

BẢN TIN KHOA HỌC



Số 4/2024 (Số 51)

CƠ KHÍ

ISSN: 2354 - 1164

NĂNG LƯỢNG - MỎ

MECHANICAL ENGINEERING BULLETIN FOR MINING AND ENERGY INDUSTRIES

VIỆN CƠ KHÍ NĂNG LƯỢNG VÀ MỎ - VINACOMIN

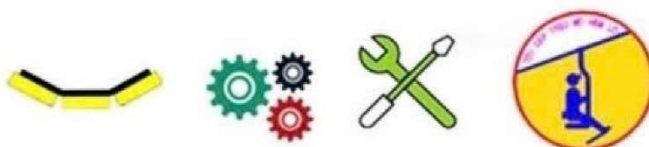
*Chào mừng 44 năm Ngày thành lập
Viện Cơ khí Năng lượng và Mỏ - Vinacomin
(01/7/1981 – 01/7/2025)*

Từ tài nguyên khoáng sản và nguồn nhân lực đi lên giàu mạnh!



TÔI CẤP TREO CHỜ NGƯỜI
TCCN 1000/750-23/45

**An toàn - Đoàn kết
Phát triển - Hiệu quả**





CHỊU TRÁCH NHIỆM NỘI DUNG

TRƯỞNG BAN BIÊN TẬP:

TS. Nguyễn Thu Hiền

Viện trưởng Viện Cơ khí
Năng lượng và Mỏ - Vinacomin

PHÓ TRƯỞNG BAN BIÊN TẬP:

TS. Đỗ Trung Hiếu

Phó Viện trưởng Viện Cơ khí
Năng lượng và Mỏ - Vinacomin

ThS. Trần Đức Thọ

Phó Viện trưởng Viện Cơ khí
Năng lượng và Mỏ - Vinacomin

BAN BIÊN TẬP:

TS. Lê Thanh Bình – Ủy viên Thư ký
ThS. Nguyễn Chân Phương – Ủy viên
ThS. Nguyễn Xuân Trường – Ủy viên
ThS. Nguyễn Thị Kiều Linh – Ủy viên
ThS. Phan Xuân Thông – Ủy viên
ThS. Phạm Hà Trung – Ủy viên
ThS. Phạm Văn Hiếu – Ủy viên
ThS. Lê Văn Thông – Ủy viên

TÒA SOẠN:

Địa chỉ: Số 565 Nguyễn Trãi, P. Thanh Liệt,
TP. Hà Nội
ĐT: (024) 3854 2572 Fax: (024) 3854 3154
Email: info@iemm.com.vn
Giấy phép xuất bản số 31/GP-XBBT ngày
06/8/2025 của Cục Báo chí

MỤC LỤC

Số 4/2025 (Số 51 – Tháng 7-8/2025)

THƯ NGỎ

TIN TỨC

- 2 - 8 THÁNG NĂM 2025, TKV NỘP NGÂN SÁCH NHÀ NƯỚC TRÊN 19.000 TỶ ĐỒNG
- 4 - TỔNG DOANH THU CỦA KHỐI CƠ KHÍ TKV TRONG 7 THÁNG NĂM 2025 ĐẠT TRÊN 3.277 TỶ ĐỒNG
- 7 - KHOA HỌC CÔNG NGHỆ LÀ ĐỘNG LỰC THEN CHỐT ĐỂ NÂNG CAO NĂNG SUẤT, ĐẢM BẢO AN TOÀN
- 10 - NÂNG CAO NHẬN THỨC VỀ VAI TRÒ CỦA “CUỘC CÁCH MẠNG KHOA HỌC - CÔNG NGHỆ VÀ CHUYỂN ĐỔI SỐ” TRONG SẢN XUẤT CỦA TKV
- 13 - ĐẠI HỘI ĐOÀN THANH NIÊN CỘNG SẢN HỒ CHÍ MINH VIỆN CƠ KHÍ NĂNG LƯỢNG VÀ MỎ - VINACOMIN NHIỆM KỲ 2025 - 2030

ĐIỆN - TỰ ĐỘNG HOÁ

- 15 - NÂNG CAO HIỆU QUẢ HỆ THỐNG PHÁT ĐIỆN – CUNG CẤP HƠI THÔNG QUA CHUYỂN ĐỔI TUABIN NGỪNG TỰ THÀNH TUABIN ĐỐI ÁP TẠI NHÀ MÁY ALUMIN TÂN RAI

CÔNG NGHỆ VẬT LIỆU

- 23 - ẢNH HƯỞNG CỦA THỜI GIAN VÀ ĐẬP ĐẾN HIỆU QUẢ PHÁ HỦY ĐÁ VÀ BIẾN DẠNG DẪO CỦA KIM LOẠI

KHOA HỌC ỨNG DỤNG

- 30 - NGHIÊN CỨU VÀ PHÂN TÍCH MỘT SỐ CÔNG NGHỆ TÍCH TRỮ NĂNG LƯỢNG TÁI TẠO SỬ DỤNG HIỆN NAY TRÊN THẾ GIỚI
- 44 - NÂNG CAO HIỆU QUẢ VÀ MINH BẠCH TRONG GIÁM SÁT TRỮ LƯỢNG KHAI THÁC MỎ LỘ THIÊN TẠI VIỆT NAM BẰNG CÔNG NGHỆ LIDAR SLAM DI ĐỘNG

SẢN PHẨM KHOA HỌC CÔNG NGHỆ

- 49 - VIỆN CƠ KHÍ NĂNG LƯỢNG VÀ MỎ - VINACOMIN: 44 NĂM HÌNH THÀNH VÀ PHÁT TRIỂN

THƯ NGỎ

QUÝ ĐỘC GIẢ THÂN MẾN!

Ban Biên tập *Bản tin Khoa học Cơ khí Năng lượng – Mô* trân trọng gửi tới quý độc giả và quý khách hàng lời chào trân trọng, lời chúc sức khỏe và thành công trong năm 2025, một năm đầy kỳ vọng về đổi mới sáng tạo và chuyển đổi số trong lĩnh vực công nghiệp.

Quý vị đang cầm trên tay *Bản tin Khoa học Cơ khí Năng lượng – Mô* số 4/2025 (Số 51). Đây là số báo đặc biệt chào mừng 44 năm ngày thành lập Viện Cơ khí Năng lượng và Mô – Vinacomin (01/7/1981 – 01/7/2025). Trải qua hơn bốn thập kỷ xây dựng và phát triển, Viện đã không ngừng đổi mới, vượt qua nhiều giai đoạn thăng trầm, từng bước khẳng định vai trò là tổ chức khoa học và công nghệ chủ lực của Tập đoàn Công nghiệp Than – Khoáng sản Việt Nam, đồng thời là địa chỉ tin cậy cung cấp các giải pháp cơ khí, năng lượng và tự động hóa cho nhiều ngành kinh tế.

Những năm gần đây, hoạt động khoa học và công nghệ của ngành Công Thương nói chung và Tập đoàn Công nghiệp Than – Khoáng sản Việt Nam nói riêng tiếp tục đạt được nhiều thành tựu nổi bật, đặc biệt trong bối cảnh chuyển đổi xanh, chuyển đổi số và ứng dụng công nghệ mới vào sản xuất. Đối với Viện Cơ khí Năng lượng và Mô – Vinacomin, phạm vi nghiên cứu và triển khai không chỉ tập trung vào công nghệ – thiết bị, mà còn mở rộng mạnh mẽ sang các lĩnh vực tư vấn thiết kế, giám sát, kiểm toán năng lượng, dịch vụ thí nghiệm – kiểm định, hỗ trợ doanh nghiệp đổi mới công nghệ và tự động hóa dây chuyền sản xuất. Nhiều kết quả nghiên cứu của Viện đã được ứng dụng thành công, góp phần nâng cao năng suất, an toàn và hiệu quả kinh tế cho các đơn vị trong và ngoài Tập đoàn, đồng thời đóng vai trò quan trọng trong việc thay thế sản phẩm nhập khẩu bằng các giải pháp kỹ thuật “Make in IEMM”.

Ban Biên tập *Bản tin Khoa học Cơ khí Năng lượng – Mô* luôn nỗ lực mang đến cho quý độc giả những thông tin cập nhật, khách quan và hữu ích về hoạt động khoa học và công nghệ trong nước và quốc tế, từ cơ chế chính sách, thành tựu nghiên cứu đến các mô hình, công trình tiêu biểu đang được triển khai trong thực tế.

Nhân dịp kỷ niệm 44 năm ngày thành lập Viện Cơ khí Năng lượng và Mô – Vinacomin, Ban Biên tập xin trân trọng cảm ơn sự quan tâm, đồng hành và đóng góp của quý độc giả, quý khách hàng trong suốt thời gian qua.

