mô tả chi tiết giải pháp bánh xe thu hồi nhiệt

Bánh xe thu hồi nhiệt là một loại bộ trao đổi nhiệt dạng bánh xe quay dùng cho dải nhiệt thấp và trung bình. Bánh xe được chế tạo từ vật liệu có nhiệt dung lớn (thép không gỉ, vật liệu tổ ong gốm...), cấu trúc rỗng với nhiều kênh nhỏ cho khí đi qua.



Hình 5. Sơ đồ nguyên lý của bánh xe thu hồi nhiệt

Cách lắp đặt như sau:

- » Dòng khí nóng 300°C từ vùng tiền gia nhiệt đi qua một nửa mặt cắt bánh xe rồi thải ra ống khói.
- » Phần còn lại của bánh xe quay sang phía dòng không khí tươi (lấy từ phía đỉnh lò hoặc môi trường), truyền lại nhiệt cho không khí này trước khi không khí được cấp trở lại vùng sấy/tiền gia nhiệt.
- » Bánh xe quay liên tục với tốc độ thấp (vài vòng/giờ), bảo đảm mỗi phần tử vật liệu luân phiên tiếp xúc với khí nóng và khí lạnh.

Nhờ cấu trúc này, thiết bị có các ưu điểm:

- » Diện tích trao đổi nhiệt rất lớn trên một thể tích nhỏ, tổn thất áp suất thấp, phù hợp với khí lưu lượng lớn như khí thải lò tuy-nen.
- » Có thể xử lý dải nhiệt độ tới khoảng 300–350°C, đúng với vùng khí thải của khu vực sấy/tiền gia nhiệt trong ngành gốm sứ.
- » Hệ thống động lực đơn giản (một mô-tơ quay chậm) nên vận hành, bảo trì thuận tiện.

3.2.3.3 Kết quả và chỉ số hiệu quả²

- » Nhiệt độ khói thải sau khi đi qua heat wheel giảm từ 300°C xuống khoảng 150°C.
- » Không khí tươi được gia nhiệt lên tới khoảng 155°C trước khi cấp vào vùng sấy/tiền gia nhiệt.
- » Đầu đốt riêng cho không khí nóng ở vùng này trở nên không cần thiết, vì nhiệt cho sấy/tiền gia nhiệt gần như được cung cấp hoàn toàn từ nhiệt thải.
- » Thời gian hoàn vốn đầu tư < 12 tháng, nhờ tiết kiệm nhiên liệu đáng kể.

Giải pháp giúp giảm 150°C trên dòng khí thải 7.500 m³/h; đồng thời thay thế hoàn toàn năng lượng cho một vùng đầu đốt cho thấy phần nhiệt thu hồi là rất đáng kể, đặc biệt khi xem xét lò tuy-nen hoạt động liên tục nhiều ca trong năm. Về môi trường, nhiệt thải giảm đồng nghĩa với: giảm tiêu thụ nhiên liệu hóa thạch, từ đó giảm phát thải CO₂ và các chất ô nhiễm khác (NO_x, SO₂) tương ứng.

Ngoài hiệu quả năng lượng, doanh nghiệp còn hưởng lợi về chất lượng sản phẩm: không khí sấy có nhiệt độ ổn định, độ ẩm được kiểm soát tốt hơn, giảm rủi ro nứt vỡ hoặc biến dạng sản phẩm trong giai đoạn sấy.

² Cục Hiệu quả Năng lượng (BEE). Hiệu suất Năng lượng trong Các Hệ thống Nhiệt – Chương 8: Thu hồi Nhiệt Thải. New Delhi, Ấn Độ. Ví dụ minh họa: bánh xe nhiệt được lắp đặt trên lò nung đường hầm trong ngành công nghiệp gốm sứ.

3.2.3.4 Đánh giá khả năng áp dụng và nhân rộng tại Việt Nam

Giải pháp này đặc biệt phù hợp với:

- » Lò tuy-nen gạch, ngói, gốm sứ, sứ vệ sinh quy mô vừa và lớn đang vận hành ở Việt Nam;
- » Các lò có vùng sấy/tiền gia nhiệt xả ra khí nóng liên tục ở 250–350°C, trong khi phía đầu vào cần không khí nóng hoặc khí cháy sơ cấp.

Trong nhiều nhà máy hiện nay, khí thải vùng sấy/tiền gia nhiệt vẫn còn nhiệt độ khá cao và đang bị thải trực tiếp ra môi trường hoặc chỉ tận dụng một phần bằng các ống trao đổi nhiệt đơn giản. Việc thay thế bằng bánh xe thu hồi nhiệt có thể giúp tăng sâu mức thu hồi nhiệt mà không cần thay đổi căn bản cấu trúc lò.

3.2.3.5 Rủi ro kỹ thuật và lưu ý khi thiết kế

Một số rủi ro chính khi ứng dụng tại Việt Nam bao gồm:

- » Bám bụi, bám men, và ăn mòn trên bề mặt bánh xe do thành phần bụi, hơi hóa chất trong khí thải.
- » Rò lọt khí nóng sang phía không khí tươi nếu thiết kế phớt làm kín không tốt, có thể gây ô nhiễm không khí cấp hoặc làm mất cân bằng áp suất lò.
- » Nguy cơ tăng trở lực hệ thống, dẫn tới phải nâng cấp quạt hút/đẩy nếu không tính toán trước.

Để giảm thiểu rủi ro, khi thiết kế cần:

- » Lựa chọn vật liệu bánh xe phù hợp (chống bám bụi, chịu ăn mòn) và bố trí hệ tự vệ sinh/jet cleaning định kỳ.
- » Bố trí nhánh khí đi vòng cho phép tách bánh xe thu hồi nhiệt ra khỏi dòng khí trong một số chế độ vận hành (ví dụ khi bảo trì, khi sản lượng thấp, hoặc khi điều kiện khí thải thay đổi).
- » Tính toán cân bằng nhiệt, cân bằng áp suất tổng thể của lò, bảo đảm không gây ảnh hưởng xấu đến chế độ cháy và phân bố nhiệt dọc lò.

3.2.3.6 Tính khả thi tài chính tại Việt Nam

Với thời gian hoàn vốn điển hình dưới 1 năm trong case Ấn Độ, có thể kỳ vọng thời gian hoàn vốn tại Việt Nam nằm trong khoảng 1–2 năm, tùy:

- » Giá nhiên liệu (than cám, dầu, LPG hoặc khí),
- » Số giờ vận hành/năm của lò,
- » Mức đầu tư thiết bị và chi phí lắp đặt.

Đây là khoản đầu tư tương đối “nhẹ” so với việc xây mới lò hoặc thay đổi toàn bộ công nghệ, rất phù hợp để đưa vào danh mục các giải pháp TKNL khuyến nghị cho cụm ngành gạch ngói, gốm sứ, sứ vệ sinh.

3.2.4 Lò nấu thủy tinh oxy–nhiên liệu kết hợp điện tăng cường (Şişecam – Thổ Nhĩ Kỳ)

3.2.4.1 Bối cảnh và hiện trạng công nghệ

Trong sản xuất thủy tinh sợi, yêu cầu về nhiệt độ cao, phân bố nhiệt đồng đều và thời gian lưu đủ dài trong bể thủy tinh là rất khắc khe để bảo đảm độ bền, độ đồng nhất và khả năng kéo sợi. Lò thủy tinh sợi của Şişecam trong nghiên cứu này là lò đơn vị đốt oxy–nhiên liệu, trang bị 9 đầu đốt ngọn lửa phẳng lắp trên buồng đốt.

Oxy–nhiên liệu giúp giảm đáng kể phát thải NOx và bụi so với lò đốt không khí, nhưng lại làm tăng xu hướng hình thành lớp bọt trên bề mặt thủy tinh nóng chảy – lớp bọt này cách nhiệt, làm giảm truyền nhiệt từ vùng cháy xuống bể thủy tinh, khiến việc nâng công suất lò gặp giới hạn.

Đồng thời, nhu cầu thị trường đòi hỏi tăng công suất lò ~25–30% mà vẫn giữ chất lượng thủy tinh sợi (độ đồng nhất, ít bọt khí). Vì vậy, doanh nghiệp đặt mục tiêu:

- » Tăng pull rate (tốc độ kéo thủy tinh) khoảng 28%;
- » Giữ hoặc cải thiện chất lượng thủy tinh;
- » Giảm suất tiêu hao nhiên liệu khí và phát thải đi kèm.

3.2.4.2 Chi tiết giải pháp: oxy–nhiên liệu kết hợp điện tăng cường

Nghiên cứu của Şişecam triển khai đồng thời hai nhóm giải pháp trong lò nấu thủy tinh sợi đốt oxy – nhiên liệu:

- » Hệ thống điện tăng cường nhiều vùng.
- » Lò được lắp 4 vùng điện cực, mỗi vùng 6 điện cực bố trí ở đáy bể thủy tinh (tổng cộng 24 điện cực).
- » Công suất điện cực tối đa khoảng 1.700 kW (Case 5 trong mô hình).
- » Phân bố công suất: khoảng 53% năng lượng điện đặt dưới vùng nạp liệu, 47% dưới vùng quá nhiệt, nhằm vừa tăng nhiệt độ khu vực nóng chảy ban đầu vừa duy trì nhiệt độ cao ở vùng tinh luyện.

Hệ thống được thiết kế trên cơ sở mô hình toán 3D của lò, nhằm tối ưu dòng đối lưu, trường nhiệt độ và thời gian lưu của thủy tinh.

Hệ thống sục khí trong bể thủy tinh: Bố trí hai hàng ống thổi bọt khí đặt cách cửa ra khoảng 70% chiều dài lò, kéo ngang bề rộng bể thủy tinh. Nhiệm vụ của hệ thống sục khí là tạo dòng bong bóng khí từ đáy lên mặt, kéo thủy tinh lạnh từ đáy lên trên, tăng đối lưu, qua đó tăng trao đổi nhiệt giữa vùng cháy và thủy tinh, cũng như trong chính khối thủy tinh lỏng.

Điện tăng cường đưa năng lượng trực tiếp vào khối thủy tinh với hiệu suất rất cao (80–90%), làm tăng nhiệt độ đáy bể, kích hoạt các vòng đối lưu mạnh hơn và rút ngắn thời gian nóng chảy – tinh luyện.

Hệ thống sục khí củng cố thêm đối lưu, đặc biệt quanh vùng quá nhiệt, tạo hai vòng tuần hoàn chính trong bể thủy tinh, giúp phân bố nhiệt đồng đều, tăng mức độ đồng nhất của thủy tinh và hỗ trợ khử bọt.

Giải pháp được khảo sát qua 5 kịch bản tăng dần công suất điện và các cấu hình bubblers khác nhau, sau đó chọn cấu hình tối ưu để áp dụng vận hành thực tế.

3.2.4.3 Kết quả và các chỉ số hiệu quả chính³

Tăng công suất và chất lượng sản phẩm:

- » Gia nhiệt bằng điện bổ trợ cho phép nâng suất kéo từ 1,60 lên 2,0 tấn/m²·ngày, tương đương tăng công suất lò khoảng 25–28% mà vẫn bảo đảm yêu cầu chất lượng thủy tinh.
- » Mô hình cho thấy dòng đối lưu trong bể được tăng cường, thời gian lưu và phân bố nhiệt độ thuận lợi hơn cho quá trình tinh luyện và khử bọt, góp phần ổn định chất lượng thủy tinh sợi.

Tiết kiệm nhiên liệu khí và hiệu quả năng lượng

- » Khi thay thế một phần năng lượng từ khí đốt bằng điện, suất tiêu hao nhiên liệu khí giảm khoảng 15%, phản ánh việc giảm suất tiêu hao nhiên liệu riêng khi tỷ lệ điện trong tổng năng lượng cấp cho lò tăng lên.
- » Đồng thời, công nghệ đốt oxy giúp giảm lưu lượng khí thải cần xử lý và giảm phát thải NO_x, SO₂ và bụi so với lò sử dụng không khí làm chất oxy hóa.

Tác động của hệ thống sục khí và nhiệt độ lò

- » Với kịch bản công suất điện cực cao nhất (khoảng 1.700 kW) và bật hệ thống sục khí, nhiệt độ trung bình bể thủy tinh tăng thêm khoảng 35°C so với trường hợp không sử dụng sục khí.
- » Hệ thống sục khí làm tăng nhiệt độ đáy và cải thiện đồng đều nhiệt độ theo chiều sâu bể; qua đó tăng hiệu quả trao đổi nhiệt, giảm vùng “lạnh” trong bể, góp phần giảm phế phẩm và hỗ trợ thay đổi màu/thành phần nhanh hơn.

Khía cạnh kinh tế – vận hành

³ Durubal, M., Gül, B. A Numerical Investigation of the Effect of Electric Boosting in an Oxy Fuel Fired Glass Fiber Furnace. Şişecam Science and Technology Center, Gebze, Turkey, Glass Service seminar paper

- » Lượng điện bổ sung được tối ưu trên cơ sở so sánh chi phí tương đối giữa điện và oxy/nhiên liệu, sao cho tổng chi phí năng lượng trên một tấn sản phẩm là tối thiểu, đồng thời đáp ứng mục tiêu tăng công suất.
- » Về kỹ thuật, việc giảm một phần tải nhiệt từ vùng cháy (do có điện hỗ trợ) có thể giúp hạ nhiệt độ vòm lò, kéo dài tuổi thọ vật liệu chịu lửa.

3.2.4.4. *Đánh giá khả năng áp dụng và nhân rộng tại Việt Nam*

Đối tượng tiềm năng:

- » Các dự án xây dựng lò nấu thủy tinh mới (kính xây dựng, kính năng lượng mặt trời, kính siêu trong, kính sợi) đang xem xét áp dụng công nghệ đốt oxy hoặc phương án lai ghép giữa đốt oxy và gia nhiệt bằng điện hỗ trợ.
- » Các nhà máy có giá điện công nghiệp cạnh tranh so với giá nhiên liệu khí/dầu và chịu áp lực giảm phát thải CO₂, NOx, bụi.

Điều kiện tiên quyết:

- » Khả năng tiếp cận nguồn oxy công nghiệp ổn định với chi phí hợp lý (sản xuất tại chỗ hoặc mua ngoài).
- » Hệ thống nguồn và phân phối điện công suất lớn, bảo đảm cấp điện liên tục cho điện cực; cần xét đến rủi ro mất điện và các chế độ an toàn.
- » Đội ngũ kỹ thuật có kinh nghiệm vận hành lò công nghệ đốt oxy, điện cực và sục khí, kèm hệ thống giám sát, điều khiển nhiệt độ – dòng đối lưu bằng mô hình và/hoặc thiết bị đo trực tuyến.

Lợi ích kỳ vọng tại Việt Nam:

- » Nếu áp dụng tương tự, các lò kính quy mô trung bình – lớn có thể tăng 20–30% công suất mà không phải xây mới lò, đồng thời giảm tiêu hao nhiên liệu khí khoảng 10–15%, giảm phát thải CO₂ và các chất ô nhiễm theo đơn vị sản phẩm.
- » Kết hợp với các cơ chế tín dụng xanh, chứng chỉ các-bon hoặc ưu đãi cho dự án giảm phát thải, bài toán tài chính có thể trở nên hấp dẫn hơn, dù chi phí đầu tư ban đầu lớn.

Rào cản chính:

- » Chi phí đầu tư ban đầu cao, bao gồm hệ thống sản xuất hoặc nhập oxy, điện cực, máy biến áp, hệ thống điều khiển và thiết bị xử lý khí thải phù hợp với chế độ đốt oxy.
- » Phụ thuộc vào tương quan giá điện và nhiên liệu khí/dầu: trong trường hợp giá điện cao, mức giảm tiêu hao nhiên liệu khí khoảng 15% có thể không đủ bù đắp chi phí điện bổ sung.

- » Yêu cầu trình độ kỹ thuật và an toàn cao (oxy tinh khiết, công suất điện lớn, quản lý rủi ro ăn mòn, xâm thực điện cực).

Tóm lại, trường hợp của Şişecam cho thấy mô hình lò công nghệ đốt oxy kết hợp điện tăng cường và hệ thống sục khí là một giải pháp công nghệ tiên tiến, vừa tăng công suất, vừa giảm nhu cầu nhiên liệu hóa thạch và cải thiện chất lượng thủy tinh. Đây là một hướng tham khảo quan trọng khi xây dựng danh mục công nghệ TKNL cho các lò thủy tinh công nghệ mới hoặc các dự án chuyển đổi sâu nhằm giảm phát thải trong ngành kính tại Việt Nam.