Kính chúc quý vị và gia đình một năm 2025 thật nhiều Sức khỏe – Hạnh phúc – Thành công!
Trân trọng!

Viện trưởng – Trưởng Ban Biên tập
TS. Nguyễn Thu Hiền

8 THÁNG NĂM 2025, TKV NỘP NGÂN SÁCH NHÀ NƯỚC TRÊN 19.000 TỶ ĐỒNG

Sáng ngày 29/8, Tổng Giám đốc Tập đoàn Vũ Anh Tuấn chủ trì Hội nghị giao ban trực tuyến điều hành sản xuất tháng 9/2025 tại 2 điểm cầu: Trụ sở Tập đoàn tại Hà Nội và Trung tâm Điều hành sản xuất tại Quảng Ninh.



Hội nghị giao ban trực tuyến điều hành sản xuất tháng 9/2025 tại trụ sở Tập đoàn



Điểm cầu tại Trung tâm điều hành sản xuất tại Quảng Ninh

Tháng 8/2025, thời tiết diễn biến phức tạp với mưa lớn trên diện rộng đã tác động trực tiếp đến hoạt động khai thác than và khoáng sản của Tập đoàn. Trước tình hình đó, Tập đoàn đã chủ động xây dựng phương án, kế hoạch sản xuất tăng trưởng và triển khai đồng bộ các giải pháp

đảm bảo an toàn cho các kho chứa than trong mùa mưa bão. Nhờ đó, TKV duy trì được hoạt động sản xuất ổn định và cơ bản hoàn thành kế hoạch sản xuất kinh doanh trong tháng 8 và 8 tháng năm 2025.

Cụ thể, than sạch sản xuất đạt 2,9711 triệu tấn, lũy kế 8 tháng ước đạt 27,08 triệu tấn; than nhập khẩu đạt 340 ngàn tấn, lũy kế 8 tháng ước đạt 8,1 triệu tấn; than tiêu thụ đạt 2,83 triệu tấn, lũy kế 8 tháng ước đạt 31,21 triệu tấn; sản xuất Alumina đạt 112 ngàn tấn, lũy kế 8 tháng 975 ngàn tấn; tiêu thụ Alumina đạt 120,9 ngàn tấn, lũy kế 8 tháng 937 ngàn tấn; sản xuất tinh quặng đồng đạt 8,9 ngàn tấn, lũy kế 8 tháng 72,8 ngàn tấn. Sản lượng điện sản xuất tháng 8 đạt 630 triệu kWh, lũy kế 8 tháng 7,2 tỷ kWh. Doanh thu tổng

số toàn Tập đoàn ước đạt 11,8 ngàn tỷ đồng; lũy kế 8 tháng đầu năm ước đạt 112,6 ngàn tỷ đồng; lợi nhuận hợp nhất toàn Tập đoàn ước đạt 848 tỷ đồng; lũy kế 8 tháng ước đạt 5,64 ngàn tỷ đồng; Nộp ngân sách nhà nước tháng 8 ước đạt 2,2 ngàn tỷ đồng; lũy kế 8 tháng đầu năm ước đạt 19,26 ngàn tỷ đồng.



*Tổng Giám đốc Tập đoàn Vũ Anh Tuấn
phát biểu kết luận hội nghị*

Nhấn mạnh nhiệm vụ trọng tâm trong tháng 9/2025, Tổng Giám đốc Tập đoàn Vũ Anh Tuấn yêu cầu các Ban, các đơn vị tiếp tục bám sát các chỉ tiêu kế hoạch điều hành ban hành kèm theo Quyết định số 1019/QĐ-TKV ngày 23/5/2025 để chỉ đạo điều hành; triển khai quyết liệt, đồng bộ các giải pháp, phấn đấu hoàn thành các chỉ tiêu đáp ứng yêu cầu, mục tiêu tăng trưởng theo chỉ đạo của Chính phủ, chỉ thị của Ban Thường vụ Đảng ủy Tập đoàn, HĐQT Tập đoàn. Trong đó cần đôn đốc, chỉ đạo các đơn vị tiếp tục tăng

cường sản xuất; xây dựng phương án, kế hoạch sản xuất theo kế hoạch tăng trưởng của TKV giao. Chỉ đạo linh hoạt, giám sát chặt chẽ công tác sản xuất chuẩn bị chân hàng, đảm bảo khối lượng đáp ứng kịp thời các chủng loại theo nhu cầu tiêu thụ của thị trường. Thực hiện nghiêm công tác an toàn vệ sinh lao động, đồng thời chỉ đạo tổ chức sản xuất tốt trước, trong và sau kỳ nghỉ lễ Quốc khánh 02/9 theo kế hoạch. Đẩy mạnh thực hiện các nhiệm vụ trong công tác chuyển đổi số của Tập đoàn, chuẩn bị tốt kế hoạch sản xuất năm 2026 và kế hoạch giai đoạn 2026-2030. Chỉ đạo triển khai các dự án đầu tư đảm bảo tiến độ, đồng thời phát động các phong trào thi đua hướng tới chào mừng kỷ niệm 90 năm ngày Truyền thống công nhân Vùng mỏ - Truyền thống ngành Than 12/11 (1936-2026)...

Theo kế hoạch, tháng 9/2025, Tập đoàn đặt mục tiêu sản xuất 2,6 triệu tấn than nguyên khai; sản lượng than sạch đạt 3 triệu tấn; tiêu thụ than đạt 3,2 triệu tấn. Sản lượng alumina dự kiến 122 nghìn tấn, tiêu thụ 157 nghìn tấn. Sản xuất tinh quặng đồng 9,5 nghìn tấn, tiêu thụ 3 nghìn tấn. Sản xuất điện dự kiến 520 triệu kWh; sản xuất thuốc nổ 6 nghìn tấn; cung ứng thuốc nổ 8,5 nghìn tấn. Sản xuất amon nitrat đạt 17 nghìn tấn, tiêu thụ 11,9 nghìn tấn. Doanh thu hợp nhất toàn Tập đoàn dự kiến đạt 13,2 nghìn tỷ đồng.

Theo <https://vinacomin.vn>.

TỔNG DOANH THU CỦA KHỐI CƠ KHÍ TKV TRONG 7 THÁNG NĂM 2025 ĐẠT TRÊN 3.277 TỶ ĐỒNG

Chiều ngày 26/8/2025, tại Công ty Cổ phần Cơ khí Mạo Khê - Vinacomin, Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam (TKV) tổ chức hội nghị sơ kết công tác cơ khí 7 tháng đầu năm, giải pháp thực hiện kế hoạch SXKD 5 tháng cuối năm 2025. Dự hội nghị có Phó TGD Tập đoàn Nguyễn Văn Tuấn, các Ban CV, VTM, KH; Giám đốc các đơn vị Cơ khí TKV...



*Hội nghị sơ kết công tác cơ khí 7 tháng đầu năm,
giải pháp thực hiện kế hoạch SXKD 5 tháng cuối năm 2025*



Các đại biểu dự Hội nghị

Theo báo cáo của Ban CV Tập đoàn, thực hiện kế hoạch, nhiệm vụ sản xuất, kinh doanh năm 2025, Cơ khí TKV tiếp tục nhận được sự

quan tâm lãnh chỉ đạo toàn diện từ Đảng ủy, HĐQT, Ban lãnh đạo điều hành Tập đoàn, sự vào cuộc ngay từ đầu năm của Ban CV và các Ban chuyên môn Tập đoàn, cùng với sự nỗ lực, cố gắng, khắc phục khó khăn, phấn đấu hoàn thành kế hoạch của các đơn vị cơ khí. Kết quả sản xuất kinh doanh 7 tháng đầu năm 2025, tổng doanh thu của khối Cơ khí TKV (11 đơn vị) đạt 3.277,5 tỷ đồng/KH năm 5.055,8 tỷ đồng, đạt 64,8% KH năm và bằng 109,2% doanh thu thực hiện cùng kỳ năm 2024; trong đó, doanh thu của 3 đơn vị cơ khí TKV giữ quyền chi phối đạt 1.539 tỷ đồng/KH năm 2.414 tỷ đồng, đạt 64% KH năm và bằng 99,5% doanh thu thực hiện cùng kỳ năm 2024.