CHƯƠNG 4. DANH SÁCH NHÀ CUNG CẤP CÔNG NGHỆ

4.1 Nhà cung cấp trong nước

Công nghệ lò công nghiệp đã được nhiều doanh nghiệp Việt Nam thiết kế, chế tạo và cung cấp cho các ngành công nghiệp như gốm sứ, vật liệu xây dựng, luyện kim, cơ khí, hóa chất, chế biến nông sản, thực phẩm, xử lý chất thải và năng lượng. Phần lớn các nhà chế tạo trong nước hiện tập trung vào phân khúc lò công suất nhỏ và trung bình, song một số đơn vị đã từng bước tiếp cận các dự án lò quy mô lớn hơn, tích hợp hệ thống thu hồi nhiệt, điều khiển tự động và các giải pháp tiết kiệm năng lượng, giảm phát thải.

Danh sách nhà cung cấp lò công nghiệp trong nước tham gia khảo sát có thể phân thành ba nhóm chính:

Nhóm doanh nghiệp thiết kế, chế tạo lò công nghiệp trọn bộ:

Chuyên cung cấp các loại lò quay, lò tuyền, lò con thoi, lò con lăn, lò buồng, lò điện trở, lò hồ quang, lò nấu kim loại màu, lò sấy – nung liên hợp cho gốm sứ và vật liệu xây dựng, lò đốt sinh khối và lò đốt chất thải rắn, lò sấy phun và các loại lò chuyên dụng khác. Phần lớn các đơn vị này đã làm chủ khâu thiết kế nhiệt – khí, thiết kế cơ khí và thi công lắp đặt, đồng thời có khả năng tối ưu hóa cấu tạo vỏ lò, vật liệu chịu lửa và cách nhiệt để giảm tổn thất nhiệt.

Nhóm doanh nghiệp cung cấp thiết bị, phụ tùng và hệ thống phụ trợ cho lò:

Bao gồm các nhà cung cấp vật liệu chịu lửa (gạch chịu lửa, bê tông chịu lửa, bông gốm, vật liệu cách nhiệt dạng tấm/ống), đầu đốt dầu/khí và buồng đốt sinh khối, quạt – hệ thống cấp gió, bộ thu hồi nhiệt khói thải, bộ trao đổi nhiệt, cũng như các giải pháp điều khiển – đo lường (tủ điều khiển, PLC, hệ thống giám sát và ghi dữ liệu nhiệt độ, áp suất, lưu lượng). Nhiều nhà cung cấp trong nhóm này tham gia sâu vào khâu cải tạo, nâng cấp lò hiện hữu, tập trung vào tiết kiệm năng lượng, giảm phát thải bụi và khí thải.

Nhóm đơn vị tư vấn, nhà thầu tổng hợp và dịch vụ kỹ thuật

Thực hiện tư vấn thiết kế cơ sở, thiết kế kỹ thuật, lập dự án đầu tư, tổng thầu cung cấp, lắp đặt lò và hệ thống phụ trợ, thí nghiệm hiệu chỉnh, đào tạo vận hành, bảo trì, bảo dưỡng định kỳ, đánh giá hiệu suất năng lượng và đề xuất giải pháp cải tạo.

Thông tin chi tiết về từng nhà cung cấp trong nước được tổng hợp từ phiếu khảo sát và phỏng vấn, trình bày trong bảng dữ liệu kèm theo với các thông tin chính như tên doanh nghiệp, địa chỉ, số điện thoại, email liên hệ, loại công nghệ/dịch vụ cung cấp,...

Bên cạnh các doanh nghiệp chế tạo lò, danh mục nhà cung cấp trong nước cũng ghi nhận một số nhà cung cấp vật liệu chịu lửa, thiết bị hỗ trợ nhiệt (bộ gia nhiệt điện, bộ trao đổi nhiệt, thiết bị thu hồi nhiệt thải), hệ thống đốt và điều khiển quá trình cháy. Các đơn vị này đóng vai trò quan trọng trong việc nâng cấp lò hiện hữu, đặc biệt là thay thế vật liệu chịu lửa, cải tạo đầu đốt, lắp đặt biển tần cho quạt gió, bổ sung bộ thu hồi nhiệt, qua đó cải thiện hiệu suất tổng thể và kéo dài tuổi thọ thiết bị.

Bảng 15 Danh sách các nhà cung cấp công nghệ lò công nghiệp trong nước

TT	Tên nhà cung cấp	Địa chỉ	Số điện thoại	Email	Website	Loại công nghệ/dịch vụ cung cấp
1	Công Ty Cổ Phần AMECO	Lô CC2, Tầng 5, TTTM toà New Skyline, KĐT Văn Quán – Yên Phúc, phường Hà Đông, TP. Hà Nội.	0986 882 993	contact@amecojosc.com	https://amecojosc.com/	Lò nung, sấy công nghiệp
2	Công ty cổ phần CLB máy Hukuriku	Thôn Cổ Điện, Xã Vĩnh Thanh, Hà nội	0243 525 1117	sales.as.hn@hmc-c.com	https://hmc-c.com/https://hmc-c.com/	Lò công nghiệp đa năng/đa nhiên liệu
3	Công Ty Cổ Phần Thương Mại Và Sản Xuất Thiết Bị Công Nghiệp TDH	Ô số 1, lô số 4, CCN Lai Xá, xã Hoài Đức, TP Hà Nội	0967 469 838	quangbt@tdhvietnam.com	https://thietbilocongnghiep.com/	Lò nung công nghiệp, lò đốt nhiệt
4	Công Ty TNHH CMS	Thôn An Lạc - Trung Trắc - Văn Lâm - Hưng Yên	083 678 1978	sales@cms-machinery.vn	https://cms-machinery.vn/	Lò tôi, nung cao tần
5	Công Ty TNHH Công nghệ và thương mại Việt Trung	Ngã tư Long Thành - Km 87 - đường năm mới - Cách Thượng - Nam Sơn - An Dương - TP Hải Phòng	0912 810 179	congngheviettrung@gmail.com	http://congngheviettrung.vn/	Lò tuyền thép trung tần, lò tôi cao tần, tháp giải nhiệt, vật tư linh kiện lò luyện thép, máy đúc phôi liên tục, trạm biến áp lò luyện thép, tháp giải nhiệt nước, vật tư linh kiện lò luyện thép.
6	Công ty TNHH EroHome	Số 12 BT 9 , KĐT mới Văn Canh ,Hoài Đức, Hà Nội	082 905 1111	erohome18@gmail.com	https://maylonungcaotan.com/	Lò nung cao tần và trung tần
7	Công Ty TNHH Một Thành Viên VITCOM	Số 3, ngách 69 ngõ 117 Thái Hà, P. Trung Liệt, Q. Đống Đa, Tp Hà Nội	024.2245.5500	sale@vitcom.vn	https://www.vitcom.vn/	Lò nung Nhôm, đúc nhôm
8	Công ty TNHH Quốc tế Hưng Long	số 22 ngõ 274 phố Nguyễn Lân, phường Phương Liệt, quận Thanh Xuân, Hà Nội.	0904 145 850	maygianhiet@gmail.com	https://lonungtrungtan.com/	Lò nung trung tần
9	Công Ty TNHH Sản Xuất Cơ Khí Minh Sơn	Số 28 Tam Trinh, Phường Yên Sở, Quận Hoàng Mai, Hà Nội	Giám đốc Trần Ngọc Khánh: 0985 987 898	khanhtientamc@minh@gmail.com	x	Lò Nung - Lò Nhiệt Luyện - Lò Công Nghiệp
10	Công ty TNHH SX Hoàng Kim	Số 81, Đường Đại Đồng, Phường Thanh Trì Quận Hoàng Mai, Hà Nội	091 208 6984	giaho.ceo@gmail.com	https://maynganhnhua.com.vn/	Lò nung, tôi, ram, ủ

TT	Tên nhà cung cấp	Địa chỉ	Số điện thoại	Email	Website	Loại công nghệ/dịch vụ cung cấp
11	Công ty TNHH Thiết bị Công nghiệp Việt Phát	Số 39 Ngõ 281 Đội Cấn, Phường Liễu Giai, Ba Đình, Hà Nội	0915456256	sales@congnghieuvietphat.com.vn	https://www.cokhivietphat.com/	Lò cao tần
12	Công Ty TNHH Thương Mại Dẫn Nguyệt	30 Lán Bè, P. Lam Sơn, Q. Lê Chân, TP. Hải Phòng	0913 516 291	dannguyet.ltd@gmail.com	https://dannguyetltd.com/	Lò nung Trung tần, Lò Cao tần
13	Công Ty TNHH Tm Và Kỹ Thuật Công Nghệ Bình An	Số 1 Ngõ 214 Hoàng Mai, Phường Hoàng Văn Thụ, Quận Hoàng Mai, Thành phố Hà Nội, Việt Nam	0962 373 889	sale.cnba@gmail.com	congnghiebinhan.com.vn	Lò nung
14	Công ty TNHH Tư Vấn Thiết Kế Và Xây Dựng Nhôm Hoàng Kim	Số 26-Ngách 3-Ngõ 4 Cầu Bươu - X. Tả Thanh Oai- H. Thanh Trì- TP. Hà Nội	0982 783 143	hoangkimalum@gmail.com	https://hoangkimalum.com/	Lò nung nhôm
15	Công Ty TNHH Văn Minh	Số 55 Phùng Hưng – Hoàn Kiếm - Hà Nội	(+84) 243 9271027 - 9271028 – 9272900	sales-vn@vanminh.com.vn	https://vanminh.com.vn/	Lò Nung Nabertherm
16	Công Ty Cổ Phần Sản Xuất Thương Mại Khắc Nguyễn	Số 21, Đường số 18, Phường Linh Chiểu, Quận Thủ Đức, Tp.Hồ Chí Minh	0903.041.056	lonung@khacnguyen.com	https://khacnguyen.com/	Sản xuất lò nung, lò tôi, lò ram, lò ủ
17	Công ty TNHH công nghệ Khavvy	295/25/11A Tân Hòa Đông, P.Bình Trị Đông, HCM	0933 899 660	khavy.2017@gmail.com	https://khavy.com.vn/	Lò trung và cao tần
18	Công ty TNHH Đại Đồng Phát	27A, Ấp 3A, Xã Phước Lợi, Huyện Bến Lức, Tỉnh Long An	09822 33 040	dadopha123@gmail.com	http://www.daidongphat.com.vn/	Lò nấu kim loại, nung, ủ
19	Công ty TNHH Đầu Tư FOUNDRY Việt Nam	Số 02 đường Đại lộ Độc Lập, P. An Bình, Tp. Hồ Chí Minh	0904 320 831	info@fovina.com.vn	https://fovina.com.vn/	Lò nấu, ủ kim loại (nhôm, Mg, Zn)
20	Công Ty TNHH Lò Gia Nhiệt Việt Nhật	1922 Nguyễn Hữu Cảnh, P. 19, Q. Bình Thạnh, Tp. Hồ Chí Minh	028 38405458	support_vina@vietnhat-furnace.com	https://vi.nc-net.com/company/88003/	Gạch chịu lửa, lò công nghiệp
21	Công Ty TNHH Lò Trường Tín	Tầng 2, P. 2.23, Tòa Nhà Charmington La Pointe, 181 Cao Thắng Nối Dài, Phường 12, Quận 10, Tp. Hồ Chí Minh (TPHCM)	0903 101 032 (028) 36366192	tai@lotruongtin.com	http://lotruongtin.com/	Lò Nung nhôm đồng nồi gas, lò nung nhôm đồng nồi điện, Lò

TT	Tên nhà cung cấp	Địa chỉ	Số điện thoại	Email	Website	Loại công nghệ/dịch vụ cung cấp
						nung nhôm đồng nổi ben, Lò nung chảy và bảo ôn nhôm
22	Công Ty TNHH Một Thành Viên K.E.N.U.O	Thửa Đất Số 286, Tờ Bản Đồ Số 15, Khu Phố Khánh Long - P. Tân Phước Khánh - Tx Tân Uyên - Bình Dương	0327880761 0949827087	nguyenhoangbaoxuyen8787@gmail.com	http://www.kenuo.com.vn/	Lò nấu, lò nung điện, lò nung chảy trung tần, lò nấu kim loại
23	Công Ty TNHH MTV Lò Nung Hùng Dũng	Tổ 3 KP Phước Thái Phường Thái Hòa - TX.Tân Uyên - Bình Dương	0938 990 820	cungcaplonung@gmail.com	https://cungcaplonung.com/	Lò nung điện trở, lò ủ thép, lò sấy
24	Công Ty TNHH MTV Sài Gòn Xuân Nguyên	252/4/36 Quốc Lộ 1A, P. Bình Hưng Hòa B, Bình Tân, Tp. Hồ Chí Minh	0903 876 596 0961 433 988	thietbihanxuannguyen@gmail.com	https://thietbihan.net/	Máy nung cao tần
25	Công Ty TNHH MTV Thương Mại Dịch Vụ Thiết Bị Công Nghiệp HMT	55/6C Khu Phố Đông Tác, P. Tân Đông Hiệp, TP. Dĩ An, Bình Dương, Việt Nam	0909 674 179 (028) 37367302	tuyencokhi@gmail.com	https://thietbilonung.com/category/lo-cong-nghiep/	Lò nung điện trở, lò nấu bằng gas/điện trở/dầu
26	Công ty TNHH Nagamochi	13/1R đường XTT30, Ấp 28, Xã Bà Điểm, TPHCM	0934 479 853	Nagaco2018@gmail.com	https://naga-c.com/	Công nghiệp lò luyện kim: nhôm & đồng, lò sấy, lò ủ, nổi graphite, gạch/bê tông chịu nhiệt & cách nhiệt, điện trở đốt, công gốm ceramic và các thành phần lò khác.
27	Công Ty TNHH Sản Xuất Thương Mại Dịch Vụ Cơ Khí Phước Lộc	94/6 Tổ 10, KP2 Nguyễn Văn Quá, P. Đông Hưng Thuận, Q. 12, Tp. HCM	0973 870 279	chetaomayphucocloc@gmail.com	https://chetaomayphucocloc.com/	Lò Nung Cao Tần- Lò Nhiệt Luyện - Lò Công Nghiệp
28	Công Ty TNHH Sản Xuất Thương Mại Điện Trở Việt Đài	24/13 Đường TL 27, Khu Phố 3C, P Thạnh Lộc, Q12	0987 252 886	hoangdientro@gmail.com	https://dientrovietai.com/	Lò nung, ủ, lò nấu kim loại
29	Công ty TNHH sản xuất TM-DV Mặt Trời Xanh	31 đường 156, ấp 6A, xã Bình Mỹ, Củ Chi	0986 185 832	vinagreensun@gmail.com	https://vinagreensun.com/	Lò Nung Cao Tần- Lò Nhiệt Luyện - Lò Công Nghiệp
30	Công ty TNHH Thiết bị và Thương mại Phong Đạt	175/51 PHỐ CƠ ĐIỀU - PHƯỜNG 06 - QUẬN 11 - TP. HỒ CHÍ MINH	0913.772.019 0906.841.474	phongdat2404@gmail.com	https://thietbiphongdat.com/thiet-bi/	Lò Nung, Lò Nấu luyện kim loại

TT	Tên nhà cung cấp	Địa chỉ	Số điện thoại	Email	Website	Loại công nghệ/dịch vụ cung cấp
31	Công Ty Cổ Phần Vật Tư Và Thiết Bị Xây Dựng An Phát	HN: Lô CC2, Tầng 2, TTTM toà New Skyline, KDT Văn Quán, Quận Hà Đông, TP. Hà Nội. HCM: Số 5, đường số 12 Phường Linh Trung, Quận Thủ Đức, TP.HCM.	024.7108.8596 Hotline: 0986 882 993 0987 821 819	contact@amecojpsc.com	https://amecojpsc.com/	Lò Điện, Lò đốt Gas, Lò đốt dầu
32	Công Ty TNHH Cơ Khí Chính Xác WanTai	Lô T50 Cụm Sản Xuất Làng Nghề Kiều Ky, H. Gia Lâm, TP. Hà Nội 111 Mã Lò, Phường Bình Trị Đông A, Quận Bình Tân.	0935 787 698 0903 988 934 024 62968606	cokhiwantai@gmail.com	https://cokhiwantai.com/	Lò tôi Nung tần số IGBT
33	Công Ty TNHH SX TM DV Cơ Khí Phước Lộc	94/6 Tổ 10, KP2 Nguyễn Văn Quá, P. Đông Hưng Thuận, Quận 12, TP. Hồ Chí Minh (TPHCM) Chi nhánh Miền Bắc: Tiến Lộc, Hậu Lộc - Thanh Hóa	0369 580 596	chetaomayphucloc@gmail.com	https://chetaomayphucloc.com/	Lò Nung Cao Tần- Lò Nhiệt Luyện - Lò Công Nghiệp

Tổng quan cho thấy, các nhà cung cấp trong nước hiện có thể đáp ứng tốt nhu cầu đầu tư mới và cải tạo lò công nghiệp quy mô nhỏ và trung bình, với mức nội địa hóa cao đối với kết cấu cơ khí, vật liệu chịu lửa và thi công xây lắp. Đối với các dự án quy mô lớn, yêu cầu công nghệ phức tạp hoặc tiêu chuẩn môi trường – an toàn nghiêm ngặt, nhiều doanh nghiệp đã chủ động hợp tác với nhà bản quyền hoặc nhà cung cấp nước ngoài để tiếp nhận thiết kế, lựa chọn các thiết bị cốt lõi (đầu đốt công suất lớn, hệ thống điều khiển tiên tiến, thiết bị xử lý khí thải), trong khi vẫn tận dụng được lợi thế về nhân công, gia công chế tạo và dịch vụ sau bán hàng trong nước. Đây là cơ sở quan trọng để thúc đẩy phát triển các giải pháp lò công nghiệp tiết kiệm năng lượng, phát thải thấp tại Việt Nam trong giai đoạn tới.