*Phó Trưởng Ban CV Tập đoàn
Mai Ngọc Thạch báo cáo tại Hội nghị*

Các chỉ tiêu hiện vật chủ yếu như: chế tạo thiết bị 7 tháng đầu năm 2025 đạt 1.593 tấn, bằng 58% KH năm 2025 và bằng 107,6% so với cùng kỳ 2024; chế tạo phụ tùng đạt 17.524 tấn, bằng 63,2% KH năm 2025 và bằng 101,2% so với cùng kỳ 2024; công tác sửa chữa lớn các thiết bị hoàn thành 123 thiết bị/ KH năm 271 thiết bị, đạt 45,4% KH năm về đầu hiện vật và bằng 109,8% so với cùng kỳ năm 2024; sản xuất thép SVP đạt 70.995 tấn, đạt 79,4% KH năm và bằng 104,2% so với cùng kỳ năm 2024. Công tác cung ứng vì chống lò đạt 68.166 tấn, đạt 69,2% KH năm và bằng 110,8% so với cùng kỳ năm 2024. Các đơn vị gia công vì chống lò cơ bản đảm bảo cung cấp đủ và kịp thời yêu cầu vì chống của các đơn vị sản xuất hầm lò. Tiền lương bình quân chung toàn khối Cơ khí 7 tháng đầu năm 2025 đạt 12,48 triệu đồng/người/tháng, đạt 107% KH năm và bằng 111,8% tiền lương thực hiện cùng kỳ năm 2024.

Nhiệm vụ 5 tháng còn lại của năm 2025, Cơ khí TKV đặt mục tiêu quyết tâm hoàn thành tốt nhất các chỉ tiêu đã đăng ký với Tập đoàn, nhất là các chỉ tiêu về hiệu quả kinh tế, thu nhập tiền lương của người lao động và đảm bảo an toàn, an ninh trong sản xuất.

Tại hội nghị, các Ban chuyên môn Tập đoàn và các đơn vị đã tham gia phát biểu các nội dung liên quan đến công tác chỉ đạo, điều hành thực hiện kế hoạch SXKD, phân đầu hoàn thành kế

hoạch năm 2025; công tác sửa chữa lớn thiết bị máy mỏ theo kế hoạch PHKD; công tác mua sắm, sử dụng hàng hóa vật tư trong ngành sản xuất; công tác phát triển thị trường; đầu tư đổi mới công nghệ, thiết bị...



*Đại diện các đơn vị Cơ khí TKV
phát biểu tại Hội nghị*

Phát biểu chỉ đạo tại hội nghị, Phó TGD Tập đoàn Nguyễn Văn Tuấn ghi nhận những nỗ lực, cố gắng của các đơn vị Cơ khí TKV và kết quả đạt được trong SXKD 7 tháng cũng như thu nhập, tiền lương của một số đơn vị đạt kết quả tốt. Đồng thời chỉ đạo, các đơn vị tiếp tục đẩy mạnh sản

xuất, bám sát thị trường và kế hoạch phối hợp kinh doanh, phối hợp chặt chẽ với các đơn vị thực hiện hoàn thành kế hoạch năm 2025. Tăng cường công tác tiếp thị, mở rộng thị trường trong và ngoài ngành, hoàn thành kế hoạch đầu tư; nghiên cứu chế tạo các sản phẩm, thiết bị, phụ tùng cho ngành mỏ, sản xuất hầm lò, ngành sản xuất chính của TKV, Phó TGD Tập đoàn Nguyễn Văn Tuấn nhấn mạnh.



*Phó TGD Tập đoàn Nguyễn Văn Tuấn
phát biểu chỉ đạo*



*Sản xuất cơ khí
tại Công ty CP Cơ khí Mạo Khê – Vinacomin*



*Các đại biểu tham quan sản xuất
tại Công ty CP Cơ khí Mạo Khê - Vinacomin*

Nhân dịp này, các đơn vị Cơ khí TKV đã tham quan sản xuất, công tác đầu tư, đổi mới công nghệ, thiết bị, công tác môi trường, xây dựng cảnh quan xanh - sạch - đẹp, đảm bảo ATLĐ tại Công ty Cổ phần Cơ khí Mạo Khê - Vinacomin.

Theo <https://vinacomin.vn>.

KHOA HỌC CÔNG NGHỆ LÀ ĐỘNG LỰC THEN CHỐT ĐỂ NÂNG CAO NĂNG SUẤT, ĐẢM BẢO AN TOÀN

Tại Hội thảo “Đánh giá kết quả đổi mới và phát triển kỹ thuật công nghệ mở giai đoạn 2020-2025, định hướng phát triển giai đoạn 2026-2030 và các năm tiếp theo”, Phó Tổng Giám đốc Tập đoàn Nguyễn Văn Tuấn nhấn mạnh: Khoa học công nghệ là động lực then chốt để nâng cao năng suất, đảm bảo an toàn, giảm chi phí sản xuất và tăng tính bền vững trong khai thác, chế biến than.



Dây chuyền vận chuyển, bốc rót, tiêu thụ than hiện đại tại Công ty Tuyển than Cửa Ông - TKV

Trong bối cảnh yêu cầu ngày càng cao về bảo vệ môi trường, chuyển đổi số là xu hướng phát triển bền vững; cuộc cách mạng công nghiệp lần thứ tư đã tác động mạnh mẽ, sâu sắc đến sự phát triển toàn cầu. Trong chiến lược phát triển, Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam (TKV) tập trung “3 hóa” (cơ giới hóa, tự động hóa và tin học hóa), trong đó, tự động hóa là mục tiêu hàng đầu TKV đang ứng dụng, nhân rộng tại các đơn vị.

Nhận thức được vai trò và tầm quan trọng của tin học hóa - tự động hóa (THH - TĐH) cùng với mục tiêu đẩy mạnh ứng dụng THH - TĐH để tăng năng suất, chất lượng sản phẩm, Công ty Tuyển than Cửa Ông - TKV thực hiện đầu tư xây dựng và quản lý hiệu quả hệ thống tự động hóa điều khiển tập trung tại các đơn vị. Duy trì quản lý, vận hành hiệu quả hệ thống điều khiển tập



Hệ thống máy đánh đồng, bốc rót than

trung thiết bị công nghệ trong dây chuyền đổ đồng, bốc rót tiêu thụ than tại PX Kho bến 2; hệ thống thiết bị dây chuyền công nghệ xử lý bùn nước tại PX Lọc sảy than; hệ thống điều khiển thiết bị chuyển đá thải sau tuyển về mỏ tại khu vực ga Cọc 6B tại PX Vận tải. Sử dụng hiệu quả hệ thống định vị toàn cầu GPS cho các phương tiện vận tải để quản lý cung đường tự động...



*Ứng dụng phần mềm quản lý
tại Phân xưởng Tuyển than 3*

Được xem là bước đi quan trọng giúp hiện đại hóa các dây chuyền sản xuất than, góp phần nâng cao năng suất lao động và giảm thiểu sức lao động thủ công, năm 2021, Công ty đã thực hiện xong dự án Hệ thống điều khiển tập trung thiết bị sàng tuyển, chế biến, vận chuyển than sang Nhà máy nhiệt điện Cẩm Phả. Trong đó, hệ thống điều khiển tại chỗ đã được thay thế bằng hệ thống điều khiển tập trung tại phòng điều khiển trung tâm của phân xưởng. Số lượng lao động giảm 54 người (từ 223 người xuống còn 169 người). Góp phần hoàn thiện công nghệ chế biến than gắn với tự động hóa một số khâu trong dây chuyền sản xuất của Nhà máy Tuyển than 3 để chủ động điều tiết được tỷ lệ các nguồn than cấp vào pha trộn nhằm phát huy tối đa hiệu quả pha trộn than bùn sau sấy, bùn 1b.1 thành than cám TCVN, nâng cao giá trị sản phẩm; chủ động và linh hoạt trong quá trình vận hành thiết bị theo các phương án công nghệ sản xuất, phát huy tối đa công suất hữu ích của thiết bị, giảm số lượng công nhân vận hành trực tiếp, nâng cao hiệu quả sản xuất kinh doanh, cải thiện điều kiện làm việc cho người lao động. Duy trì sản xuất của Nhà máy Tuyển than 3 làm việc ổn định, đảm bảo khả năng lưu kho và chất lượng than cấp cho Nhà máy nhiệt điện Cẩm Phả và các hộ khác. Ngoài ra, Công ty đã tiếp nhận quản lý và vận hành thành công Hệ thống điều khiển tập trung thiết bị sàng tuyển, chế biến, vận chuyển than sang Nhà máy nhiệt điện Mông Dương tại Phân xưởng

Tuyển than 4.



*Hệ thống máy phun sương cao áp dập bụi
giúp thực hiện công tác bảo vệ môi trường*

Tiên phong trong ứng dụng tự động hóa, Phân xưởng Tuyển than 2 là đơn vị sàng tuyển, chế biến than chủ lực của Công ty, đóng vai trò quan trọng trong việc đảm bảo chất lượng và sản lượng than cung cấp ra thị trường. Năm 2022, Công ty đã quan tâm triển khai thực hiện dự án tự động hóa điều khiển tập trung giai đoạn 1 với việc thực hiện điều khiển tập trung 14/15 lưu trình công nghệ. Số lượng lao động giảm 42 người (từ 383 người xuống còn 341 người). Sau khi đưa vào sử dụng, dự án đã đồng bộ hệ thống thiết bị điều khiển và giám sát từ trung tâm để chuyển phần lớn công tác vận hành tại chỗ sang vận hành từ xa; cải thiện điều kiện làm việc của người lao động, giảm thiểu các nguyên nhân gây tai nạn lao động, sự cố thiết bị; Chủ động và linh hoạt trong vận hành thiết bị theo các phương án công nghệ để sản phẩm đạt chất lượng đáp ứng yêu cầu tiêu thụ; Kiểm soát và giám sát hoạt động của thiết bị, giảm thiểu sự cố và phát huy tối đa công suất hữu ích của thiết bị, nâng cao hiệu quả sản xuất kinh doanh; Nâng cao và duy trì năng lực sản xuất của Công ty, góp phần hoàn thành sản lượng sản xuất toàn ngành. Qua đó đảm bảo công ăn việc làm, mức lương và cuộc sống của người lao động, góp phần thúc đẩy các ngành kinh tế tại địa phương. Ngoài ra, năm 2022 Công ty còn hoàn thành và đưa vào sử dụng dự án tự động hóa điều khiển trạm điện 35/6 kV và các trạm điện 6/0,4 kV giúp giám sát toàn bộ hệ

thống lưới điện trung áp trong toàn Công ty, tạo điều kiện dễ dàng phân đoạn sự cố để nhanh chóng có biện pháp xử lý kịp thời không gây ách tắc sản xuất.

Trong giai đoạn năm 2023-2025, Công ty đã thực hiện hoàn thành đưa vào sử dụng giai đoạn 2 dự án tự động hoá điều khiển tập trung PX Tuyển than 2. Các lưu trình công nghệ sản xuất tại Phân xưởng Tuyển than 2 đã được hoàn thiện tự động hoá điều khiển tập trung góp phần ổn định sản xuất, tăng năng suất lao động và cải thiện điều kiện làm việc cho người lao động, giúp hoàn thành các chỉ tiêu SXKD của Công ty.

Thực hiện Nghị quyết của Đảng ủy TKV về việc thực hiện chuyển đổi số gắn với Nghị quyết lãnh đạo thực hiện nhiệm vụ chính trị, Công ty Tuyển than Cửa Ông đã huy động cả hệ thống chính trị cùng vào cuộc; nâng cao nhận thức của cán bộ, đảng viên, người lao động về sự cần thiết và tính cấp thiết của chuyển đổi số; chỉ đạo tái cấu trúc, đổi mới mô hình hoạt động, điều hành; ứng dụng các công nghệ mới vào trong SXKD, quản lý điều hành; đẩy mạnh hoàn thiện hạ tầng mạng, ứng dụng công nghệ thông tin vào hầu hết các lĩnh vực quản lý; tập trung cải tạo công nghệ, đầu tư nhiều thiết bị mới để tăng năng suất lao động, giảm thiểu thời gian, chi phí và rủi ro mất an toàn lao động...

Cơ sở hạ tầng hệ thống công nghệ thông tin tại Công ty cơ bản đáp ứng yêu cầu thực hiện công tác chuyển đổi số. Hệ thống mạng LAN tại Công ty đã được xây dựng lại, các phân xưởng đã được kết nối mạng LAN bằng đường cáp quang tốc độ cao và kết nối thẳng về máy chủ đặt tại văn phòng Công ty. Đối với đường truyền Internet, Công ty đã sử dụng song song 2 đường truyền Internet cáp quang tốc độ cao của 02 nhà mạng Viettel và VNPT để đảm bảo ổn định việc sử dụng Internet và hoạt động của các phần mềm trên máy chủ. Hệ thống máy chủ của Công ty hoạt động liên tục 24/24 giờ, là nơi lưu trữ cơ sở dữ liệu cho các phần mềm dùng chung như: Phần mềm công văn, kế toán, thống kê, vật tư, nhân sự, chấm công,... các máy chủ được cài đặt phần

mềm phòng chống virus và thực hiện sao lưu dữ liệu ra thiết bị lưu trữ ngoài định kỳ 2 lần/tuần.

Công ty đã chủ động xây dựng và áp dụng hiệu quả các phần mềm vào công tác quản lý, thực hiện hợp giao ban trực tuyến hàng ngày giữa lãnh đạo Công ty và các phòng ban phân xưởng. Trong năm 2022, Công ty áp dụng thành công chữ ký số cho phần mềm quản lý vật tư và phần mềm quản lý công văn. Trong đó, có các phần mềm quan trọng như: Phần mềm thống kê lưu chuyển dòng than. Phần mềm được thiết kế có các mô đun phù hợp với từng đơn vị, dữ liệu chỉ phải cập nhật 1 lần theo quá trình lưu chuyển dòng than. Số liệu các phân xưởng cập nhật là dữ liệu chung của Công ty, được lưu tại máy chủ. Phần mềm nhật lệnh sản xuất được đưa vào sử dụng đã thay thế hoàn toàn việc nhận lệnh sản xuất truyền thống bằng ghi chép sổ sách. Người lao động được nhận lệnh hoàn toàn trên phần mềm qua máy nhận diện hoặc bằng ứng dụng trên điện thoại thông minh. Bên cạnh đó, còn có phần mềm quản lý nhân sự tiền lương, phần mềm Quản lý TSCĐ...

Có thể khẳng định, chuyển đổi số thành công giúp Công ty giảm tối đa chi phí vận hành và nâng cao hiệu quả trong sản xuất kinh doanh. Để thực hiện công tác chuyển đổi số thành công trong thời gian tiếp theo, Phó Giám đốc Ngô Anh Linh cho biết: Tuyển than Cửa Ông tập trung đào tạo chuẩn bị tốt nguồn nhân lực đảm bảo thực hiện chuyển đổi số, xây dựng văn hóa số theo lộ trình của TKV; thống nhất và liên kết đồng bộ về cơ sở dữ liệu, lưu trữ dữ liệu, đồng bộ về các quy trình công nghệ, quy trình quản lý. Tích cực nghiên cứu, rà soát sửa đổi, ban hành mới và thực hiện các quy trình, quy định phù hợp với chuyển đổi số, từng bước xây dựng và triển khai dữ liệu lớn và tạo điều kiện để khuyến khích các đơn vị, cá nhân đẩy mạnh thực hiện chuyển đổi số. Thống nhất chuẩn hóa, đồng bộ các dữ liệu, quy trình hoạt động, từng bước xây dựng kho dữ liệu Công ty phục vụ cho tìm kiếm, tra cứu và phân tích dữ liệu lớn những năm tiếp theo.

Theo <https://vinacomin.vn>.

NÂNG CAO NHẬN THỨC VỀ VAI TRÒ CỦA “CUỘC CÁCH MẠNG KHOA HỌC - CÔNG NGHỆ VÀ CHUYỂN ĐỔI SỐ” TRONG SẢN XUẤT CỦA TKV

Sáng 06/8, Tập đoàn tổ chức Hội thảo “Đánh giá kết quả đổi mới và phát triển kỹ thuật công nghệ mỏ giai đoạn 2020-2025, định hướng phát triển giai đoạn 2026-2030 và các năm tiếp theo”.



Hội thảo “Đánh giá kết quả đổi mới và phát triển kỹ thuật công nghệ mỏ giai đoạn 2020–2025, định hướng phát triển giai đoạn 2026–2030 và các năm tiếp theo” là bước chuẩn bị quan trọng để TKV bước vào một giai đoạn phát triển mới



Hội nghị có sự tham gia của hơn 120 đại biểu

Tham dự hội thảo có đồng chí Vũ Anh Tuấn - Tổng Giám đốc Tập đoàn; các đồng chí Thành viên Hội đồng thành viên, các Phó Tổng Giám đốc, lãnh đạo các Ban chuyên môn Tập

đoàn; đại diện các đơn vị sản xuất than hầm lò, lộ thiên, sàng tuyển, chế biến than, xây lắp mỏ; các Tổng công ty, Viện nghiên cứu, đơn vị tư vấn, dịch vụ - thương mại trực thuộc TKV. Đặc biệt, hội thảo có sự tham dự của ông Hứa Chí Cương - Thành viên Hiệp hội thiết bị khai thác thành phố Lục Bản Thủy, Quý Châu, Trung Quốc và các lãnh đạo, chuyên gia đến từ Công ty TNHH Liên doanh Cơ điện Vạn Thái Long - Tập đoàn Vạn Thái, Trung Quốc.