4.2 Nhà cung cấp quốc tế

Các nhà cung cấp quốc tế chủ yếu đến từ các quốc gia có nền công nghiệp nặng phát triển như Đức, Nhật Bản, Trung Quốc, Hàn Quốc, Thái Lan và một số nước châu Âu khác. Các doanh nghiệp này thường nắm giữ công nghệ lò công nghiệp hiện đại, mức độ tự động hóa cao, tích hợp đồng bộ hệ thống điều khiển, giám sát, thu hồi nhiệt và xử lý khí thải. Công nghệ được áp dụng rộng rãi trong các ngành xi măng, gang thép, hóa chất, xử lý chất thải, gốm sứ, vật liệu xây dựng và năng lượng từ chất thải.

Tại thị trường Việt Nam, phần lớn nhà cung cấp quốc tế tiếp cận thông qua mạng lưới đại lý, văn phòng đại diện hoặc hợp đồng chuyển giao công nghệ với các nhà chế tạo, nhà thầu EPC trong nước. Một số doanh nghiệp đã thành lập chi nhánh hoặc trung tâm dịch vụ kỹ thuật tại các khu công nghiệp lớn, qua đó rút ngắn thời gian cung cấp phụ tùng, bảo trì, bảo dưỡng và hỗ trợ kỹ thuật sau bán hàng. Nhìn chung, giải pháp lò của các nhà cung cấp quốc tế có chi phí đầu tư ban đầu cao hơn so với sản phẩm nội địa, nhưng đi kèm hiệu suất nhiệt cao, tuổi thọ thiết bị lớn và giải pháp toàn diện về an toàn lao động và bảo vệ môi trường, phù hợp với các dự án quy mô lớn hoặc có yêu cầu khắt khe về phát thải.

Danh sách nhà cung cấp quốc tế tham gia khảo sát được tổng hợp và trình bày trong bảng dữ liệu kèm theo với các thông tin chính như tên doanh nghiệp và quốc gia, email, website, Chủng loại lò hoặc công nghệ chính cung cấp: lò tầng sôi đốt sinh khối, lò quay sử dụng nhiên liệu thay thế (RDF/SRF), lò hồ quang điện, lò cảm ứng, lò tuy-nen công suất lớn, lò đốt chất thải nguy hại, lò sấy – nung chuyên dụng, v.v.;

Các thông tin chi tiết ở cấp độ từng nhà cung cấp quốc tế (tên doanh nghiệp, công nghệ chính, chỉ tiêu kỹ thuật – năng lượng, hình thức cung cấp tại Việt Nam và ví dụ dự án đã triển khai) được trình bày trong bảng dưới đây, phục vụ cho việc

tham khảo, so sánh và lựa chọn giải pháp phù hợp trong các nghiên cứu khả thi và dự án đầu tư lò công nghiệp tại Việt Nam.

Bảng 16. Danh mục các nhà cung cấp lò công nghiệp quốc tế

TT	Tên nhà cung cấp	SĐT	Email	Website	Loại công nghệ cung cấp	Nhóm công nghệ
1	CEC Furnaces	800 486 6836		https://cecfurnaces.com/	Lò nung kiểu con lăn, kiểu đẩy, kiểu mẻ, kiểu chưng cất	Lò nung vật liệu /gốm /gạch, Lò nung nhiệt luyện
2	Industrial Furnace Company (IFCO)	1-800-394	help@hellerindustries.com	https://www.industrialfurnace.com/	Lò đốt nhiều tầng, kiểu tầng sôi	Lò lai điện – đốt /đa nhiên liệu
3	International Thermal Systems	877-683-6797		https://www.internationalthermalsystems.com/	Lò nung kiểu hộp, kiểu đáy xe, kiểu đáy thả, kiểu tôi	Lò nung nhiệt luyện
4	CAN-ENG Furnaces	1 905 356 1327		https://www.can-eng.com/	Lò nung thép/nhôm kiểu mẻ và liên tục	Lò đúc, lò nấu kim loại
5	Ipsen International	+1 800 727 7625		https://ipsenglobal.com/	Lò nung chân không, kiểu khí quyển, kiểu đẩy	Lò nung nhiệt luyện
6	ECM Technologies	+33 (0)4 76 49 65 60	info@ecmtech.fr	https://www.ecmfours-industriels.fr/	Lò tôi các-bon áp suất thấp, lò chân không, lò cảm ứng	Lò nung nhiệt luyện
7	ABP Induction	+86 21 5639 1278		https://abpinduction.com/en/	Lò nấu chảy cảm ứng	Lò đúc, lò nấu kim loại
8	Fives Group			https://www.fivesgroup.com/	Lò nung, hệ thống đốt công nghiệp	Lò lai điện-đốt/đa nhiên liệu
9	Andritz AG	+43 316 6902 0	welcome@andritz.com	https://www.andritz.com/group-en	Hệ thống đốt sinh khối, bùn và chất thải	Lò lai điện-đốt /đa nhiên liệu, Lò đốt khí thải /khí độc
10	Nabertherm GmbH	+49 4298 922-0	contact@nabertherm.de	https://nabertherm.com/en	Lò nung và lò nung phòng thí nghiệm và công nghiệp	Lò phòng thí nghiệm/phân tích
11	Ebner Industrieofenbau	(+43) 732 / 6868	office(at)ebner.cc	https://www.ebner.cc/en/welcome	Lò xử lý nhiệt nhôm và thép	Lò nung nhiệt luyện
12	Danieli	(39) 0432.1958111		https://www.danieli.com/	Lò luyện kim, lò nung lại, lò điện hồ quang (EAF), lò tinh luyện (LF)	Lò đúc, lò nấu kim loại
13	John Cockerill	+32 4 330 24 44	welcome@johncockerill.com	https://johncockerill.com/en/	Hệ thống thu hồi nhiệt, đốt cháy, nồi hơi	Lò lai điện-đốt/đa nhiên liệu

TT	Tên nhà cung cấp	SĐT	Email	Website	Loại công nghệ cung cấp	Nhóm công nghệ
14	ISGEC			https://www.isgrec.com/	Nồi hơi công nghiệp, hệ thống thu hồi nhiệt thải	Lò lai điện-đốt/đa nhiên liệu
15	FLSmidth	+45 3618 1000		https://fls.com/en	Lò nung xi măng và lò quay	Lò nung vật liệu/gốm/gạch
16	Polysius (Thyssenkrupp)			https://www.thyssenkrupp-polysius.com/en	Lò nung, thiết bị làm mát clanhke	Lò nung vật liệu/gốm/gạch
17	Surface Combustion	800-537-8980		https://www.surfacecombustion.com	Lò nung khí quyển	Lò lai điện-đốt/đa nhiên liệu
18	Nutec Bickley	+1 (873) 498 1203		https://www.nutecbickley.com/	Lò nung gốm sứ, kim loại	Lò nung vật liệu/gốm /gạch, Lò đúc, lò nấu kim loại
19	Lucifer Furnaces	(215) 343-0411	info@luciferfurnaces.com	https://www.luciferfurnaces.com/	Lò xử lý nhiệt cỡ nhỏ và trung bình	Lò nung nhiệt luyện
20	Harper International	716-276-9900		https://www.harperintl.com/	Hệ thống xử lý nhiệt tiên tiến	Lò nung nhiệt luyện, Lò đốt khí thải /khí độc
21	CM Furnaces	(973) 338-6500	info@cmfurnaces.com	https://cmfurnaces.com/	Lò nung thí nghiệm nhiệt độ cao	Lò phòng thí nghiệm / phân tích
22	FEECO International	920-468-1000		https://feeco.com/	Lò quay, máy sấy	Lò sấy công nghiệp, lò quay
23	Paragon Industries	918 291 4459	info@paragonindinc.com	https://www.paragonindinc.com/	Lò nung điện và lò xử lý nhiệt	Lò đúc, lò nấu kim loại, Lò nung nhiệt luyện
24	Soul Ceramics	+1 831 256 3248	team@soulceramics.com	https://www.soulceramics.com/	Lò nung gốm sứ	Lò nung vật liệu/gốm/gạch
25	Industrial Kiln & Dryer	(877) 316-6140	contact@industrialkiln.com	https://industrialkiln.com/	Máy sấy quay, lò nung	Lò sấy công nghiệp, lò nung
26	HeatTek	8.889.051.009		https://www.heattek.com/	Lò xử lý nhiệt công nghiệp	Lò sấy công nghiệp
27	MIFCO	217-446-0941	sales@mifco.com	https://mifco.com/	Lò nấu chảy và xử lý nhiệt	Lò nung nhiệt luyện
28	Furnace Source	866-620-8417		https://www.furnacepartsource.com/	Lò chân không, lò thiêu kết, lò tùy chỉnh	Lò nung nhiệt luyện, Lò quy trình đặc thù
29	Epcon Industrial Systems	9362733300	epcon@epconlp.com	https://epconlp.com/	Máy oxy hóa nhiệt, lò nung, lò đốt	Lò nung nhiệt luyện
30	Inductotherm Group	86-510-8523-1010	sales@inductotherm.com.cn	https://inductothermgroup.com/	Lò nấu chảy và gia nhiệt cảm ứng	Lò đúc, lò nấu kim loại

4.3 Đánh giá năng lực nhà cung cấp

Sau khi đã xác định nhu cầu đầu tư, lựa chọn sơ bộ loại lò và lập danh sách nhà cung cấp tiềm năng (trong nước và quốc tế), doanh nghiệp cần có một công cụ đánh giá khách quan để so sánh và lựa chọn. Cẩm nang đề xuất sử dụng bộ tiêu chí đánh giá nhà cung cấp dưới dạng ma trận chấm điểm, trong đó từng nhà cung cấp được chấm điểm theo từng nhóm tiêu chí, sau đó tổng hợp lại để xếp hạng.

Doanh nghiệp có thể áp dụng thang điểm 1–5 cho từng tiêu chí (1 = rất kém/không đáp ứng, 5 = rất tốt/vượt yêu cầu). Điểm số cuối cùng của nhà cung cấp có thể tính theo công thức:

$$\text{Điểm tổng} = \sum (\text{Điểm tiêu chí} \times \text{Trọng số tiêu chí})$$

Trong đó, trọng số (theo %) phản ánh tầm quan trọng tương đối của từng nhóm tiêu chí đối với dự án cụ thể (ví dụ: loại công nghệ 30 %, kinh nghiệm & kỹ thuật 25 %, dịch vụ hỗ trợ 20 %, chi phí 15 %, tiêu chuẩn 10 %). Trọng số có thể điều chỉnh linh hoạt theo yêu cầu của từng ngành hoặc từng dự án.

Dưới đây là gợi ý nội dung và cách chấm điểm cho từng nhóm tiêu chí:

1. Loại công nghệ cung cấp

(a) Phù hợp với quy mô doanh nghiệp (nhỏ, vừa, lớn)

- Điểm 5: Đã có sản phẩm/dải sản phẩm được thiết kế rõ ràng cho đúng phân khúc quy mô của doanh nghiệp, có nhiều dự án tương tự.
- Điểm 3: Có thể cung cấp nhưng phải điều chỉnh/thiết kế lại khá nhiều.
- Điểm 1: Công nghệ đang hướng tới quy mô khác, ít hoặc chưa có dự án tương tự.

(b) Khả năng cung cấp đa dạng loại lò: tuy-nen, quay, hồ quang, điện trở,...

- Điểm 5: Danh mục sản phẩm đa dạng, có thể cung cấp trọn bộ nhiều loại lò cho cùng một nhà máy, thuận lợi chuẩn hóa và đồng bộ vận hành.
- Điểm 3: Chỉ mạnh ở một số loại lò nhất định, các loại lò khác phải hợp tác với bên thứ ba.
- Điểm 1: Chỉ cung cấp được một dòng sản phẩm rất hẹp.

(c) Tính hiện đại, hiệu suất cao, thân thiện môi trường

- Điểm 5: Công nghệ mới, có tích hợp thu hồi nhiệt, tự động hóa, điều khiển tối ưu, đáp ứng hoặc vượt các chuẩn hiệu suất/khí thải hiện hành.
- Điểm 3: Công nghệ ở mức trung bình, hiệu suất chấp nhận được nhưng chưa tối ưu, một số hạng mục nâng cấp thêm mới đạt chuẩn.

- Điểm 1: Công nghệ cũ, hiệu suất thấp, khó đáp ứng yêu cầu môi trường nếu không đầu tư bổ sung đáng kể.

2. Kinh nghiệm và năng lực kỹ thuật

(a) Số năm hoạt động, đội ngũ kỹ sư chuyên môn

- Điểm 5: Thời gian hoạt động > 10–15 năm; đội ngũ kỹ sư đông đảo, có chuyên gia cấp cao/kinh nghiệm quốc tế.
- Điểm 3: Thời gian hoạt động 5–10 năm; đội ngũ kỹ sư đủ đáp ứng triển khai dự án nhưng hạn chế về chuyên gia sâu.
- Điểm 1: Doanh nghiệp mới, quy mô kỹ sư nhỏ, ít kinh nghiệm thực tế.

(b) Các dự án đã triển khai tại Việt Nam hoặc khu vực

- Điểm 5: Có nhiều dự án tương tự đã vận hành ổn định ở Việt Nam/ASEAN; có thể cung cấp danh sách dự án tham chiếu, kết quả đo kiểm rõ ràng.
- Điểm 3: Chỉ có một vài dự án tương tự hoặc chủ yếu là dự án ở xa (ngoài khu vực), thông tin tham chiếu còn hạn chế.
- Điểm 1: Chưa có dự án tương tự, chủ yếu ở giai đoạn thử nghiệm hoặc thị trường khác biệt.

(c) Tài liệu kỹ thuật, hướng dẫn vận hành và đào tạo

- Điểm 5: Bộ tài liệu đầy đủ (tiếng Việt/Anh), có quy trình SOP, tài liệu bảo trì, phần mềm mô phỏng; chương trình đào tạo chuẩn hóa, có đào tạo định kỳ.
- Điểm 3: Có tài liệu cơ bản và đào tạo ban đầu nhưng thiếu chuẩn hóa, thiếu cập nhật dài hạn.
- Điểm 1: Tài liệu rời rạc, không có chương trình đào tạo rõ ràng.

3. Hệ sinh thái dịch vụ hỗ trợ

(a) Khả năng thiết kế theo yêu cầu

- Điểm 5: Có năng lực thiết kế và chế tạo theo yêu cầu đặc thù (nhiên liệu, bố trí mặt bằng, quy trình), đã từng thực hiện nhiều dự án “tailor-made”.
- Điểm 3: Có thể điều chỉnh trong một số giới hạn, còn lại phải dùng cấu hình tiêu chuẩn.
- Điểm 1: Chỉ cung cấp giải pháp tiêu chuẩn, ít linh hoạt.

(b) Dịch vụ bảo hành, bảo trì, phụ tùng thay thế

- Điểm 5: Hợp đồng dịch vụ rõ ràng, có đội bảo trì tại chỗ hoặc trong khu vực, tồn kho phụ tùng thiết yếu tại Việt Nam/ASEAN.
- Điểm 3: Có cam kết dịch vụ nhưng phụ tùng phải nhập, thời gian chờ ở mức trung bình (ví dụ 2–4 tuần).
- Điểm 1: Không có hệ thống dịch vụ rõ ràng, phụ tùng phải đặt hàng riêng, thời gian chờ dài.

(c) Thời gian đáp ứng và năng lực khắc phục sự cố

- Điểm 5: Có cam kết mức dịch vụ (SLA) và thời gian phản hồi cụ thể (ví dụ 24–48 giờ); cung cấp hỗ trợ trực tuyến và giám sát từ xa.
- Điểm 3: Thường hỗ trợ theo từng vụ việc, không có SLA rõ ràng.
- Điểm 1: Phản hồi chậm, phụ thuộc hoàn toàn vào lịch công tác chuyên gia nước ngoài.

4. Chi phí đầu tư và vận hành

(a) Giá thành thiết bị tương ứng với hiệu suất

- Điểm 5: Chi phí đầu tư ban đầu cao nhưng hiệu suất được chứng minh rõ ràng, thời gian hoàn vốn ngắn; có phân tích chi phí vòng đời.
- Điểm 3: Giá đầu tư trung bình, hiệu suất ở mức chấp nhận được.
- Điểm 1: Giá chưa tương xứng với hiệu suất, không chứng minh được lợi ích kinh tế.