Phát biểu khai mạc, Phó Tổng Giám đốc Tập đoàn Nguyễn Văn Tuấn nhấn mạnh, khoa học công nghệ là động lực then chốt để nâng cao năng suất, đảm bảo an toàn, giảm chi phí sản xuất và tăng tính bền vững trong khai thác, chế biến than.



Phó Tổng Giám đốc Tập đoàn Nguyễn Văn Tuấn nhân mạnh, khoa học công nghệ là động lực then chốt để nâng cao năng suất, đảm bảo an toàn, giảm chi phí sản xuất và tăng tính bền vững trong khai thác, chế biến than

Trong bối cảnh yêu cầu ngày càng cao về bảo vệ môi trường, chuyển đổi số và xu hướng phát triển bền vững, việc đánh giá kết quả triển khai khoa học công nghệ trong thời gian qua và định hướng cho thời gian tới trong Tập đoàn là rất cần thiết.



Tập đoàn đặt mục tiêu từng bước hiện đại hóa toàn diện khai thác hầm lò, lộ thiên, sàng tuyển và chế biến than; hướng đến mô thông minh, ít người, an toàn, phát thải thấp và hiệu quả cao

Thực tế cho thấy, trong 5 năm qua, TKV đã đạt nhiều thành quả nổi bật trong ứng dụng khoa học công nghệ: hoàn tất hợp nhất các mỏ lộ thiên lớn; mở rộng cơ giới hóa trong khai thác và đào lò với 13 dây chuyền cơ giới hóa đồng bộ; tăng cường áp dụng công nghệ sàng tuyển hiện đại và tự động hóa trong nhà máy; đầu tư hệ thống giám

sát từ xa, điều hành thông minh... Tỷ lệ than khai thác bằng cơ giới hóa tại hầm lò đã đạt khoảng 14% tổng sản lượng, tỷ lệ vận tải bằng băng tải cũng tăng lên đáng kể.



Hội thảo có sự tham dự của Hiệp hội thiết bị khai thác thành phố Lục Bản Thủy, Quý Châu, Trung Quốc và Công ty TNHH Liên doanh Cơ điện Vạn Thái Long - Tập đoàn Vạn Thái, Trung Quốc

Định hướng đến giai đoạn 2026-2030 và tầm nhìn đến 2050, TKV tiếp tục đẩy mạnh nghiên cứu, ứng dụng các công nghệ hiện đại như: trí tuệ nhân tạo (AI), mô hình mô số (Digital Twin), cảm biến điện tử... và tăng cường liên kết với các viện nghiên cứu, trường đại học trong và ngoài nước. Tập đoàn đặt mục tiêu từng bước hiện đại hóa toàn diện khai thác hầm lò, lộ thiên, sàng tuyển và chế biến than; hướng đến mô thông minh, ít người, an toàn, phát thải thấp và hiệu quả cao.

Phát biểu tại hội thảo, Thành viên Hội đồng thành viên Tập đoàn Vũ Thành Lâm ghi nhận và biểu dương tinh thần trách nhiệm, sự chuẩn bị công phu của các ban chuyên môn Tập đoàn, các đơn vị thành viên trong việc đánh giá kết quả, chia sẻ kinh nghiệm triển khai đổi mới, hiện đại hóa kỹ thuật công nghệ trong lĩnh vực khai thác, sàng tuyển, chế biến than. Đặc biệt là các thông tin về công nghệ, thiết bị, xu hướng phát triển sản xuất của hai đơn vị đối tác đến từ Trung Quốc. Đồng chí khẳng định, các ý kiến, tham luận tại hội thảo đã góp phần làm rõ bức tranh toàn cảnh về hiện trạng và tiềm năng phát triển khoa học

công nghệ, chuyển đổi số của Tập đoàn trong thời gian tới.



Thành viên HĐQT Tập đoàn Vũ Thành Lâm nhấn mạnh về việc cần tiếp tục nâng cao nhận thức về vai trò quyết định của khoa học công nghệ trong phát triển sản xuất, bảo vệ môi trường và đảm bảo an toàn lao động

Đồng chí nhấn mạnh: Trong giai đoạn 2020-2025, mặc dù gặp nhiều khó khăn, song toàn Tập đoàn đã kiên trì đẩy mạnh ứng dụng cơ giới hóa, tự động hóa, tin học hóa và bước đầu triển khai chuyển đổi số, tạo ra những thay đổi rõ rệt trong mô hình sản xuất và quản trị. Những kết quả đạt được là minh chứng cho tư duy đổi mới, dám nghĩ, dám làm và khát vọng phát triển của TKV.

Về định hướng thời gian tới, Thành viên Hội đồng thành viên Tập đoàn Vũ Thành Lâm nhấn mạnh cần tiếp tục nâng cao nhận thức về vai trò quan trọng của khoa học công nghệ, chuyển đổi số trong phát triển sản xuất, bảo vệ môi trường và đảm bảo an toàn lao động. Trong đó, định hướng sau 5 năm nữa, TKV sẽ dừng việc khai phá lò chợ bằng công nghệ khoan nổ mìn. Đồng thời, Tập đoàn cần tiếp tục thực hiện tổng kết, đánh giá hiệu quả áp dụng khoa học công nghệ giai đoạn 5 năm vừa qua, xây dựng định hướng kế hoạch cụ thể cho giai đoạn mới.

Phát biểu bế mạc hội thảo, Phó Tổng Giám đốc Tập đoàn Nguyễn Văn Tuấn cho biết: TKV sẽ tập trung vào 5 nhóm giải pháp trọng tâm: phát triển công nghệ phù hợp với điều kiện địa chất;

nâng cao chất lượng nguồn nhân lực kỹ thuật; tăng cường hợp tác với các viện, trường, chuyên gia trong và ngoài nước; thúc đẩy chuyển đổi số toàn diện và hoàn thiện cơ chế, chính sách khuyến khích đổi mới sáng tạo trong nội bộ; bám sát định hướng chiến lược, trong đó ưu tiên xây dựng lộ trình hiện đại hóa các mỏ theo hướng “mỏ thông minh, ít người, an toàn, thân thiện môi trường, hiệu quả cao”.



Các đại biểu đại diện các đơn vị trực thuộc TKV và các đơn vị đối tác Trung Quốc tham gia tham luận tại hội thảo

Hội thảo là bước chuẩn bị quan trọng để TKV bước vào một giai đoạn phát triển mới với tinh thần tiên phong, đổi mới, khẳng định vị thế là trụ cột đảm bảo an ninh năng lượng quốc gia. TKV sẽ nỗ lực hơn nữa, quyết liệt hơn nữa để biến “đổi mới công nghệ, chuyển đổi số” thành sức mạnh và động lực tăng trưởng bền vững.

Theo <https://vinacomin.vn>.

ĐẠI HỘI ĐOÀN THANH NIÊN CỘNG SẢN HỒ CHÍ MINH VIỆN CƠ KHÍ NĂNG LƯỢNG VÀ MỎ - VINACOMIN NHIỆM KỲ 2025 - 2030

Ngày 29/8/2025, Đoàn TNCS Hồ Chí Minh Viện Cơ khí Năng lượng và Mỏ - Vinacomin đã long trọng tổ chức Đại hội Đoàn TNCS Hồ Chí Minh nhiệm kỳ 2025 – 2030.



Quang cảnh Đại hội

Đến dự và chỉ đạo Đại hội có đồng chí Lê Anh Hoàng – Phó Bí thư Đoàn Thanh niên Tập đoàn Công nghiệp Than – Khoáng sản Việt Nam; đồng chí Hà Thế Hiến – Phó Bí thư Đảng ủy, Phó Viện trưởng; đồng chí Hà Thị Thúy Vân – Đảng ủy viên, Chủ tịch Công đoàn Viện; cùng toàn thể 30 đồng chí đoàn viên thanh niên của Viện.

Tại Đại hội, đồng chí Vũ Việt Anh – Bí thư Đoàn Thanh niên Viện đã trình bày Báo cáo tổng kết công tác Đoàn và phong trào thanh niên nhiệm kỳ 2022 – 2025, Báo cáo kiểm điểm của Ban Chấp hành, đồng thời đề ra phương hướng, mục tiêu và nhiệm vụ công tác Đoàn nhiệm kỳ 2025 – 2030.



Đ/c Vũ Việt Anh – Bí thư Đoàn Thanh niên Viện, trình bày Báo cáo tổng kết

Các báo cáo cho thấy, trong nhiệm kỳ vừa qua, Đoàn Thanh niên Viện đã hoàn thành tốt các nhiệm vụ được giao, tích cực tham gia và góp phần quan trọng vào việc thực hiện thắng lợi nhiệm vụ nghiên cứu khoa học, sản xuất – kinh doanh của Viện. Bên cạnh những kết quả

đạt được, Đại hội cũng thẳng thắn chỉ ra những tồn tại, hạn chế, rút ra bài học kinh nghiệm nhằm nâng cao chất lượng hoạt động trong nhiệm kỳ mới.



Đ/c Lê Anh Hoàng – Phó Bí thư Đoàn Thanh niên Tập đoàn, tặng hoa chúc mừng Ban Chấp hành Đoàn Viện nhiệm kỳ 2022 – 2025

Đại hội đã vinh dự được lắng nghe ý kiến phát biểu chỉ đạo của đồng chí Lê Anh Hoàng – Phó Bí thư Đoàn Thanh niên Tập đoàn, biểu dương những kết quả của Đoàn Thanh niên Viện, đồng thời định hướng các nội dung trọng tâm, giải pháp nâng cao hiệu quả phong trào thanh niên trong thời gian tới.



Đ/c Hà Thế Hiến – Phó Bí thư Đảng ủy, Phó Viện trưởng, tặng hoa chúc mừng Ban Chấp hành Đoàn Viện nhiệm kỳ 2022 – 2025

Bên cạnh đó, Đại hội cũng nhận được những ý kiến chỉ đạo sâu sắc của đồng chí Hà Thế Hiến – Phó Bí thư Đảng ủy, Phó Viện

trưởng và đồng chí Hà Thị Thúy Vân – Đảng ủy viên, Chủ tịch Công đoàn Viện, thể hiện sự quan tâm, tin tưởng và ghi nhận đối với vai trò, đóng góp của lực lượng đoàn viên thanh niên trong sự phát triển chung của Viện.

Với tinh thần đoàn kết, dân chủ, trách nhiệm, Đại hội đã tiến hành thảo luận sôi nổi, thể hiện tâm tư, nguyện vọng và quyết tâm của đoàn viên, thanh niên trong việc xây dựng tổ chức Đoàn ngày càng vững mạnh.

Đại hội đã bầu Ban Chấp hành Đoàn TNCS Hồ Chí Minh Viện nhiệm kỳ 2025 – 2030 gồm 5 đồng chí. Tại phiên họp thứ nhất của Ban Chấp hành khóa mới, với 100% số phiếu tín nhiệm, đồng chí Vũ Việt Anh được tái cử giữ chức Bí thư Đoàn TNCS Hồ Chí Minh Viện Cơ khí Năng lượng và Mỏ – Vinacomin nhiệm kỳ 2025 – 2030. Đại hội cũng bầu 01 đồng chí đại diện cho tuổi trẻ Viện tham dự Đại hội đại biểu Đoàn TNCS Hồ Chí Minh Tập đoàn Công nghiệp Than – Khoáng sản Việt Nam.



Ban Chấp hành Đoàn Thanh niên Viện nhiệm kỳ 2025 – 2030 ra mắt Đại hội

Đại hội Đoàn TNCS Hồ Chí Minh Viện Cơ khí Năng lượng và Mỏ – Vinacomin nhiệm kỳ 2025 – 2030 đã diễn ra thành công tốt đẹp, mở ra giai đoạn phát triển mới cho công tác Đoàn và phong trào thanh niên của Viện trong thời gian tới.

Ban Biên tập

NÂNG CAO HIỆU QUẢ HỆ THỐNG PHÁT ĐIỆN – CUNG CẤP HƠI THÔNG QUA CHUYỂN ĐỔI TUABIN NGỪNG TỰ THÀNH TUABIN ĐỐI ÁP TẠI NHÀ MÁY ALUMIN TÂN RAI

TS. Lê Thanh Bình, TS. Phạm Minh Phúc, KS. Lê Việt Hoàng

Viện Cơ khí Năng lượng và Mỏ - Vinacomin

Tóm tắt: Trong các nhà máy nhôm, hệ thống phát điện – cung cấp hơi theo mô hình sản xuất kết hợp điện – hơi (cogeneration) giữ vai trò then chốt đối với hiệu quả sử dụng năng lượng và chi phí vận hành. Đặc điểm nổi bật của dây chuyền sản xuất nhôm là nhu cầu hơi công nghệ lớn, ổn định và chi phối chế độ vận hành của toàn bộ hệ thống năng lượng. Trong điều kiện này, việc lựa chọn cấu hình tuabin hơi phù hợp có ý nghĩa quyết định đối với hiệu suất nhiệt tổng thể của hệ thống. Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu phương án chuyển đổi tuabin ngưng tụ thành tuabin đối áp trong hệ thống phát điện – cung cấp hơi tại Nhà máy Nhôm Tân Rai. Nội dung nghiên cứu tập trung phân tích hiện trạng vận hành của hệ thống, đánh giá các hạn chế của tuabin ngưng tụ khi làm việc trong điều kiện phụ tải hơi công nghệ lớn và ổn định, đồng thời đề xuất phương án chuyển đổi phù hợp với đặc điểm phụ tải thực tế của nhà máy. Kết quả phân tích cân bằng năng lượng cho thấy, sau khi chuyển đổi sang cấu hình tuabin đối áp, toàn bộ hơi thoát sau tuabin được tận dụng cho sản xuất, qua đó loại bỏ tổn thất nhiệt do quá trình ngưng tụ ở áp suất thấp. Với cùng mức nhu cầu hơi hạ áp khoảng 180 tấn/giờ, lưu lượng hơi cao áp và lượng nhiên liệu tiêu thụ cho lò hơi giảm đáng kể. Phân tích kinh tế cho thấy chi phí năng lượng của nhà máy giảm trung bình trên 18 tỷ đồng mỗi năm, trong khi thời gian thu hồi vốn của phương án chuyển đổi khoảng 7,86 năm. Các kết quả nghiên cứu khẳng định rằng phương án chuyển đổi tuabin ngưng tụ thành tuabin đối áp là giải pháp hợp lý về mặt kỹ thuật và kinh tế trong điều kiện phụ tải hiện tại, góp phần nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng và hiệu quả sản xuất – kinh doanh của nhà máy. Kết quả cũng cung cấp cơ sở khoa học và thực tiễn cho việc tối ưu hóa hệ thống phát điện – cung cấp hơi tại các cơ sở công nghiệp có đặc điểm phụ tải tương tự.

Từ khóa: *tuabin đối áp; tuabin ngưng tụ; nhôm; cogeneration; hiệu quả năng lượng; Nhà máy Nhôm Tân Rai.*

1. Mở đầu

Trong các cơ sở công nghiệp nặng, đặc biệt là các nhà máy nhôm, năng lượng dưới dạng điện và hơi nước giữ vai trò quyết định đối với toàn bộ quá trình sản xuất. Hơi nước được sử dụng rộng rãi trong các công đoạn gia nhiệt, bay hơi, xử lý công nghệ và vận chuyển vật liệu, trong khi điện năng phục vụ vận hành liên tục các thiết bị chính và phụ trợ. Do đó, hiệu quả của hệ thống phát điện – cung cấp hơi có ảnh hưởng trực tiếp đến mức tiêu hao nhiên liệu, chi phí vận hành và hiệu quả sản xuất – kinh doanh của nhà máy.

Mô hình sản xuất kết hợp điện – hơi (cogeneration) đã và đang được áp dụng rộng rãi trong các ngành công nghiệp có nhu cầu nhiệt

lớn, nhờ khả năng nâng cao hiệu suất sử dụng năng lượng tổng thể so với các hệ thống phát điện và cung cấp nhiệt độc lập. Tuy nhiên, hiệu quả của hệ thống cogeneration phụ thuộc rất lớn vào sự phù hợp giữa cấu hình thiết bị, đặc biệt là loại tuabin hơi, với đặc điểm phụ tải năng lượng thực tế của từng cơ sở sản xuất.

Tại Nhà máy Nhôm Tân Rai, hệ thống phát điện – cung cấp hơi được đầu tư nhằm đáp ứng đồng thời nhu cầu điện tự dùng và hơi hạ áp cho dây chuyền sản xuất nhôm. Trong giai đoạn đầu vận hành, cấu hình kết hợp tuabin ngưng tụ và tuabin đối áp cho phép hệ thống làm việc linh hoạt, đáp ứng các chế độ phụ tải khác nhau. Tuy nhiên, cùng với quá trình vận hành ổn định và tối

ưu hóa công nghệ, đặc điểm phụ tải năng lượng của nhà máy đã có sự thay đổi đáng kể so với giai đoạn thiết kế ban đầu, trong đó nhu cầu hơi công nghệ chiếm tỷ trọng lớn và có tính ổn định cao.