(b) Tiết kiệm chi phí vận hành về lâu dài

- Điểm 5: Có số liệu đo đạc hoặc chuẩn so sánh chứng minh mức tiết kiệm năng lượng, chi phí bảo trì thấp và tuổi thọ thiết bị cao.
- Điểm 3: Có tiềm năng tiết kiệm nhưng thiếu số liệu thực tế; một phần lợi ích phụ thuộc nhiều vào vận hành.
- Điểm 1: Không chứng minh được lợi ích tiết kiệm chi phí vận hành.

(c) Hỗ trợ tài chính hoặc liên kết với nguồn tài trợ (nếu có)

- Điểm 5: Có gói tài chính, thuê mua, ESCO hoặc liên kết với các chương trình tài trợ TKNL, ngân hàng, quỹ khí hậu.
- Điểm 3: Hỗ trợ ở mức giới thiệu, hỗ trợ hồ sơ vay vốn nhưng không có gói tài chính riêng.
- Điểm 1: Không có bất kỳ hỗ trợ tài chính nào.

5. Tuân thủ tiêu chuẩn

(a) Thiết bị đạt chuẩn ISO, TCVN, IEC, JIS,...

- Điểm 5: Có chứng chỉ/biên bản thử nghiệm đầy đủ; thiết bị, linh kiện chính (đầu đốt, hệ điều khiển, thiết bị an toàn) đều có chứng nhận theo chuẩn quốc tế hoặc TCVN tương đương.
- Điểm 3: Hầu hết đáp ứng tiêu chuẩn cơ bản, còn một số hạng mục chưa có chứng nhận độc lập.
- Điểm 1: Thiếu chứng chỉ rõ ràng, hồ sơ tiêu chuẩn không minh bạch.

(b) An toàn vận hành, tiêu chuẩn khí thải

- Điểm 5: Thiết kế ưu tiên an toàn vận hành (liên động, cảnh báo, hệ thống dừng khẩn, đánh giá rủi ro), có giải pháp xử lý khí thải đồng bộ đáp ứng QCVN/tiêu chuẩn nước sở tại; có lịch sử vận hành an toàn.
- Điểm 3: Đáp ứng yêu cầu pháp lý tối thiểu, nhưng thiếu giải pháp an toàn nâng cao hoặc xử lý khí thải phải đầu tư thêm.

- Điểm 1: Tiềm ẩn rủi ro an toàn, không chứng minh được khả năng đáp ứng quy chuẩn môi trường.

Doanh nghiệp có thể thiết kế bảng chấm điểm (ma trận) với các nhóm tiêu chí nêu trên, phân bổ trọng số phù hợp và chấm điểm cho từng nhà cung cấp. Kết quả xếp hạng sẽ là căn cứ quan trọng để lựa chọn, đồng thời cũng là cơ sở minh bạch khi báo cáo với lãnh đạo, tổ chức tín dụng hoặc nhà tài trợ về quyết định lựa chọn nhà cung cấp lò công nghiệp.

CHƯƠNG 5. HƯỚNG DẪN TRIỂN KHAI VÀ QUY ĐỊNH LIÊN QUAN

5.1 Tiêu chí lựa chọn và mua sắm thiết bị

Trong giai đoạn lựa chọn và mua sắm, doanh nghiệp cần tiếp cận thiết bị lò công nghiệp theo tư duy “chi phí vòng đời” thay vì chỉ nhìn vào giá mua ban đầu. Thiết bị phải đáp ứng đồng thời yêu cầu về công suất, an toàn, chất lượng sản phẩm, hiệu suất năng lượng và tuân thủ quy định môi trường. Việc xác định rõ tiêu chí ngay từ hồ sơ mời thầu và hợp đồng mua sắm giúp giảm rủi ro về kỹ thuật, tránh tình trạng thiết bị không phù hợp điều kiện vận hành thực tế, hiệu suất thấp hoặc khó tích hợp với hệ thống hiện hữu. Các tiêu chí dưới đây cần được cụ thể hóa thành yêu cầu kỹ thuật, điều kiện bảo lãnh hiệu suất và nội dung nghiệm thu – chạy thử để làm cơ sở đánh giá, so sánh giữa các nhà cung cấp.

Thông số kỹ thuật cần lưu ý

(1) Công suất và dải tải vận hành

Xác định rõ công suất định mức (tấn hơi/giờ, kW nhiệt) và dải tải vận hành ổn định (tối thiểu – tối đa) phù hợp với biểu đồ phụ tải thực tế của nhà máy.

Ghi chú: Nên yêu cầu nhà cung cấp chứng minh khả năng vận hành ổn định, an toàn ở tải thấp (ví dụ 30–40% tải) mà không phải đốt thêm dầu phụ trợ, để tránh lãng phí nhiên liệu.

(2) Thông số áp suất, nhiệt độ và chất lượng môi chất

Xác định áp suất, nhiệt độ hơi hoặc dầu tải nhiệt cần thiết cho công nghệ; yêu cầu về chất lượng hơi (khô, ít kéo theo nước) hoặc độ ổn định nhiệt độ dầu.

Ghi chú: Các thông số này phải tương thích với hệ thống đường ống, thiết bị sử dụng hơi/nhiệt hiện hữu để tránh phải đầu tư thay đổi lớn về hạ tầng.

(3) Loại nhiên liệu và khả năng linh hoạt nhiên liệu

Quy định rõ loại nhiên liệu chính (than, biomass, dầu, khí...), dải đặc tính nhiên liệu (độ ẩm, trị số nhiệt, kích cỡ hạt) và yêu cầu về khả năng đốt đa nhiên liệu nếu có.

Ghi chú: Với xu hướng giảm phát thải, nên ưu tiên thiết bị có khả năng chuyển đổi sang nhiên liệu sạch hơn (biomass, khí, nhiên liệu lỏng ít các-bon) trong tương lai mà không phải thay thế toàn bộ lò.

(4) Cấu hình công nghệ và vật liệu chế tạo

Mô tả loại lò (lò ống lửa, ống nước, tầng sôi, ghi tĩnh/ghi động...), sơ đồ trao đổi nhiệt, mức tự động hóa; yêu cầu về vật liệu chịu nhiệt, chịu ăn mòn, tuổi thọ thiết kế.

Ghi chú: Cần yêu cầu nhà cung cấp cung cấp bản vẽ nguyên lý, danh mục vật tư chính và tiêu chuẩn thiết kế/ chế tạo (TCVN, EN, ASME...) để thuận lợi cho kiểm định, vận hành và bảo trì sau này.

(5) Yêu cầu về hệ thống phụ trợ

Đặc tính và yêu cầu đối với quạt gió, quạt hút, bơm cấp nước/ dầu, hệ thống xử lý nước cấp, hệ thống xử lý khói thải, bồn chứa, hệ thống điều khiển – giám sát (SCADA, đo lường trực tuyến).

Ghi chú: Nên quy định rõ cấp hiệu suất tối thiểu cho động cơ điện, quạt, bơm; ưu tiên sử dụng biến tần điều khiển tốc độ để giảm tiêu thụ điện năng phụ trợ.

(6) Yêu cầu an toàn và môi trường

Yêu cầu về các thiết bị an toàn (van an toàn, role áp suất, bảo vệ mức nước, bảo vệ ngọn lửa, liên động dừng khẩn cấp...); yêu cầu đáp ứng các quy chuẩn về khí thải, tiếng ồn, xử lý tro xỉ.

Ghi chú: Cần yêu cầu nhà cung cấp kèm theo hồ sơ thiết kế hệ thống an toàn, phân tích rủi ro và hướng dẫn vận hành an toàn để phục vụ công tác đăng kiểm, thanh tra lao động và môi trường.

Tiêu chí bảo đảm hiệu suất

(1) Hiệu suất danh định và hiệu suất tại điều kiện vận hành thực tế

Yêu cầu nêu rõ hiệu suất nhiệt danh định của lò (ở tải 100%) và hiệu suất tại các mức tải điển hình (ví dụ 75% và 50%) kèm điều kiện thử: loại nhiên liệu, chất lượng nước cấp, nhiệt độ môi trường.

Ghi chú: Nên yêu cầu nhà cung cấp đưa ra đường cong hiệu suất theo tải và tiêu hao nhiên liệu riêng (kg nhiên liệu/tấn hơi hoặc MJ nhiên liệu/tấn hơi) làm cơ sở tính chi phí vận hành.

(2) Giải pháp thu hồi và tận dụng nhiệt thải

Xem xét tích hợp bộ hâm nước, bộ gia nhiệt gió, hệ thống ngưng tụ hơi nước trong khói thải hoặc thu hồi nhiệt từ xả đáy, nước ngưng để nâng cao hiệu suất tổng thể.

Ghi chú: Trong hồ sơ đề xuất kỹ thuật, nhà cung cấp cần nêu rõ nhiệt độ khói thải sau thu hồi nhiệt, phần trăm tăng hiệu suất dự kiến và ảnh hưởng đến kết cấu ống khói, vật liệu chống ăn mòn.

(3) Hiệu suất thiết bị phụ trợ và tổn thất hệ thống

Đánh giá hiệu suất động cơ quạt, bơm, hiệu suất truyền động (trực tiếp hay đai), tổn thất trên đường ống, hệ thống cách nhiệt, tổn thất do rò rỉ hơi và thất thoát condensate.

Ghi chú: Nên yêu cầu tiêu chuẩn tối thiểu cho lớp cách nhiệt và cam kết về tỷ lệ nước ngưng hồi về (ví dụ $\geq 80-90\%$ lượng hơi cấp) để đảm bảo hiệu suất toàn hệ thống, không chỉ riêng thân lò.

(4) Tiêu chí đo lường, giám sát và báo cáo hiệu suất

Thiết bị phải có đủ điểm đo và thiết bị đo tin cậy (lưu lượng nhiên liệu, lưu lượng hơi, nhiệt độ, áp suất các cấp, O_2 khói thải...) để tính toán và giám sát hiệu suất trong vận hành thường xuyên.

Ghi chú: Nên tích hợp chức năng ghi dữ liệu và báo cáo định kỳ, làm cơ sở cho quản lý năng lượng theo ISO 50001, đánh giá tiết kiệm năng lượng và giảm phát thải khí nhà kính.

(5) Bảo lãnh hiệu suất và chế tài

Trong hợp đồng cần quy định rõ các chỉ tiêu hiệu suất được bảo lãnh (hiệu suất %, tiêu hao nhiên liệu, nhiệt độ khói thải tối đa...), phương pháp thử và điều kiện hiệu chỉnh.

Ghi chú: Nên thiết kế cơ chế thưởng, phạt: nếu không đạt chỉ tiêu hiệu suất thì nhà cung cấp phải hiệu chỉnh/ nâng cấp miễn phí hoặc chấp nhận giảm giá; nếu vượt chỉ tiêu có thể xem xét cơ chế khuyến khích.

Yêu cầu nghiệm thu – chạy thử

(1) Phạm vi và trình tự nghiệm thu – chạy thử

Quy định rõ các bước: kiểm tra tài liệu thiết kế, chứng chỉ nghiệm thu lắp đặt cơ – điện, chạy thử không tải, chạy thử có tải từng bước, chạy thử tin cậy (reliability run) trong một khoảng thời gian liên tục.

Ghi chú: Nên gắn từng bước với các “mốc chấp nhận” cụ thể để làm cơ sở thanh toán khối lượng cho nhà cung cấp/nhà thầu.

(2) Nội dung đo kiểm trong chạy thử có tải

Đo kiểm hiệu suất, tiêu hao nhiên liệu, lưu lượng và chất lượng hơi, thông số an toàn, độ ổn định của điều khiển, chất lượng nước cấp/nước ngưng, thông số khí thải và tiếng ồn.

Ghi chú: Các phép đo cần tuân thủ tiêu chuẩn/ quy chuẩn hiện hành; nên có sự tham gia của đơn vị tư vấn độc lập hoặc phòng thử nghiệm được công nhận để tăng tính khách quan.

(3) Kiểm tra hệ thống an toàn và bảo vệ

Thử nghiệm hoạt động của các thiết bị bảo vệ (van an toàn, bảo vệ mức nước, bảo vệ áp suất, bảo vệ ngắt nhiên liệu khi mất lửa, liên động dừng khẩn cấp...) trong điều kiện có kiểm soát.

Ghi chú: Chỉ được chấp nhận nghiệm thu khi chứng minh hệ thống an toàn hoạt động đúng thiết kế; mọi can thiệp vô hiệu hóa tạm thời các chức năng bảo vệ trong quá trình thử cần được kiểm soát và phục hồi nguyên trạng sau thử.

(4) Tài liệu bàn giao và đào tạo vận hành

Yêu cầu nhà cung cấp bàn giao đầy đủ hồ sơ kỹ thuật, bản vẽ hoàn công, hướng dẫn vận hành, bảo trì, danh mục phụ tùng thay thế, và tổ chức khóa đào tạo cho đội vận hành, bảo trì.

Ghi chú: Nên quy định tối thiểu số giờ đào tạo, nội dung lý thuyết và thực hành, cũng như yêu cầu nhà cung cấp hỗ trợ kỹ thuật trong giai đoạn chạy thử mở rộng (ví dụ 3–6 tháng đầu vận hành thương mại).

(5) Biên bản nghiệm thu và xử lý khi không đạt

Toàn bộ kết quả thử nghiệm phải được tổng hợp trong biên bản nghiệm thu, nêu rõ các chỉ tiêu đạt/không đạt, khuyến nghị hiệu chỉnh và kế hoạch khắc phục.

Ghi chú: Cần ghi rõ trong hợp đồng nghĩa vụ của nhà cung cấp khi thiết bị không đạt chỉ tiêu (hiệu chỉnh, thay thế bộ phận, thử lại...) và quyền từ chối nghiệm thu của chủ đầu tư cho đến khi đạt yêu cầu.

Nội dung và các tiêu chí nêu trên sẽ là cơ sở để xây dựng hồ sơ mời thầu, đánh giá đề xuất kỹ thuật cũng như quản lý chất lượng trong suốt vòng đời thiết bị lò công nghiệp.

5.2 Các cân nhắc kỹ thuật & an toàn khi ứng dụng công nghệ

Khi đưa bất kỳ công nghệ lò công nghiệp mới nào vào vận hành, doanh nghiệp cần coi việc quản lý rủi ro kỹ thuật và an toàn là trụ cột thiết kế ngay từ giai đoạn nghiên cứu tiền khả thi, lựa chọn công nghệ cho tới lắp đặt chạy thử và vận hành thương mại. Công nghệ càng phức tạp, mức độ tự động hóa càng cao thì yêu cầu về tiêu chuẩn thiết kế, hệ thống bảo vệ, quy trình vận hành và năng lực nhân sự càng phải được chuẩn hóa chặt chẽ. Các nội dung dưới đây cần được chuyển hóa thành yêu cầu trong hồ sơ mời thầu, hợp đồng mua sắm, quy trình nội bộ, cũng như là căn cứ để thanh tra, kiểm tra trong suốt vòng đời thiết bị. Bên cạnh đó, một danh mục kiểm tra khi vận hành, bảo trì bảo dưỡng của các công nghệ TKNL cũng cần được lập và áp dụng để đảm bảo an toàn, hiệu quả khi

ứng dụng các công nghệ này. Mẫu danh mục kiểm tra được gợi ý và trình bày trong phụ lục của Cẩm nang này.

Rủi ro kỹ thuật và an toàn

(1) Rủi ro cháy, nổ, quá áp

Nguy cơ do tích tụ nhiên liệu chưa cháy hết, cháy ngược, cháy trong buồng đốt, nổ lò, nổ đường ống hơi hoặc bình chứa do quá áp, kẹt van an toàn, vận hành sai quy trình.

Ghi chú: Cần phân tích rủi ro ngay từ thiết kế; đánh giá các tình huống “xấu nhất” để bố trí van an toàn, đường xả áp, tường bao che, khoảng cách an toàn.

(2) Rò rỉ khí cháy, khí độc, nhiên liệu

Rò rỉ khí đốt, khói thải, bụi, hơi hóa chất, rò nhiên liệu lỏng/khí gây nguy cơ cháy nổ, ngộ độc, ảnh hưởng sức khỏe người lao động và môi trường xung quanh.

Ghi chú: Khu vực lò phải được thiết kế thông gió hợp lý, bố trí đầu dò rò rỉ khí (gas detector), thiết bị báo động; các đường ống, khớp nối phải tuân thủ tiêu chuẩn áp lực, có kiểm tra rò rỉ định kỳ.

(3) Hỏng cấu trúc, suy giảm độ bền thiết bị

Biến dạng, nứt vỡ tường lò, ống lửa/ống nước, ghi lò, kết cấu thép đỡ... do nhiệt độ cao, ăn mòn, mài mòn, dao động tải, nền móng lún không đều.

Ghi chú: Yêu cầu nhà cung cấp cung cấp tính toán sức bền, hồ sơ vật liệu; chủ đầu tư phải tổ chức kiểm định định kỳ, siêu âm, chụp ảnh bức xạ (nếu cần) đối với các vị trí nguy hiểm.

(4) Rủi ro từ hệ thống điện – điều khiển

Sự cố mất điện, chập cháy tủ điện, lỗi bộ điều khiển, lỗi cảm biến dẫn đến vận hành sai lệch, mất chức năng bảo vệ, dừng lò đột ngột hoặc vận hành ngoài dải an toàn.

Ghi chú: Thiết kế cần có phân cấp bảo vệ, nguồn điện dự phòng (UPS, máy phát), liên động an toàn (interlock) rõ ràng; phần mềm điều khiển phải có phân quyền truy cập, ghi nhật ký can thiệp.

(5) Rủi ro đối với người vận hành và môi trường làm việc

Nguy cơ bỏng, kẹp, ngã cao, tiếng ồn, rung; tiếp xúc với bụi, khí nóng; không gian chật hẹp, đường đi lối lại không an toàn.

Ghi chú: Phải tính tới yếu tố “công thái học” trong thiết kế: lối thao tác thuận tiện; lắp lan can, cầu thang sàn thao tác; bố trí ánh sáng – thông gió; yêu cầu sử dụng đầy đủ phương tiện bảo vệ cá nhân.

Các yêu cầu về an toàn khi ứng dụng công nghệ

(1) Tuân thủ tiêu chuẩn, quy chuẩn và quy định pháp luật

Thiết kế, chế tạo, lắp đặt, kiểm định và vận hành lò công nghiệp phải tuân thủ các quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về nồi hơi, bình chịu áp lực, an toàn lao động, phòng cháy chữa cháy, bảo vệ môi trường.

Ghi chú: Doanh nghiệp cần cập nhật danh mục quy chuẩn, tiêu chuẩn áp dụng; quy định rõ trong hợp đồng trách nhiệm của nhà cung cấp về hồ sơ pháp lý, chứng nhận, kiểm định ban đầu.

(2) Hệ thống an toàn kỹ thuật – công nghệ

Trang bị đầy đủ van an toàn, rơle áp suất, bảo vệ mức nước, thiết bị giám sát ngọn lửa, van ngắt nhiên liệu tự động, khóa liên động cơ – điện – điều khiển, thiết bị báo cháy và chữa cháy tại chỗ.

Ghi chú: Không cho phép “vô hiệu hóa” các bảo vệ an toàn để thuận tiện vận hành; mọi thay đổi phải được đánh giá rủi ro và phê duyệt bằng văn bản.

(3) Quy trình vận hành an toàn, hướng dẫn công việc cụ thể

Xây dựng và ban hành quy trình vận hành chuẩn cho từng công nghệ lò, bao gồm khởi động, đưa lên tải, dừng lò, xử lý các tình huống bất thường, quy trình chuyển đổi nhiên liệu...

Ghi chú: Quy trình cần được chuẩn hóa dưới dạng “hướng dẫn công việc” ngắn gọn, dễ hiểu, niêm yết tại hiện trường; định kỳ rà soát, cập nhật theo thực tế vận hành.

(4) Năng lực và đào tạo an toàn cho người vận hành

Yêu cầu người vận hành, người bảo trì phải được đào tạo, cấp chứng chỉ phù hợp; được huấn luyện định kỳ về an toàn, phòng cháy chữa cháy, ứng phó sự cố, khóa bồi dưỡng cập nhật khi thay đổi công nghệ.

Ghi chú: Nên gắn yêu cầu đào tạo với điều khoản mua sắm, yêu cầu nhà cung cấp thực hiện huấn luyện ban đầu và hỗ trợ kỹ thuật trong giai đoạn đầu vận hành.

Bảo trì định kỳ và quản lý toàn vòng đời thiết bị

(1) Chương trình bảo trì – bảo dưỡng định kỳ

Xây dựng kế hoạch bảo trì thường xuyên (hàng ca, hàng ngày, hàng tuần), bảo dưỡng định kỳ (tháng, quý, năm) và bảo dưỡng lớn theo số giờ vận hành.

Ghi chú: Cần áp dụng phương pháp bảo trì dự phòng hoặc bảo trì theo tình trạng dựa trên các chỉ số đo lường, thay vì chỉ sửa chữa khi sự cố.

(2) Kiểm định và đánh giá an toàn định kỳ

Tổ chức kiểm định kỹ thuật an toàn theo quy định (nồi hơi, bình chịu áp lực, hệ thống khí hóa lỏng...), kiểm tra độ kín, độ bền, thiết bị an toàn; đánh giá phù hợp tiêu chuẩn sau mỗi lần sửa chữa lớn.

Ghi chú: Hồ sơ kiểm định, biên bản đo kiểm phải được lưu giữ, truy xuất được; mọi khuyến nghị của đơn vị kiểm định phải được khắc phục trước khi đưa thiết bị vào vận hành lại.

(3) Quản lý phụ tùng, vật tư và nhật ký vận hành – bảo trì

Thiết lập danh mục phụ tùng, vật tư quan trọng, quản lý tồn kho tối thiểu; duy trì nhật ký vận hành, nhật ký bảo trì để theo dõi xu hướng hư hỏng và hiệu suất.

Ghi chú: Những dữ liệu này là cơ sở để tối ưu kế hoạch bảo trì, giảm thời gian dừng lò, đồng thời là bằng chứng khi đánh giá trách nhiệm giữa chủ đầu tư và nhà cung cấp.

Ứng phó sự cố và tình huống khẩn cấp

(1) Kế hoạch ứng phó sự cố, phương án PCCC

Xây dựng kịch bản sự cố (cháy buồng đốt, nổ lò, rò rỉ khí, mất điện diện rộng, tràn nhiên liệu...), mô tả rõ chuỗi hành động: phát hiện – cảnh báo – cô lập – dập tắt – sơ tán – khôi phục.

Ghi chú: Phương án phải được cơ quan chức năng thẩm duyệt theo quy định về phòng cháy chữa cháy, thường xuyên diễn tập để bảo đảm tính khả thi.

(2) Hệ thống thông tin và chỉ huy tại chỗ

Quy định rõ người chỉ huy hiện trường, người phụ trách an toàn, kênh liên lạc, cách thức báo động; bố trí sơ đồ thoát nạn, biển báo, chỉ dẫn an toàn rõ ràng, dễ nhìn.

Ghi chú: Cần bảo đảm người lao động ở mọi ca kíp đều nắm được vị trí thiết bị chữa cháy, van ngắt nhiên liệu khẩn cấp, lối thoát hiểm.

(3) Đánh giá sau sự cố và cải tiến liên tục

Sau mỗi sự cố hoặc sự cố “suýt xảy ra”, phải tổ chức điều tra nguyên nhân gốc rễ, rút kinh nghiệm, cập nhật quy trình, bổ sung biện pháp kỹ thuật hoặc tổ chức cần thiết.

Ghi chú: Việc ghi nhận và phân tích sự cố suýt xảy ra là công cụ hữu hiệu để ngăn ngừa tai nạn nghiêm trọng, đồng thời nâng cao văn hóa an toàn tại nhà máy.

Các cân nhắc kỹ thuật và an toàn nêu trên cần được tích hợp đồng bộ trong thiết kế, lựa chọn công nghệ, hợp đồng mua sắm, cũng như trong hệ thống quản lý vận hành, nhằm giảm thiểu rủi ro, bảo vệ người lao động và bảo đảm hoạt động ổn định, hiệu quả của lò công nghiệp trong dài hạn.

5.3 Quy trình đo lường, xác minh hiệu quả tiết kiệm năng lượng

Đo lường và xác minh (M&V) hiệu quả tiết kiệm năng lượng là bước bắt buộc để chứng minh các giải pháp cải tiến lò công nghiệp thực sự mang lại lợi ích về năng lượng, chi phí và giảm phát thải khí nhà kính. Quy trình cần được chuẩn hóa, áp dụng nhất quán trước, trong và sau khi triển khai dự án để kết quả có độ tin cậy, có thể dùng làm căn cứ ra quyết định đầu tư tiếp theo và báo cáo cho các bên liên quan (lãnh đạo doanh nghiệp, cơ quan quản lý nhà nước, tổ chức tài chính...).

Mục tiêu và phạm vi đo lường – xác minh

Mục tiêu:

- » Xác định mức tiết kiệm năng lượng và chi phí nhiên liệu đạt được sau khi áp dụng giải pháp.
- » Tính toán lượng phát thải CO₂ giảm được so với trước khi đầu tư.
- » Đánh giá mức độ đáp ứng các chỉ tiêu hiệu suất đã cam kết trong hợp đồng/đề án.

Phạm vi:

- » Xác định rõ thiết bị, công đoạn, dây chuyền được xem xét (lò, hệ thống cấp nhiên liệu, hệ thống hơi/khí nóng, phụ trợ...).
- » Xác định ranh giới hệ thống: chỉ riêng lò hay cả hệ thống phân phối hơi, thu hồi nhiệt, xử lý khói thải...

Ghi chú: Các nội dung trên cần được mô tả rõ trong “kế hoạch M&V” trước khi triển khai dự án, tránh thay đổi trong quá trình thực hiện trừ khi có phê duyệt chính thức.

Quy trình đo lường và xác minh

Bước 1 – Xây dựng đường cơ sở

- » Thu thập số liệu vận hành lò trong giai đoạn trước khi cải tạo (tối thiểu 6–12 tháng nếu có):
 - Sản lượng sản phẩm (tấn/tháng, tấn/ngày).
 - Lượng nhiên liệu tiêu thụ (kg, Nm³, lít...) và đặc tính nhiên liệu.
 - Thông số vận hành chính: nhiệt độ, áp suất, hiệu suất lò (nếu có), thời gian dừng lò...
- » Phân tích ảnh hưởng của các yếu tố như sản lượng, chất lượng sản phẩm, điều kiện môi trường, thời gian vận hành để xác định mô hình đường cơ sở phù hợp.

Bước 2 – Lập kế hoạch đo lường sau cải tạo

- » Xác định các thông số cần đo (danh mục điểm đo, loại cảm biến, dải đo, cấp chính xác).
- » Quy định tần suất đo (theo ca, theo ngày, liên tục bằng hệ thống ghi dữ liệu...).
- » Xác định trách nhiệm đo, ghi chép, lưu trữ và kiểm tra chéo số liệu.

Bước 3 – Thu thập số liệu trong giai đoạn sau cải tạo

- » Đo lường các thông số đã xác định trong một giai đoạn đủ dài, bảo đảm điều kiện sản xuất tương đồng với giai đoạn trước cải tạo.
- » Kiểm tra chất lượng dữ liệu, loại trừ các ngày vận hành bất thường (sự cố, chạy thử đặc biệt...).

Bước 4 – Chuẩn hóa điều kiện và tính toán mức tiết kiệm

- » Điều chỉnh (chuẩn hóa) số liệu sau cải tạo về cùng điều kiện với đường cơ sở (sản lượng, chất lượng sản phẩm, nhiệt độ môi trường...) để loại trừ các yếu tố ngoài dự án.
- » Tính toán mức tiết kiệm năng lượng, nhiên liệu và chi phí theo các công thức đã thỏa thuận trong kế hoạch M&V.

Bước 5 – Xác minh và phê duyệt kết quả

- » So sánh kết quả tính toán với các chỉ tiêu mục tiêu đã đặt ra.
- » Kiểm tra độc lập (nếu cần) bởi bộ phận kiểm soát nội bộ, đơn vị tư vấn hoặc tổ chức kiểm định.
- » Lập báo cáo M&V, trình lãnh đạo phê duyệt và lưu hồ sơ kèm theo dữ liệu gốc.

Ghi chú: Doanh nghiệp có thể điều chỉnh lại các bước thực hiện đo lường và xác minh phù hợp với các giải pháp công nghệ TKNL được triển khai. Doanh nghiệp có thể tham khảo các phương pháp đo lường, xác minh được quốc tế công nhận (ví dụ các lựa chọn A, B, C, D trong các hướng dẫn M&V quốc tế) để thiết kế kế hoạch M&V phù hợp với quy mô và độ phức tạp của dự án.

Dưới đây là một ví dụ về đo lường và xác minh lượng tiết kiệm năng lượng của một giải pháp KTNL đối với lò công nghiệp để các doanh nghiệp tham khảo.

Ví dụ minh họa đo lường và xác minh lượng tiết kiệm cho giải pháp tối ưu oxy dư (giảm thừa không khí) cho lò đốt khí

Bước 1. Xác định phạm vi và mục tiêu đo lường và xác nhận

- » Giải pháp: hiệu chỉnh chế độ cháy để đưa oxy dư về dải mục tiêu (ví dụ 2–4% cho khí; dải cụ thể do cơ sở xác lập theo yêu cầu công nghệ và an toàn).

- » Mục tiêu: giảm suất tiêu hao nhiên liệu (Nm^3 khí/đơn vị sản phẩm) và/hoặc giảm nhiên liệu tiêu thụ tại cùng mức sản lượng và chất lượng.
- » Ranh giới đánh giá: tính cho toàn bộ lò (từ điểm cấp nhiên liệu đến ống khói), bao gồm quạt gió/quạt hút liên quan.

Bước 2. Chọn chỉ số và phương pháp đánh giá

- » Chỉ số chính (ưu tiên):
 - Suất tiêu hao nhiên liệu: $\text{SEC} = \text{Nhiên liệu tiêu thụ} / \text{Sản lượng đạt chuẩn}$
- » Chỉ số hỗ trợ:
 - Oxy dư tại ống khói ($\% \text{O}_2$), nhiệt độ khói thải ($^\circ\text{C}$), tỷ lệ sản phẩm đạt/chất lượng, thời gian chạy ổn định.
- » Nguyên tắc so sánh: so sánh trước–sau trong điều kiện vận hành tương đương.

Bước 3. Thiết lập đường cơ sở (trước cải tiến)

- » Thời gian đường cơ sở: tối thiểu 1–2 tuần hoặc ≥ 10 –20 ca vận hành ổn định.
- » Điều kiện đường cơ sở: lựa chọn giai đoạn có:
 - cùng loại sản phẩm/định mức chất lượng,
 - tải tương tự,
 - nhiên liệu cùng chủng loại.
- » Dữ liệu cần thu thập (tần suất khuyến nghị):
 - Nhiên liệu tiêu thụ (đồng hồ khí/đo lưu lượng): theo ca hoặc theo giờ.
 - Sản lượng: theo ca.
 - $\% \text{O}_2$ và nhiệt độ khói: theo giờ (hoặc tối thiểu 2 lần/ca).
- » Kết quả đường cơ sở: tính $\text{SEC}_{\text{baseline}}$ (trung bình) và dải dao động.

Bước 4. Lập kế hoạch đo (thiết bị, điểm đo, tần suất, kiểm soát chất lượng dữ liệu)

- » Điểm đo bắt buộc:
 1. Nhiên liệu: tổng lưu lượng/đồng hồ nhiên liệu vào lò
 2. Sản lượng: sản lượng đạt chuẩn theo ca
 3. Oxy dư: đầu dò O_2 tại vị trí đo ổn định trên đường khói
- » Điểm đo khuyến nghị: nhiệt độ khói, tốc độ/quy mô chạy quạt, áp suất buồng lò (nếu có).
- » Kiểm soát chất lượng dữ liệu:
 1. hiệu chuẩn cảm biến O_2 theo kế hoạch,
 2. đối chiếu tổng nhiên liệu theo ngày/tuần,

3. quy định cách ghi nhận “ca bất thường” để loại trừ (dừng lò, lỗi sản phẩm, thay đổi sản phẩm).