Trong điều kiện phụ tải nêu trên, việc duy trì tuabin ngưng tụ trong hệ thống cogeneration bộc lộ những hạn chế về hiệu quả sử dụng năng lượng. Bản chất của tuabin ngưng tụ là ưu tiên phát điện thông qua quá trình giãn nở sâu của hơi xuống áp suất rất thấp, kéo theo việc tồn tại tồn thất nhiệt đáng kể tại bình ngưng. Khi nhu cầu hơi công nghệ lớn và ổn định, phần năng lượng nhiệt này không được tận dụng cho sản xuất, làm giảm hiệu suất nhiệt tổng thể của hệ thống và gia tăng mức tiêu hao nhiên liệu cho lò hơi.

Xuất phát từ yêu cầu nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng và giảm chi phí vận hành, việc nghiên cứu các giải pháp cải tạo, tối ưu hóa cấu hình hệ thống phát điện – cung cấp hơi trở nên cần thiết. Trong đó, chuyển đổi tuabin ngưng tụ sang tuabin đối áp là một hướng tiếp cận phù hợp đối với các cơ sở công nghiệp có nhu cầu hơi công nghệ lớn và ổn định, cho phép tận dụng triệt để năng lượng của hơi nước cho sản xuất.

Trên cơ sở đó, bài báo này tập trung nghiên cứu phương án chuyển đổi tuabin ngưng tụ thành tuabin đối áp trong hệ thống phát điện – cung cấp hơi tại Nhà máy Alumin Tân Rai. Nội dung nghiên cứu bao gồm phân tích hiện trạng vận hành, đánh giá các hạn chế của cấu hình tuabin ngưng tụ trong điều kiện phụ tải thực tế, đề xuất phương án chuyển đổi và đánh giá hiệu quả thông qua phân tích cân bằng năng lượng và hiệu quả kinh tế. Các kết quả nghiên cứu nhằm làm rõ tính hợp lý và khả năng áp dụng của giải pháp trong điều kiện vận hành thực tế của nhà máy cũng như các cơ sở công nghiệp có đặc điểm phụ tải tương tự.

2. Hiện trạng hệ thống phát điện – cung cấp hơi tại Nhà máy Alumin Tân Rai

2.1. Cấu hình hệ thống phát điện – cung cấp hơi

Hệ thống phát điện – cung cấp hơi tại Nhà máy Alumin Tân Rai được bố trí theo mô hình sản xuất kết hợp điện – hơi, bao gồm hai tổ máy phát điện, mỗi tổ có công suất định mức 15 MW, vận hành song song với một tuabin đối áp và một tuabin ngưng tụ có trích hơi. Hơi cao áp từ các lò hơi được cấp cho các tổ máy tuabin với thông số điều chỉnh áp suất khoảng 4,9 MPa và nhiệt độ 435–442 °C.

Đối với tuabin đối áp, toàn bộ hơi sau tuabin được duy trì ở mức áp suất 0,7–0,8 MPa, nhiệt độ khoảng 235–240 °C, sau đó được đưa trực tiếp vào hệ thống hơi công nghệ phục vụ dây chuyền sản xuất alumin. Cấu hình này cho phép tận dụng toàn bộ năng lượng nhiệt của hơi thoát cho mục đích sản xuất.

Đối với tuabin ngưng tụ, hơi sau khi giãn nở qua các tầng cánh được trích một phần ở các cấp áp suất phù hợp để cấp cho sản xuất alumin và gia nhiệt tự dùng của tổ máy. Phần hơi còn lại tiếp tục giãn nở đến áp suất rất thấp và được dẫn vào bình ngưng, nơi hơi được ngưng tụ thành nước ngưng và tuần hoàn trở lại lò hơi.

Theo thiết kế ban đầu, hệ thống có khả năng phát điện tối đa 30 MW và cung cấp khoảng 220 tấn/giờ hơi hạ áp cho dây chuyền sản xuất alumin, tương ứng với lưu lượng hơi cao áp khoảng 300 tấn/giờ.

2.2. Đặc điểm phụ tải điện và phụ tải hơi trong điều kiện vận hành thực tế

Sau nhiều năm vận hành và từng bước tối ưu hóa dây chuyền công nghệ, đặc điểm phụ tải năng lượng của nhà máy đã có sự thay đổi đáng kể so với giai đoạn thiết kế ban đầu. Trong chế độ vận hành ổn định ở mức tải cao của toàn nhà máy:

- Nhu cầu điện tự dùng duy trì ở mức khoảng 22–23 MW, thấp hơn tổng công suất phát điện thiết kế của hai tổ máy;

- Nhu cầu hơi hạ áp cho sản xuất alumin dao động trong khoảng 182–184 tấn/giờ, thấp hơn so

với giá trị thiết kế nhưng có tính ổn định cao và ít biến động theo thời gian.

Đặc điểm này cho thấy phụ tải hơi công nghệ đóng vai trò chi phối chế độ vận hành của hệ thống phát điện – cung cấp hơi. Sản lượng điện phát ra từ các tổ máy chủ yếu phục vụ nhu cầu nội bộ của nhà máy, trong khi yêu cầu cấp hơi ổn định là yếu tố quyết định việc phân phối lưu lượng hơi giữa các tổ máy.

2.3. Chế độ vận hành của hệ thống theo cấu hình hiện hữu

Trong điều kiện phụ tải hiện nay, để đáp ứng đủ nhu cầu hơi cho dây chuyền alumin, hệ thống phải vận hành đồng thời cả tuabin đối áp và tuabin ngưng tụ. Một phần hơi hạ áp được cung cấp trực tiếp từ tuabin đối áp, phần còn lại được bổ sung thông qua trích hơi từ tuabin ngưng tụ.

Ở chế độ vận hành điển hình, lưu lượng hơi đi vào tuabin ngưng tụ vào khoảng 50–60 tấn/giờ. Trong số này, chỉ một phần được trích ra để cấp cho sản xuất và gia nhiệt tự dùng, còn lại khoảng 30–35 tấn/giờ tiếp tục giãn nở và bị ngưng tụ tại bình ngưng ở áp suất rất thấp. Phần năng lượng nhiệt tương ứng với lượng hơi này không được tận dụng cho sản xuất mà bị thải bỏ thông qua hệ thống làm mát của bình ngưng.

Mặc dù cấu hình hiện hữu bảo đảm tính linh hoạt và an toàn trong vận hành, song trong điều kiện phụ tải hơi công nghệ lớn và ổn định, tuabin ngưng tụ thường không làm việc ở chế độ tối ưu theo mục tiêu hiệu quả năng lượng tổng thể.

2.4. Nhận xét tổng hợp về hiện trạng

Từ các phân tích trên có thể nhận thấy rằng hệ thống phát điện – cung cấp hơi tại Nhà máy Alumin Tân Rai được thiết kế với mức độ linh hoạt cao, phù hợp với nhiều chế độ phụ tải khác nhau. Tuy nhiên, trong điều kiện vận hành hiện nay, khi nhu cầu hơi công nghệ lớn, ổn định và chi phối chế độ vận hành, sự tồn tại của tuabin ngưng tụ dẫn đến:

- Tổn thất nhiệt đáng kể do quá trình ngưng tụ hơi ở áp suất rất thấp;

- Hiệu suất nhiệt tổng thể của hệ thống cogeneration chưa được khai thác tối ưu;

- Nhu cầu tiêu thụ nhiên liệu cho lò hơi cao hơn so với cấu hình tận dụng triệt để hơi thoát.

Những đặc điểm nêu trên là cơ sở thực tiễn quan trọng cho việc đánh giá các hạn chế của tuabin ngưng tụ trong điều kiện vận hành hiện tại, nội dung sẽ được phân tích chi tiết trong phần sau của bài báo.

3. Đánh giá hạn chế của tuabin ngưng tụ trong điều kiện vận hành hiện tại

3.1. Đặc điểm làm việc của tuabin ngưng tụ trong hệ thống hiện hữu

Tuabin ngưng tụ được thiết kế với mục tiêu ưu tiên phát điện, thông qua việc cho phép hơi nước giãn nở sâu xuống áp suất rất thấp trước khi đi vào bình ngưng. Nhờ chênh lệch enthalpy lớn giữa hơi vào và hơi ra, tuabin ngưng tụ đạt hiệu suất phát điện riêng phần cao, phù hợp với các hệ thống phát điện thuần túy hoặc các nhà máy ưu tiên sản lượng điện.

Tuy nhiên, trong hệ thống cogeneration có nhu cầu hơi công nghệ lớn, tuabin ngưng tụ thường phải làm việc ở chế độ trích hơi. Khi đó, một phần hơi được lấy ra ở các cấp áp suất trung gian để cấp cho sản xuất, phần hơi còn lại tiếp tục giãn nở và bị ngưng tụ ở áp suất thấp trong bình ngưng. Bản chất của chế độ làm việc này dẫn đến sự tách rời tương đối giữa mục tiêu phát điện và mục tiêu tận dụng nhiệt.