Lập mẫu biểu đo lường và xác minh theo mẫu tham khảo dưới đây:

Mẫu biểu MV-01: Phiếu thu thập dữ liệu theo ca (Tối ưu oxy dư)

Thông tin dự án/giải pháp: Tối ưu oxy dư – giảm thừa gió cho lò ____

Nhà máy: ____ | Mã lò: ____ | Sản phẩm: ____ | Nhiên liệu: ____

Giai đoạn: [] Trước cải tiến (đường cơ sở) [] Sau cải tiến

Ngày: // ____ | Ca: ____ | Người ghi: ____ | Người xác nhận: ____

A. Điều kiện vận hành

Giờ bắt đầu ca: ____ Giờ kết thúc ca: ____ Tổng giờ vận hành ổn định trong ca: ____ giờ

Tải vận hành (nếu có): ____ % / Công suất ____

Ghi chú thay đổi bất thường trong ca (nếu có): _____

Ca này có đưa vào tính toán không? Có Không

→ Lý do loại trừ: _____

B. Sản lượng và chất lượng

Sản lượng đầu ra (tổng): ____ (đơn vị)

Sản lượng đạt chuẩn (loại A/đạt chất lượng): ____ (đơn vị)

Tỷ lệ đạt chuẩn: ____ %

Ghi chú chất lượng (nếu có): _____

C. Nhiên liệu

Chỉ số đồng hồ/lưu lượng nhiên liệu đầu ca: ____

Chỉ số đồng hồ/lưu lượng nhiên liệu cuối ca: ____

Nhiên liệu tiêu thụ trong ca (tự tính): ____ (Nm³ khí / lít / kg)

D. Oxy dư và nhiệt độ khói (ghi theo thời điểm đo)

Thời điểm đo oxy dư (%O ₂)	Oxy	Nhiệt độ khói (°C)	Ghi chú
Đầu ca			
Giữa ca			
Cuối ca			

E. Checklist nhanh (để đảm bảo dữ liệu tin cậy)

- Cảm biến O₂ hoạt động bình thường, không báo lỗi
- Cửa lò đóng kín, không thao tác mở cửa kéo dài bất thường
- Không có dừng lò/sự cố lớn trong thời gian đo
- Không thay đổi loại sản phẩm trong ca (hoặc đã ghi rõ để quy đổi)

Bước 5. Thực hiện giải pháp và nghiệm thu kỹ thuật

- Hiệu chỉnh chế độ đốt theo trình tự an toàn:
 - kiểm tra rò rỉ, liên động, ổn định ngọn lửa,
 - điều chỉnh dần để đưa O₂ về dải mục tiêu,
 - ghi nhận các thay đổi cài đặt (giá trị đặt, giới hạn gió–nhiên liệu, chế độ quạt...).
- Tiêu chí nghiệm thu: lò vận hành ổn định, chất lượng sản phẩm không giảm, O₂ nằm trong dải mục tiêu trong thời gian vận hành ổn định.

Bước 6. Đo sau cải tiến và chuẩn hóa điều kiện so sánh

- Thời gian đo sau cải tiến: tối thiểu tương đương đường cơ sở (1–2 tuần hoặc ≥ 10–20 ca).
- Nguyên tắc đảm bảo tương đương:
 - cùng loại sản phẩm hoặc quy đổi về “sản lượng đạt chuẩn”,
 - loại trừ ca bất thường theo quy định ở Bước 4,
 - ghi rõ mọi thay đổi ngoài giải pháp (bảo trì lớn, thay nhiên liệu, thay nguyên liệu...).

Bước 7. Tính toán tiết kiệm và xác minh kết quả

- Tính SEC sau cải tiến:
 - $SEC_{after} = \text{Nhiên liệu sau} / \text{Sản lượng đạt chuẩn sau}$
- Tiết kiệm tương đối (%):
 - Tỷ lệ TKNL = $(SEC_{baseline} - SEC_{after}) / SEC_{baseline} \times 100\%$
- Tiết kiệm tuyệt đối (nhiên liệu):
 - Tiết kiệm nhiên liệu = $(SEC_{baseline} - SEC_{after}) \times \text{Sản lượng sau}$
- Ví dụ số liệu minh họa (giả định):
 - $SEC_{baseline} = 12,0 \text{ Nm}^3/\text{sản phẩm}$
 - $SEC_{after} = 10,8 \text{ Nm}^3/\text{sản phẩm}$
 - Tỷ lệ TKNL = $(12,0 - 10,8)/12,0 = 10\%$
 - Nếu sản lượng tháng = 50.000 sản phẩm → Nhiên liệu tiết kiệm được = $1,2 \times 50.000 = 60.000 \text{ Nm}^3/\text{tháng}$
- Xác minh chéo (khuyến nghị): kiểm tra xu hướng O₂ giảm về dải mục tiêu và nhiệt độ khói giảm/ổn định (nếu có dữ liệu), đồng thời xác nhận chất lượng sản phẩm không suy giảm.

Mẫu biểu MV-02: Bảng tính (tổng hợp trước–sau, tính tiết kiệm)

Thông tin chung: Nhà máy ____ | Mã lò ____ | Kỳ tổng hợp: từ / đến /

Đơn vị sản lượng: ____ | Đơn vị nhiên liệu: ____

A. Tổng hợp dữ liệu theo giai đoạn

Chỉ tiêu	Trước cải tiến (đường cơ sở)	Sau cải tiến	Ghi chú
Số ca hợp lệ (không loại trừ)			
Tổng sản lượng đạt chuẩn (Q)			
Tổng nhiên liệu tiêu thụ (F)			
Oxy dư trung bình (%O ₂)			
Nhiệt độ khói trung bình (°C)			

B. Tính suất tiêu hao và tiết kiệm

Suất tiêu hao trước (SEC_{baseline}) = F_{before} / Q_{before}

= _____ (nhiên liệu/đơn vị sản phẩm)

Suất tiêu hao sau (SEC_{after}) = F_{after} / Q_{after}

= _____ (nhiên liệu/đơn vị sản phẩm)

Tỷ lệ tiết kiệm (%) = (SEC_{baseline} - SEC_{after}) / SEC_{baseline} × 100%

= _____ %

Tiết kiệm tuyệt đối (Fuel_{saved}) = (SEC_{baseline} - SEC_{after}) × Q_{after}

= _____ (đơn vị nhiên liệu)

C. Kiểm tra hợp lý (bắt buộc ghi)

Chất lượng sản phẩm có thay đổi bất lợi không?

Không Có (mô tả) _____

Có thay đổi lớn ngoài giải pháp (nhiên liệu, nguyên liệu, sửa chữa lớn, thay ca/kíp)?

Không Có (mô tả) _____

Kết luận xác minh: Đạt Chưa đạt | Lý do/khuyến nghị: _____

Người lập: _____ Ngày: ____/____/____

Người kiểm tra/xác nhận: _____ Ngày: ____/____/____

Bước 8. Báo cáo đo lường & xác nhận và duy trì kết quả

Báo cáo cần nêu tối thiểu:

- mô tả giải pháp và phạm vi,
- đường cơ sở và dữ liệu sau cải tiến (nguồn dữ liệu, thời gian, ca loại trừ),

- kết quả tiết kiệm (tuyệt đối và tương đối),
- ảnh hưởng đến chất lượng/sản lượng,
- khuyến nghị duy trì: **dải O₂ mục tiêu**, lịch hiệu chuẩn cảm biến, checklist theo ca và ngưỡng cảnh báo.

Bộ chỉ tiêu đánh giá hiệu quả tiết kiệm năng lượng

(1) Nhiệt tiêu thụ trên đơn vị sản phẩm (chỉ tiêu chính)

Định nghĩa: Lượng năng lượng nhiệt hoặc nhiên liệu tiêu thụ để sản xuất một đơn vị sản phẩm.

Biểu thức tham khảo:

- » Nhiệt tiêu thụ đơn vị (SEC):

$$SEC = \frac{Q_{\text{nhiên liệu}} \times \text{nhiệt trị}}{\text{sản lượng}} \left(\frac{MJ}{\text{Tấn sản phẩm}} \right)$$

Trong đó:

- Q_{nhiên liệu}: Tổng lượng nhiên liệu tiêu thụ trong kỳ tính toán (đơn vị là tấn/lít,...)
- Nhiệt trị: Nhiệt trị của nhiên liệu (kJ/đơn vị)
- Sản lượng: Sản lượng trong kỳ tính toán (tấn sản phẩm)
- » Hoặc tiêu hao nhiên liệu đơn vị: kg nhiên liệu/tấn sản phẩm; Nm³ khí/tấn sản phẩm.

Mục tiêu: Giảm SEC hoặc tiêu hao nhiên liệu đơn vị so với đường cơ sở.

(2) Lượng phát thải CO₂ giảm được

Định nghĩa: Lượng CO₂ tương đương giảm phát thải nhờ tiết kiệm nhiên liệu.

Biểu thức tham khảo:

$$\Delta CO_2 = \Delta Q_{\text{nhiên liệu}} \times \text{hệ số phát thải} \left(\frac{tCO_2}{\text{năm}} \right)$$

Trong đó:

- ΔCO₂: Lượng giảm phát thải CO₂ trong năm tính toán (tCO₂/năm)
- ΔQ_{nhiên liệu}: Tổng lượng nhiên liệu giảm được trong năm tính toán (tấn, lít,...)
- Hệ số phát thải: Phát thải CO₂ trên một đơn vị nhiên liệu

Ứng dụng:

- Báo cáo cho cơ quan quản lý nhà nước về giảm phát thải khí nhà kính.
- Xem xét khả năng tham gia các cơ chế tài chính các-bon, chứng chỉ xanh, tín dụng khí nhà kính (nếu có).

(3) Chi phí nhiên liệu tiết kiệm được

Định nghĩa: Giá trị tiền tệ của lượng nhiên liệu tiết kiệm trong một năm vận hành.

Biểu thức tham khảo:

$$\text{Chi phí tiết kiệm} = \Delta Q_{\text{nhiên liệu}} \times \text{đơn giá nhiên liệu} \left(\frac{\text{VNĐ}}{\text{năm}} \right)$$

Trong đó:

- $\Delta Q_{\text{nhiên liệu}}$: Tổng lượng nhiên liệu giảm được trong năm tính toán (tấn, lít,...)

Chỉ tiêu bổ sung:

- » Thời gian hoàn vốn đơn giản: tổng vốn đầu tư / chi phí tiết kiệm hàng năm.
- » Tỷ suất hoàn vốn nội bộ (IRR) nếu thực hiện phân tích tài chính chi tiết.

(4) Một số chỉ tiêu phụ trợ (khuyến nghị)

- » Hiệu suất lò (tính theo cân bằng nhiệt), tỷ lệ nước ngưng hồi lưu, tỷ lệ thời gian vận hành ở dải tải tối ưu.
- » Suất tiêu hao điện năng phụ trợ (kWh/tấn sản phẩm) cho quạt, bơm, hệ thống điều khiển...

Ghi chú: Trong báo cáo kết quả, nên thể hiện rõ giá trị từng chỉ tiêu trước và sau khi áp dụng giải pháp, mức cải thiện tuyệt đối và tương đối (%), đồng thời nêu rõ giả thiết và nguồn số liệu sử dụng để tính toán.

Tổ chức thực hiện và báo cáo

Phân công một đầu mối chịu trách nhiệm về M&V (thường là bộ phận quản lý năng lượng hoặc phòng kỹ thuật).

Quy định rõ quyền và trách nhiệm của bộ phận vận hành lò, bộ phận kế toán – thống kê, bộ phận môi trường trong việc cung cấp và kiểm tra dữ liệu.

Thiết lập tần suất báo cáo (ví dụ: báo cáo tóm tắt hàng tháng, báo cáo đánh giá toàn diện hàng năm), tích hợp vào báo cáo năng lượng, báo cáo môi trường của doanh nghiệp.

Quy trình đo lường và xác minh nêu trên, cùng với hệ thống chỉ tiêu rõ ràng, giúp doanh nghiệp chứng minh minh bạch hiệu quả tiết kiệm năng lượng của các giải pháp đối với lò công nghiệp, qua đó hỗ trợ ra quyết định đầu tư, huy động tài chính và nâng cao năng lực quản lý năng lượng nội bộ.

5.4 Công cụ hỗ trợ đánh giá

Trong quá trình lựa chọn công nghệ, thẩm định dự án và theo dõi hiệu quả vận hành lò công nghiệp, việc chỉ dựa trên kinh nghiệm của cán bộ kỹ thuật là chưa đủ. Doanh nghiệp cần sử dụng các công cụ hỗ trợ đánh giá một cách hệ thống, bao gồm cả công cụ tính toán, mô phỏng và các biểu mẫu đánh giá chuẩn hóa. Các công cụ này giúp lượng hóa các chỉ tiêu kỹ thuật – năng lượng – môi trường, so sánh các phương án đầu tư, đồng thời ghi nhận cả những đánh giá mang tính định tính như mức độ an toàn, tính linh hoạt, khả năng vận hành, bảo trì. Việc áp dụng đồng bộ các công cụ hỗ trợ sẽ nâng cao chất lượng ra quyết định, đảm bảo tính minh bạch và khả năng truy xuất của toàn bộ quá trình đánh giá.

Phần mềm mô phỏng nhiệt – năng lượng

(1) Mục đích sử dụng

- » Hỗ trợ tính toán cân bằng nhiệt, cân bằng vật chất của lò và hệ thống phụ trợ, từ đó ước lượng hiệu suất, tiêu hao nhiên liệu, tổn thất nhiệt.
- » Phân tích, so sánh các kịch bản cải tiến (thay đổi cấu hình trao đổi nhiệt, bổ sung bộ hâm nước, thu hồi nhiệt khói thải, thay đổi loại nhiên liệu...).
- » Dự báo tác động của các điều kiện vận hành khác nhau (tải lò, chất lượng nhiên liệu, điều kiện môi trường) đến hiệu suất và chi phí vận hành.

(2) Loại phần mềm và mức độ chi tiết

- » Phần mềm tính toán đơn giản (bảng tính, công cụ tính nhanh) dùng cho bước sàng lọc sơ bộ, giúp ước tính nhanh suất tiêu hao, thời gian hoàn vốn.
- » Phần mềm mô phỏng chi tiết (mô hình 2D, 3D, CFD...) cho phép xem xét phân bố nhiệt độ, dòng khí, cháy trong buồng đốt, phù hợp giai đoạn thiết kế tối ưu hoặc cải tạo lớn.
- » Doanh nghiệp có thể lựa chọn cấp độ phù hợp với quy mô dự án, năng lực nhân sự và thời gian thực hiện.
- » Dưới đây là một số công cụ phần mềm tiêu biểu, có thể khuyến nghị sử dụng trong khảo sát, mô phỏng và đánh giá hiệu quả năng lượng của lò công nghiệp và hệ thống hơi – gia nhiệt:

MEASUR – Manufacturing Energy Assessment Software for Utility Reduction (U.S. DOE)

- » **Chức năng:** Bộ phần mềm miễn phí của Bộ Năng lượng Hoa Kỳ với hơn 70 công cụ tính toán cho nhiều hệ thống công nghiệp (hơi, gia nhiệt, bơm, quạt, khí nén...).

- » **Liên quan tới lò công nghiệp:** Tích hợp các mô-đun đánh giá hệ thống gia nhiệt, nồi hơi, cho phép tính hiệu suất, cân bằng nhiệt và tiềm năng tiết kiệm năng lượng, chi phí và giảm CO₂.
- » **Website:** <https://www.energy.gov/eere/iedo/measur>
- » **Phiên bản web:** <https://measur.ornl.gov/>

PHAST – Process Heating Assessment and Survey Tool (U.S. DOE)

- » **Chức năng:** Công cụ chuyên cho hệ thống gia nhiệt/quá trình đốt (lò nung, lò sấy, lò xử lý nhiệt...), cho phép khảo sát thiết bị gia nhiệt sử dụng nhiên liệu, hơi hoặc điện; tính cân bằng nhiệt và xác định tổn thất, tiềm năng tiết kiệm.
- » **Ứng dụng:** Phù hợp sử dụng khi đánh giá chi tiết các lò nung/lò sấy công nghiệp, làm cơ sở đề xuất các giải pháp thu hồi nhiệt, cải thiện cách nhiệt, tối ưu không khí thừa...
- » **Website:**
<https://www.energy.gov/eere/iedo/articles/process-heating-assessment-and-survey-tool>

RETScreen Expert – Clean Energy Management Software (Chính phủ Canada)

- » **Chức năng:** Nền tảng phần mềm quản lý năng lượng và phân tích dự án năng lượng sạch, cho phép đánh giá kỹ thuật, tài chính các dự án tiết kiệm năng lượng, đồng phát, năng lượng tái tạo, đồng thời hỗ trợ đo lường – xác minh (M&V) và quản lý danh mục dự án.
- » **Liên quan tới lò công nghiệp:** Có thể nhập kết quả tính toán từ các công cụ phân tích năng lượng (như MEASUR/PHAST) để đánh giá hiệu quả tài chính, bao gồm thời gian hoàn vốn, tỷ suất hoàn vốn nội bộ (IRR), giá trị hiện tại ròng (NPV), đồng thời ước tính mức giảm phát thải CO₂ của dự án cải tạo lò.
- » **Website:**
<https://www.nrcan.gc.ca/maps-tools-publications/tools/retscreen/7465>

eQUEST – DOE-2.2 based building & system energy simulation

- » **Chức năng:** Phần mềm mô phỏng năng lượng miễn phí dựa trên động cơ DOE-2.2, chủ yếu cho công trình, nhưng có thể mô hình hóa nguồn nhiệt (boiler, heater), phụ tải hơi/nhiệt và hệ thống phân phối để xem tác động của cải tạo lò tới toàn nhà máy.
- » **Ứng dụng:** Dùng cho các nghiên cứu cấp hệ thống (system level), khi cần đánh giá vai trò của lò trong tổng thể cân bằng năng lượng nhà máy.

» **Website:** <http://www.doe2.com/equest/>

Aspen Plus / Aspen HYSYS (AspenTech)

» **Chức năng:** Bộ phần mềm mô phỏng quá trình tiên tiến, cho phép mô hình hóa chi tiết phản ứng, trao đổi nhiệt, chưng cất, lò gia nhiệt, lò reforming, mạng trao đổi nhiệt... trong các ngành hóa chất, lọc hóa dầu, vật liệu.

» **Ứng dụng:** Phù hợp với các dự án lò công nghiệp phức tạp, tích hợp sâu trong dây chuyền công nghệ (ví dụ lò trong nhà máy hóa chất, lọc dầu), cần tối ưu hóa toàn bộ sơ đồ nhiệt – vật chất.

» **Website:** <https://www.aspentech.com/en/products/engineering/aspen-plus>

Các phần mềm mô phỏng CFD cho buồng đốt: Ansys Fluent, COMSOL Multiphysics, OpenFOAM

» **Chức năng:** Mô phỏng động lực học chất lưu và truyền nhiệt chi tiết trong buồng đốt, ống khói, vùng trao đổi nhiệt, phân tích phân bố nhiệt độ, nồng độ oxy, NOx, CO, vận tốc dòng khí...

» **Ứng dụng:** Dùng trong thiết kế mới hoặc cải tạo lớn lò công nghiệp để tối ưu bố trí đầu đốt, hình dạng buồng đốt, giảm điểm nóng, nâng cao hiệu suất và giảm phát thải. Thường được sử dụng bởi các đơn vị tư vấn hoặc nhà cung cấp công nghệ.

» **Website chính:**

- Ansys Fluent: <https://www.ansys.com/products/fluids/ansys-fluent>
- COMSOL Multiphysics: <https://www.comsol.com/>
- OpenFOAM: <https://openfoam.org/>

(3) Yêu cầu khi áp dụng

Bộ dữ liệu đầu vào phải được rà soát, chuẩn hóa (đặc tính nhiên liệu, thông số lò, điều kiện vận hành thực tế) để tránh sai số do giả định không phù hợp.

Cần xây dựng quy trình nội bộ về sử dụng phần mềm: phiên bản dùng chung, người chịu trách nhiệm mô hình hóa, bước kiểm tra chéo kết quả mô phỏng với số liệu đo thực tế.

Khuyến nghị lưu trữ đầy đủ mô hình, dữ liệu đầu vào/đầu ra để phục vụ cập nhật, hiệu chỉnh trong các lần đánh giá tiếp theo.

Ghi chú: Việc sử dụng phần mềm mô phỏng không thay thế hoàn toàn các phép đo tại hiện trường mà nhằm hỗ trợ, giúp tối ưu giải pháp và giảm rủi ro trong giai đoạn thiết kế – đầu tư.

Biểu mẫu đánh giá định lượng và định tính

(1) Biểu mẫu đánh giá định lượng

Ghi nhận các chỉ tiêu có thể đo đếm được, ví dụ:

» Suất tiêu hao nhiên liệu, suất tiêu hao năng lượng trên đơn vị sản phẩm.

- » Lượng nhiệt thu hồi, hiệu suất lò, suất phát thải CO₂.
- » Chi phí nhiên liệu, chi phí vận hành – bảo trì, thời gian hoàn vốn đầu tư.
- » Mỗi biểu mẫu cần chỉ rõ nguồn dữ liệu, đơn vị đo, phương pháp tính toán, giai đoạn đo (trước/sau khi áp dụng giải pháp) để đảm bảo khả năng so sánh.

(2) Biểu mẫu đánh giá định tính

Ghi nhận các yếu tố khó lượng hóa nhưng có ảnh hưởng lớn tới quyết định đầu tư và vận hành, bao gồm:

- » Mức độ an toàn, rủi ro kỹ thuật, độ tin cậy, tính ổn định khi vận hành.
- » Mức độ thân thiện với người vận hành (dễ thao tác, dễ bảo trì, yêu cầu trình độ nhân sự).
- » Tính linh hoạt khi thay đổi loại nhiên liệu, thay đổi công suất, tích hợp với hệ thống sẵn có.
- » Tác động tới hình ảnh doanh nghiệp, khả năng đáp ứng yêu cầu của khách hàng, cơ quan quản lý.
- » Các tiêu chí định tính nên được chấm điểm theo thang chuẩn (ví dụ 1–5 điểm hoặc 1–10 điểm) kèm hướng dẫn chấm điểm cụ thể để giảm bớt yếu tố chủ quan.

(3) Chuẩn hóa và tích hợp biểu mẫu

Đề xuất sử dụng một bộ biểu mẫu thống nhất trong toàn doanh nghiệp/chuỗi dự án, tránh mỗi đơn vị áp dụng một mẫu khác nhau gây khó khăn cho việc tổng hợp, so sánh.

Các biểu mẫu cần được tích hợp vào hệ thống quản lý năng lượng, hệ thống quản lý tài sản hoặc phần mềm ERP, tạo điều kiện cho việc cập nhật dữ liệu và trích xuất báo cáo tự động.

Định kỳ rà soát, cập nhật nội dung biểu mẫu phù hợp với quy định pháp luật, tiêu chuẩn mới, cũng như bài học kinh nghiệm từ các dự án đã triển khai.

Việc kết hợp hiệu quả giữa phần mềm mô phỏng nhiệt – năng lượng và hệ thống biểu mẫu đánh giá định lượng, định tính sẽ cung cấp cho doanh nghiệp một bộ công cụ đầy đủ để đánh giá, so sánh và ra quyết định đầu tư các giải pháp liên quan đến lò công nghiệp một cách khách quan, minh bạch và nhất quán.

5.5 Các quy định pháp lý và tiêu chuẩn áp dụng

Hoạt động đầu tư, lắp đặt và vận hành lò công nghiệp phải tuân thủ đồng thời khung pháp lý về sử dụng năng lượng tiết kiệm và hiệu quả, an toàn lao động và bảo vệ môi trường. Bên cạnh hệ thống luật, nghị định và thông tư trong nước,

doanh nghiệp được khuyến nghị tham chiếu các tiêu chuẩn quốc tế (ISO) và tiêu chuẩn Việt Nam (TCVN) để chuẩn hóa thiết kế, vận hành và quản lý năng lượng. Các quy định, tiêu chuẩn dưới đây là những căn cứ chủ yếu liên quan tới hiệu suất thiết bị nhiệt, khí thải công nghiệp và an toàn thiết bị đốt.

Quy định về hiệu suất thiết bị nhiệt và quản lý năng lượng

Luật Sử dụng năng lượng tiết kiệm và hiệu quả và các văn bản hướng dẫn

- » Quy định trách nhiệm của cơ sở sử dụng năng lượng trọng điểm trong việc xây dựng kế hoạch, báo cáo sử dụng năng lượng, thực hiện kiểm toán năng lượng, triển khai giải pháp TKNL cho lò và hệ thống hơi – nhiệt.
- » Là cơ sở pháp lý yêu cầu doanh nghiệp đặt mục tiêu, chỉ tiêu hiệu suất năng lượng cho thiết bị nhiệt và theo dõi kết quả thực hiện.

ISO 50001 – Hệ thống quản lý năng lượng

- » ISO 50001 đưa ra yêu cầu xây dựng, vận hành và cải tiến liên tục hệ thống quản lý năng lượng (EnMS), áp dụng cho mọi loại hình tổ chức.
- » Tiêu chuẩn này hỗ trợ doanh nghiệp thiết lập chính sách năng lượng, đặt mục tiêu, xây dựng chỉ số hiệu suất năng lượng (EnPI) cho lò công nghiệp, triển khai đo lường – kiểm soát, đánh giá nội bộ và cải tiến liên tục.
- » Khuyến nghị: đối với cơ sở có nhiều lò công nghiệp, nên triển khai ISO 50001 để tích hợp các yêu cầu về hiệu suất lò vào hệ thống quản lý chung của doanh nghiệp.

Quy chuẩn về khí thải công nghiệp và môi trường

QCVN 19:2024/BTNMT – Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về khí thải công nghiệp

- » Quy định giá trị giới hạn tối đa cho các thông số ô nhiễm (bụi, SO₂, NO_x, CO, hợp chất hữu cơ bay hơi, H₂S...) trong khí thải công nghiệp xả ra môi trường.
- » Là căn cứ để thiết kế hệ thống xử lý khí thải lò (lọc bụi, khử SO₂/NO_x, xử lý ợp chất hữu cơ bay hơi - VOC...), lựa chọn công nghệ đốt, đồng thời là chuẩn để cơ quan quản lý kiểm tra, giám sát và xử lý vi phạm.

Các quy chuẩn, quy định chuyên ngành khác

- » QCVN về lò đốt chất thải, lò đốt chất thải rắn sinh hoạt, quy chuẩn khí thải chuyên ngành... quy định yêu cầu riêng cho từng loại lò đốt và đối tượng chất thải.

- » Một số văn bản trước đây như QCVN về khí thải lò hơi, lò đốt công nghiệp vẫn được sử dụng hoặc được viện dẫn trong tài liệu kỹ thuật – hợp đồng; doanh nghiệp cần cập nhật phiên bản mới nhất được Bộ TN&MT ban hành.

Ghi chú: Khi lập dự án đầu tư hoặc cải tạo lò, chủ đầu tư cần xác định rõ loại hình nguồn thải để áp dụng đúng quy chuẩn khí thải tương ứng, đồng thời tính toán giải pháp xử lý bảo đảm dư địa dự phòng so với ngưỡng quy định.

Tiêu chuẩn an toàn cho lò công nghiệp

TCVN 2294:1978 – Nhiệt luyện kim loại – Yêu cầu chung về an toàn:

- » Áp dụng khi lò sử dụng cho nhiệt luyện; làm cơ sở xây dựng quy trình vận hành an toàn, yêu cầu trang bị bảo hộ, tổ chức khu vực làm việc và kiểm soát mối nguy.

TCVN 3196:1979 – Lò điện trở công nghiệp để nung nóng và gia công nhiệt – Thuật ngữ và định nghĩa:

- » Dùng để chuẩn hóa thuật ngữ trong hồ sơ kỹ thuật, bản vẽ, tài liệu đào tạo và nghiệm thu đối với lò điện trở.

TCVN 3202:1979 – Lò điện và thiết bị cảm ứng – Thuật ngữ và định nghĩa:

- » Dùng để chuẩn hóa thuật ngữ đối với lò điện và thiết bị cảm ứng, phục vụ thống nhất yêu cầu kỹ thuật và đào tạo.

QCVN 25:2025/BCT – Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về an toàn điện:

- » Áp dụng bắt buộc cho các hạng mục điện của lò (tủ điện, nối đất, bảo vệ, thao tác an toàn, cô lập nguồn, kiểm tra định kỳ...).

TCVN 3254:1989 – An toàn cháy – Yêu cầu chung:

- » Áp dụng cho yêu cầu phòng ngừa và hạn chế nguy cơ cháy tại khu vực lò; tổ chức quản lý nguồn nhiệt, vật liệu dễ cháy, phương tiện chữa cháy và huấn luyện ứng phó sự cố.

QCVN 06:2022/BXD – An toàn cháy cho nhà và công trình:

- » Áp dụng cho bố trí khu vực đặt lò trong nhà xưởng/công trình (phân khoang cháy, lối thoát nạn, khoảng cách an toàn...).

TCVN 7383-1:2004 (ISO 12100-1) – An toàn máy – Khái niệm cơ bản, nguyên tắc chung cho thiết kế (tham chiếu):

- » Áp dụng để nhận diện mối nguy, đánh giá rủi ro và lựa chọn biện pháp giảm thiểu (che chắn, liên động, dừng khẩn...), đặc biệt hữu ích khi cải tạo lò hoặc thay đổi hệ thống điều khiển.

Các quy định về kiểm định an toàn

- » Thông tư, quy trình kiểm định (ví dụ Thông tư 54/2016/TT-BLĐTBXH) quy định chu kỳ, phạm vi, nội dung và phương pháp kiểm định kỹ thuật an toàn

đối với nồi hơi và thiết bị chịu áp lực: áp dụng cho các thiết bị áp lực trong hệ thống lò công nghiệp.

- » Doanh nghiệp phải bảo đảm các thiết bị áp lực được kiểm định đúng kỳ, có hồ sơ, biên bản đầy đủ và khắc phục các kiến nghị của tổ chức kiểm định trước khi đưa vào vận hành.

Tiêu chuẩn quốc tế về thiết bị đốt và xử lý khí

ISO 13577 – Lò công nghiệp và thiết bị công nghệ nhiệt liên quan – An toàn

Bộ tiêu chuẩn ISO 13577 quy định các yêu cầu an toàn chung cho lò nung và thiết bị gia nhiệt công nghiệp, trong đó:

- » Phần 1 nêu yêu cầu an toàn chung cho lò công nghiệp và thiết bị gia nhiệt.
- » Phần 2 quy định yêu cầu an toàn đối với hệ thống cháy và hệ thống cấp – xử lý nhiên liệu.
- » Phần 3 quy định an toàn cho:
 - Nguồn tạo bầu khí lò (khí nền từ khí trong lò/khí ngoài lò, amoniac phân hủy, hỗn hợp N₂-H₂, CO/CO₂, khí trơ, khí phản ứng...);
 - Lưu trữ, trạm trộn, đường ống – van – thiết bị an toàn; phân loại vùng nguy hiểm và thông gió;
 - Đo lường – giám sát O₂, H₂, CO, điểm sương/độ ẩm, áp suất – lưu lượng;
 - Quy trình làm sạch – trơ hóa/thổi rửa bằng khí sạch, ngăn tạo hỗn hợp nổ và phòng cháy lan;
 - Liên động dừng khẩn, báo rò rỉ, hệ thống xả/đốt an toàn; yêu cầu riêng với lò chân không, lò nhiệt luyện dùng khí bảo vệ và các trường hợp đưa khí quyển vào/ra buồng lò.
- » Phần 4 quy định yêu cầu đối với hệ thống bảo vệ của lò công nghiệp.

Mặc dù phạm vi áp dụng chủ yếu cho lò nung và thiết bị gia nhiệt, không áp dụng trực tiếp cho nồi hơi, các nguyên tắc về thiết kế an toàn, hệ thống bảo vệ, thiết bị cảm biến – liên động trong ISO 13577 vẫn có thể được tham khảo khi thiết kế hoặc cải tạo lò công nghiệp tại Việt Nam.

Các tiêu chuẩn, quy chuẩn về xử lý khí thải và hệ thống đốt khác

QCVN, TCVN về hệ thống xử lý khí thải, lò đốt chất thải, thiết bị lọc bụi, xử lý SO₂/NO_x, cũng như các tiêu chuẩn quốc tế (EN, ISO) về hiệu suất thiết bị lọc bụi, thiết bị hấp thụ... là cơ sở để lựa chọn và nghiệm thu thiết bị xử lý khí cho lò.

Hướng dẫn triển khai trong doanh nghiệp

Khi chuẩn bị dự án đầu tư lò mới hoặc cải tạo, cần xây dựng bảng tổng hợp các quy định và tiêu chuẩn áp dụng (luật, nghị định, QCVN, TCVN, ISO...) và phân

công rõ trách nhiệm tuân thủ cho từng nhóm yêu cầu: năng lượng, môi trường và an toàn.

Trong hồ sơ mời thầu, hợp đồng mua sắm – lắp đặt, thiết kế kỹ thuật và quy trình vận hành, phải viện dẫn đầy đủ các tiêu chuẩn và quy chuẩn này, coi đó là điều kiện bắt buộc đối với nhà cung cấp và nhà thầu thiết kế – chế tạo – lắp đặt thiết bị.

Hệ thống tiêu chuẩn cần được rà soát và cập nhật định kỳ khi có phiên bản mới của QCVN/TCVN hoặc ISO, bảo đảm công nghệ lò công nghiệp luôn phù hợp với yêu cầu pháp luật hiện hành và thông lệ tốt về quản lý năng lượng, an toàn và môi trường.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. EREA; Danish Energy Agency (DEA). 2023. Viet Nam Technology Catalogue for Power Generation. Hà Nội & Copenhagen.
2. EREA; DEA. 2023. Viet Nam Technology Catalogue for Energy Storage, Renewable Fuels and Power-to-X. Hà Nội & Copenhagen.
3. U.S. Department of Energy (DOE) – IEDO/ORNL. MEASUR – Manufacturing Energy Assessment Software for Utility Reduction. (Công cụ đánh giá & tính toán).
4. DOE – BCS, ORNL. 2008. Waste Heat Recovery: Technology and Opportunities in U.S. Industry. Washington, DC.
5. DOE – AMO. Process Heating Tip Sheets & Sourcebook (tối ưu cháy, Điều chỉnh oxy dư tự động, điều khiển áp suất, thu hồi nhiệt).
6. Các-bon Trust. Energy efficiency – Ovens, furnaces and process heating: guides & case studies. London.
7. European Commission. BAT/BREF – Best Available Techniques Reference Documents
9. ISO 13577-1/2/3/4. Industrial furnaces and associated processing equipment – Safety. Geneva: ISO.
10. NFPA 86. Standard for Ovens and Furnaces. Quincy, MA: National Fire Protection Association.
11. EN 13284-1. Stationary source emissions—Determination of low range mass concentration of dust—Manual gravimetric method. Brussels: CEN.
12. ISO 9096. Stationary source emissions—Manual determination of mass concentration of particulate matter. Geneva: ISO.
13. EN 14791. Determination of mass concentration of SO₂. Brussels: CEN.
14. EN 14792. Determination of mass concentration of NO_x. Brussels: CEN.
15. EN 15058. Determination of mass concentration of CO. Brussels: CEN.
16. EN 14789. Determination of oxygen (O₂). Brussels: CEN.
17. EN 16911-1. Determination of gas velocity and volumetric flow rate in ducts. Brussels: CEN.
18. EN 14181. Quality assurance of automated measuring systems (CEMS). Brussels: CEN.
19. U.S. EPA. 40 CFR Part 60/63 & Reference Methods (M1–5, 7E, 10, 25/25A, 3A). Washington, DC.

20. Bộ TN&MT. QCVN 19:2009/BTNMT (được sửa đổi bởi TT 35/2015/BTNMT): Khí thải công nghiệp đối với bụi và các chất vô cơ. Hà Nội.
21. Bộ TN&MT. QCVN 20:2009/BTNMT (sửa đổi bởi TT 35/2015/BTNMT): Khí thải công nghiệp đối với hợp chất hữu cơ. Hà Nội.
22. Bộ TN&MT. QCVN 05:2013/BTNMT: Chất lượng không khí xung quanh. Hà Nội.

PHỤ LỤC

7.1 Thang Mức độ sẵn sàng công nghệ (TRL)

TRL	Mô tả mức độ sẵn sàng công nghệ	Bằng chứng/đầu ra tối thiểu (gợi ý)
1	Quan sát và mô tả nguyên lý cơ bản	Tài liệu khoa học, mô tả cơ chế/hiện tượng
2	Hình thành khái niệm công nghệ/ý tưởng ứng dụng	Mô tả khái niệm, sơ đồ nguyên lý, giả thuyết kỹ thuật
3	Chứng minh khái niệm ở mức thử nghiệm ban đầu	Thử nghiệm quy mô nhỏ, kết quả đo đạc xác nhận nguyên lý
4	Kiểm chứng trong phòng thí nghiệm (mẫu thử/thiết bị thử)	Mẫu thử hoạt động trong điều kiện kiểm soát; báo cáo thử nghiệm
5	Kiểm chứng trong môi trường tương tự thực tế (bán công nghiệp)	Thiết bị/mô-đun thử nghiệm có tải/nhiều gần thực tế; dữ liệu ổn định
6	Trình diễn quy mô thí điểm trong môi trường vận hành liên quan	Mô hình/thí điểm tại cơ sở có điều kiện tương tự; đánh giá vận hành–an toàn
7	Trình diễn quy mô gần thương mại trong điều kiện vận hành thực	Lắp đặt tại nhà máy, chạy thử/ chạy ổn định theo ca; thông số hiệu quả sơ bộ
8	Hoàn thiện và xác nhận hệ thống; sẵn sàng triển khai thương mại	Hồ sơ thiết kế hoàn chỉnh, nghiệm thu chạy thử, quy trình vận hành–bảo trì
9	Thương mại hóa đầy đủ, có nhiều dự án vận hành ổn định	Nhiều công trình vận hành dài hạn; hiệu quả/độ tin cậy được chứng minh

7.2 Danh mục kiểm tra an toàn và hiệu quả khi vận hành, bảo trì bảo dưỡng các thiết bị, công nghệ TKNL trong lò công nghiệp

Doanh nghiệp có thể tham khảo **06 biểu mẫu** kiểm tra dưới đây để xây dựng các danh mục kiểm tra phù hợp:

1. CL-01: Danh mục kiểm tra trước khi khởi động
2. CL-02: Danh mục kiểm tra khởi động và tăng nhiệt
3. CL-03: Danh mục kiểm tra vận hành ổn định theo ca

4. CL-04: Danh mục kiểm tra dừng lò và hạ nhiệt
5. CL-05: Danh mục kiểm tra bất thường – ứng phó sự cố
6. CL-06: Danh mục kiểm tra bảo trì định kỳ lò công nghiệp (tham khảo)

CL-01. Danh mục kiểm tra trước khi khởi động

Thông tin chung: Ngày/giờ ____ | Ca ____ | Khu vực ____ | Mã lò ____ | Người thực hiện ____ | Người xác nhận ____

A. An toàn khu vực

- Khu vực xung quanh lò sạch sẽ, không có vật dễ cháy/đồ cản trở.
- Biển cảnh báo, rào chắn, lối thoát nạn thông thoáng.
- Phương tiện chữa cháy sẵn sàng (niêm phong, áp lực, vị trí).
- Trang bị bảo hộ đầy đủ (găng, kính, mặt nạ, giày, quần áo chịu nhiệt).

B. Tình trạng cơ khí – kết cấu lò

- Cửa lò/khóa cửa hoạt động tốt, kín khí; gioăng còn tốt.
- Quan sát lớp lót chịu lửa: không bong tróc lớn, không nứt nguy hiểm.
- Không có rò rỉ bất thường tại ống gió/ống khói/đường ống liên quan.

C. Nhiên liệu – gió – điện

- Nhiên liệu đủ cho ca vận hành; chất lượng đạt yêu cầu (độ ẩm/tạp chất).
- Đường nhiên liệu: không rò rỉ, van khóa hoạt động, lọc sạch.
- Quạt cấp gió/quạt hút hoạt động thử, chiều quay đúng, không rung bất thường.
- Hệ điện: tủ điện, aptomat, tiếp địa, nút dừng khẩn sẵn sàng.

D. Đo lường – điều khiển

- Cảm biến nhiệt độ hiển thị bình thường; giá trị hợp lý so với hiện trạng.
- Đồng hồ áp suất/lưu lượng (nếu có) hiển thị bình thường.
- (Nếu có) đo oxy dư/khí đặc trưng hiển thị bình thường.
- Liên động an toàn sẵn sàng (mắt lửa, quá nhiệt, áp suất bất thường...).

Kết luận: [] Đủ điều kiện khởi động [] Không đủ điều kiện (ghi rõ) _____

CL-02. Danh mục kiểm tra khởi động và tăng nhiệt

- Thực hiện đúng trình tự khởi động theo quy trình (SOP).
- Kiểm tra đánh lửa/ổn định cháy (nếu lò đốt): ngọn lửa ổn định, không rung giật.

- Tăng nhiệt theo chương trình: tốc độ tăng nhiệt ____ °C/h (theo yêu cầu).
- Ghi nhận nhiệt độ theo vùng (nếu có): V1 ____ V2 ____ V3 ____
- Kiểm soát oxy dư (nếu có): ____ %; điều chỉnh để tránh thừa gió.
- Không phát sinh tiếng động/rung bất thường ở quạt, van, đường ống.
- Khí thải/khói: màu sắc bình thường, không có mùi bất thường.

CL-03. Danh mục kiểm tra vận hành ổn định theo ca

Gợi ý: thực hiện tối thiểu **2 lần/ca** (đầu ca và giữa ca)

A. Thông số vận hành chính

- Nhiệt độ đặt/đo đạt yêu cầu: ____ °C (theo vùng nếu có).
- Nhiên liệu: lưu lượng/áp suất ổn định, không dao động lớn.
- Gió cấp và hút: ổn định; không có rò rỉ gió giả rõ rệt.
- (Nếu có) oxy dư duy trì trong dải mục tiêu: ____ % (dải –%).

B. Tồn thất – điểm TKNL cần kiểm tra nhanh

- Cửa lò đóng kín, hạn chế mở cửa không cần thiết.
- Bề mặt vỏ lò: không có “điểm nóng” bất thường (đánh dấu vị trí nếu có).
- Không có rò rỉ tại cửa lò/khe hở/đường ống nóng.
- Thiết bị thu hồi nhiệt (nếu có): chênh nhiệt vào/ra ổn định, không tắc nghẽn.
- Thiết bị lọc bụi/xử lý khí thải (nếu có): chênh áp trong giới hạn, không quá tải.

C. An toàn – kỷ luật vận hành

- Không có cảnh báo liên động; nếu có ghi rõ và xử lý.
- Nhật ký vận hành cập nhật: nhiên liệu tiêu thụ, sản lượng, sự kiện bất thường.

CL-04. Danh mục kiểm tra dừng lò và hạ nhiệt

- Thực hiện đúng trình tự dừng theo SOP (giảm tải → dừng đốt → làm mát).
- Đảm bảo làm mát theo quy định để tránh sốc nhiệt lớp lót.
- Khóa nguồn nhiên liệu đúng quy trình; xác nhận không rò rỉ sau dừng.
- Dừng quạt theo trình tự; kiểm tra rung/nhiệt ổ trục sau dừng.

- Ghi nhận thông số cuối ca: nhiệt độ, sự cố, vật tư/khuyến nghị bảo trì.

CL-05. Danh mục kiểm tra bất thường – ứng phó sự cố

Khi xảy ra bất thường, ưu tiên an toàn và dừng theo liên động nếu cần.

- Mất lửa/không ổn định cháy: thực hiện dừng an toàn, thông gió theo quy định, kiểm tra nguyên nhân.
- Quá nhiệt/dao động nhiệt lớn: giảm tải, kiểm tra cảm biến và điều khiển.
- Rò rỉ nhiên liệu/khí: cô lập nguồn, cảnh giới khu vực, xử lý theo quy trình.
- Khói đen/CO cao (nếu có đo): kiểm tra thiếu gió/cháy không hoàn toàn, điều chỉnh theo SOP.
- Rung lớn quạt/tiếng bất thường: dừng kiểm tra cơ khí, tránh hỏng lan rộng.
- Báo cháy/sự cố điện: kích hoạt dừng khẩn, xử lý theo quy trình PCCC/an toàn điện.
- Ghi nhận sự cố và lập phiếu yêu cầu bảo trì; phân loại mức độ (nghiêm trọng/trung bình/nhẹ).

L-06. Danh mục kiểm tra bảo trì định kỳ lò công nghiệp (tham khảo)

Thông tin chung: Nhà máy ____ | Khu vực ____ | Mã lò ____ | Loại lò ____ | Nhiên liệu ____

Kỳ bảo trì: [] Tuần [] Tháng [] Quý [] Năm | Ngày thực hiện // ____

Người thực hiện: ____ | Người giám sát/xác nhận: ____

Nguyên tắc: các hạng mục có dấu “*” cần thực hiện khi dừng lò hoặc có điều kiện an toàn tương đương.

A. Hệ thống cung cấp nhiên liệu

- Kiểm tra rò rỉ tại đường ống/khớp nối/van; siết lại nếu cần.
- Vệ sinh hoặc thay lọc nhiên liệu/khí theo định kỳ.
- Kiểm tra hoạt động van an toàn/van cắt khẩn (thử chức năng).
- Kiểm tra thiết bị đo lưu lượng/áp suất (đọc ổn định, không kẹt kim).
- Kiểm tra thiết bị cấp liệu (băng tải/vít tải/phễu): mòn, kẹt, rung. *
- Kiểm tra kho/bồn chứa: tình trạng chống thấm, thông gió, PCCC, nhãn cảnh báo.

B. Hệ thống gió cấp – hút – đường ống

- Kiểm tra quạt cấp/quạt hút: rung, tiếng ồn, độ nóng ổ trục.

- Kiểm tra dây curoa/khớp nối/độ đồng tâm; siết chặt gói đỡ.
- Bôi trơn ổ trục theo khuyến nghị nhà sản xuất.
- Vệ sinh cánh quạt/ống gió; kiểm tra bám bụi, tắc nghẽn. *
- Kiểm tra van gió/cánh điều tiết: kẹt, rơ, đóng mở hết hành trình.
- Kiểm tra rò rỉ gió giả tại mối nối, mặt bích, cửa vệ sinh.

C. Hệ thống đốt và buồng đốt (nếu lò đốt nhiên liệu)

- Kiểm tra đầu đốt: độ sạch, bám muội, tình trạng béc/phun. *
- Kiểm tra bộ đánh lửa/cảm biến ngọn lửa: vệ sinh, thử tín hiệu.
- Kiểm tra ổn định ngọn lửa khi chạy thử: không rung giật/không tắt đột ngột.
- Kiểm tra liên động an toàn: mất lửa, quá nhiệt, áp suất bất thường (thử chức năng).
- Kiểm tra buồng đốt: nứt, biến dạng, bám xỉ (nếu có). *

D. Thân lò – cửa lò – cách nhiệt – lớp lót chịu lửa

- Kiểm tra độ kín cửa lò, gioăng, bản lề/khóa; thay thế khi lão hóa.
- Kiểm tra “điểm nóng” bề mặt vỏ lò; đánh dấu vị trí bất thường để xử lý.
- Kiểm tra lớp lót chịu lửa: nứt, bong tróc, mài mòn cục bộ. *
- Kiểm tra mạch giã nở, neo giữ; siết/khắc phục theo khuyến nghị kỹ thuật. *
- Vệ sinh khu vực cửa lò/đường ray/thiết bị ra vào sản phẩm. *

E. Hệ thống đo lường – điều khiển (PLC/SCADA nếu có)

- Hiệu chuẩn/kiểm tra cảm biến nhiệt độ theo kế hoạch (đặc biệt vùng quan trọng).
- Kiểm tra cảm biến oxy dư/áp suất/lưu lượng (nếu có): vệ sinh đầu đo, thử tín hiệu.
- Kiểm tra tín hiệu cảnh báo và nút dừng khẩn: thử chức năng, ghi nhận kết quả.
- Kiểm tra tủ điện: bụi/ẩm, quạt tủ, đầu cốt, tiếp địa; siết lại đầu nối. *
- Sao lưu cấu hình điều khiển/chương trình vận hành (nếu áp dụng), kiểm soát quyền truy cập.

F. Thiết bị thu hồi nhiệt (nếu có)

- Kiểm tra chênh nhiệt vào/ra; ghi nhận xu hướng suy giảm hiệu suất.
- Kiểm tra bám bụi/cáu cặn; lập kế hoạch vệ sinh theo ngưỡng. *
- Kiểm tra rò rỉ chéo (khói–không khí/nước) và độ kín mối nối. *
- Kiểm tra bơm/van/đường ống nước nóng (nếu có): rò rỉ, rung, cavitation.

G. Thiết bị xử lý khí thải (nếu có)

- Ghi nhận chênh áp lọc/thiết bị; so sánh với ngưỡng cho phép.

- Kiểm tra rò rỉ đường ống khói, cửa vệ sinh, cửa thăm. *
- Kiểm tra quạt hút, ống khói: bám bẩn, ăn mòn, rung. *
- Kiểm tra hệ thu bụi (phễu bụi, vít tải, thùng chứa): không tắc nghẽn.

H. Hồ sơ bảo trì – hành động khắc phục

- Cập nhật nhật ký bảo trì: hạng mục, vật tư, thời gian dừng, người thực hiện.
- Ghi nhận bất thường còn tồn tại và kế hoạch xử lý (ngày dự kiến, người phụ trách).
- Đánh giá nguyên nhân gốc khi lặp lại (rò rỉ, bám bẩn nhanh, cháy không ổn định...).

Kết luận:

Mức độ thiết bị: [] Tốt [] Chấp nhận được [] Cần khắc phục ngay

Các hạng mục cần xử lý/đặt vật tư: _____

Cẩm nang Công nghệ Hiệu quả Năng lượng cho Hệ thống Lò công nghiệp

Chịu trách nhiệm xuất bản

Giám đốc – Tổng biên tập

Trương Thu Hiền

Biên tập: Đồng Thị Thu Thủy

Chế bản: Dự án Thúc đẩy Tiết kiệm Năng lượng trong các ngành Công nghiệp Việt Nam (VSUEE)

Trình bày bìa và sửa bản in: Dự án Thúc đẩy Tiết kiệm Năng lượng trong các ngành Công nghiệp Việt Nam (VSUEE)

NHÀ XUẤT BẢN CÔNG THƯƠNG

Trụ sở: Số 655 Phạm Văn Đồng, Bắc Từ Liêm, Hà Nội

Điện thoại: 024 3 934 1562 **Fax:** 024 3 938 7164

Website: <http://nxbconghuong.vn>

Email: nxbct@moit.gov.vn

In 500 cuốn, khổ 21x29,7cm tại **CÔNG TY CỔ PHẦN IN VÀ THƯƠNG MẠI DỊCH VỤ ĐỒNG LỢI.**

Địa chỉ: Số 6, ngõ 389/88/4 Đường Trương Định, Phường Tương Mai, Thành Phố Hà Nội, Việt Nam.

Số xác nhận đăng ký xuất bản: 414-2026/CXBIPH/10-21/CT

Số Quyết định xuất bản: 96/QĐ-NXBCT, cấp ngày 30/01/2026

Mã số ISBN: 978-632-630-333-9

In xong và nộp lưu chiểu: Năm 2026

ISBN: 978-632-630-333-9



9 786326 303339

SÁCH KHÔNG BÁN