3.2. Tổn thất nhiệt do ngưng tụ hơi ở áp suất thấp

Trong điều kiện vận hành hiện tại, khi nhu cầu hơi hạ áp cho sản xuất alumin lớn và ổn định, lượng hơi không được trích ra từ tuabin ngưng tụ vẫn chiếm tỷ lệ đáng kể. Phần hơi này tiếp tục giãn nở xuống áp suất rất thấp và bị ngưng tụ hoàn toàn trong bình ngưng, khiến năng lượng nhiệt tương ứng không được tận dụng cho sản xuất.

Về mặt nhiệt động, nhiệt lượng thải bỏ tại bình ngưng chính là phần enthalpy của hơi thoát

không được chuyển hóa thành điện năng hoặc nhiệt hữu ích. Đối với hệ thống cogeneration, đây được xem là tổn thất năng lượng có giá trị cao, bởi để bù đắp lượng nhiệt bị mất này, lò hơi phải tiêu thụ thêm nhiên liệu nhằm duy trì lưu lượng và thông số hơi cấp cho sản xuất.

Trong bối cảnh giá nhiên liệu có xu hướng tăng, tổn thất nhiệt tại bình ngưng trở thành yếu tố làm suy giảm đáng kể hiệu suất nhiệt tổng thể của hệ thống phát điện – cung cấp hơi.

3.3. Sự không phù hợp giữa tuabin ngưng tụ và đặc điểm phụ tải hiện nay

Như đã phân tích ở mục 2, phụ tải năng lượng hiện tại mang tính phụ tải hơi chi phối, trong đó nhu cầu hơi công nghệ lớn và có tính ổn định cao theo thời gian, trong khi nhu cầu điện tự dùng không còn ở mức thiết kế ban đầu. Trong điều kiện này, ưu thế về hiệu suất phát điện riêng phần của tuabin ngưng tụ không còn đóng vai trò quyết định.

Ngược lại, việc duy trì quá trình ngưng tụ ở áp suất thấp làm phát sinh tổn thất nhiệt lớn, trong khi lợi ích thu được từ việc phát thêm điện không đủ bù đắp chi phí nhiên liệu và chi phí vận hành bổ sung. Điều này cho thấy tuabin ngưng tụ không còn phù hợp với mục tiêu tối ưu hóa hiệu suất năng lượng tổng thể của hệ thống trong điều kiện phụ tải hiện tại.

3.4. Hạn chế về vận hành và chi phí phụ trợ

Bên cạnh tổn thất năng lượng, tuabin ngưng tụ còn đòi hỏi hệ thống phụ trợ phức tạp, bao gồm bình ngưng, hệ thống tạo chân không, hệ thống làm mát và các bơm nước ngưng. Các hệ thống này:

- Tiêu thụ điện năng phụ trợ không nhỏ;
- Làm tăng chi phí bảo trì, sửa chữa;
- Phụ thuộc nhiều vào điều kiện môi trường và nguồn nước làm mát.

Trong khi đó, khi nhu cầu điện không còn là yếu tố chi phối, các chi phí phụ trợ này làm giảm hiệu quả kinh tế tổng thể của tổ máy tuabin ngưng tụ.

3.5. Nhận xét tổng hợp

Từ các phân tích trên có thể khẳng định rằng, trong điều kiện vận hành hiện tại của hệ thống phát điện – cung cấp hơi, tuabin ngưng tụ bộc lộ những hạn chế cơ bản về mặt hiệu quả năng lượng và kinh tế. Các hạn chế này không xuất phát từ chất lượng hay tình trạng thiết bị, mà từ sự không phù hợp giữa nguyên lý làm việc của tuabin ngưng tụ với đặc điểm phụ tải hơi công nghệ lớn và ổn định.

Những đánh giá nêu trên là cơ sở khoa học và thực tiễn để đề xuất phương án chuyển đổi tuabin ngưng tụ thành tuabin đối áp nhằm nâng cao hiệu suất nhiệt tổng thể của hệ thống, nội dung sẽ được trình bày trong Phần 4 của bài báo.

4. Phương án chuyển đổi tuabin ngưng tụ thành tuabin đối áp

4.1. Mục tiêu và nguyên tắc đề xuất phương án

Phương án chuyển đổi được đề xuất nhằm khắc phục các hạn chế của tuabin ngưng tụ trong điều kiện vận hành hiện tại, đồng thời phù hợp với đặc điểm phụ tải năng lượng của hệ thống phát điện – cung cấp hơi tại Nhà máy Alumin Tân Rai. Mục tiêu chính của phương án là nâng cao hiệu suất nhiệt tổng thể của hệ thống cogeneration thông qua việc tận dụng triệt để năng lượng của hơi nước cho sản xuất alumin, thay vì tiếp tục thải bỏ nhiệt tại bình ngưng.

Định hướng xây dựng phương án tập trung vào việc chuyển đổi chức năng của tổ máy tuabin từ ưu tiên phát điện sang kết hợp phát điện – cung cấp hơi, trong đó phụ tải hơi công nghệ đóng vai trò chi phối chế độ vận hành của hệ thống.

4.2. Nội dung phương án chuyển đổi

Theo phương án đề xuất, tuabin ngưng tụ hiện hữu được thay thế bằng tuabin đối áp công suất 15 MW, có thông số phù hợp với hệ thống lò hơi và mạng hơi công nghệ hiện tại của nhà máy. Tuabin đối áp được lựa chọn với các thông số đặc trưng:

- Áp suất hơi vào khoảng 4,8–4,9 MPa;
- Nhiệt độ hơi vào khoảng 440–445 °C;

- Lưu lượng hơi vào danh định khoảng 145–150 tấn/giờ;

- Áp suất hơi thoát (đối áp) khoảng 0,7–0,8 MPa, đáp ứng yêu cầu hơi hạ áp cho dây chuyền sản xuất alumin.

Toàn bộ hơi thoát sau tuabin được đưa trực tiếp vào hệ thống hơi công nghệ, không còn quá trình giãn nở sâu và ngưng tụ ở áp suất thấp như trong cấu hình tuabin ngưng tụ.

4.3. Cải tạo và tận dụng thiết bị trong hệ thống

Trong quá trình chuyển đổi, các hạng mục chính được xử lý theo định hướng tối ưu đầu tư:

- Hệ thống bình ngưng và các thiết bị phụ trợ liên quan (tạo chân không, làm mát, bơm nước ngưng) được loại bỏ do không còn chức năng trong cấu hình tuabin đối áp;

- Máy phát điện và một số hệ thống phụ trợ (bộ máy, hệ thống dầu bôi trơn, dầu điều khiển) được tận dụng lại trong phạm vi đáp ứng yêu cầu kỹ thuật, sau khi hiệu chỉnh phù hợp với tuabin mới;

- Hệ thống đường ống hơi được cải tạo để đưa hơi thoát sau tuabin đối áp đầu nối trực tiếp với mạng hơi công nghệ hiện hữu;

- Hệ thống điều khiển và bảo vệ được cập nhật nhằm phù hợp với chế độ vận hành của tuabin đối áp, trong đó công suất phát điện phụ thuộc trực tiếp vào nhu cầu hơi công nghệ.

Cách tiếp cận này cho phép đơn giản hóa cấu hình hệ thống, giảm số lượng thiết bị phụ trợ và hạn chế đầu tư mới không cần thiết.

4.4. Nguyên lý vận hành của hệ thống sau chuyển đổi

Sau khi chuyển đổi, hệ thống phát điện – cung cấp hơi vận hành theo nguyên lý tuabin đối áp, trong đó:

- Hơi cao áp từ lò hơi được sử dụng để phát điện tại tuabin;

- Hơi thoát sau tuabin ở áp suất đối áp được tận dụng hoàn toàn cho sản xuất alumin;

- Công suất phát điện của tổ máy được xác định bởi lưu lượng và thông số hơi cấp cho phụ

tải công nghệ.

Với nguyên lý này, hệ thống không còn tồn thất nhiệt do ngưng tụ ở áp suất thấp, đồng thời phù hợp với đặc điểm phụ tải hơi lớn và ổn định của nhà máy.

4.5. Nhận xét tổng hợp về phương án chuyển đổi

Phương án chuyển đổi tuabin ngưng tụ thành tuabin đối áp là giải pháp phù hợp về mặt kỹ thuật trong điều kiện vận hành hiện tại của hệ thống. Việc loại bỏ quá trình ngưng tụ giúp tận dụng triệt để năng lượng của hơi nước, đồng thời đơn giản hóa cấu hình và giảm chi phí vận hành phụ trợ.

Phương án này tạo cơ sở kỹ thuật trực tiếp cho việc phân tích cân bằng năng lượng và đánh giá hiệu quả kinh tế của hệ thống sau chuyển đổi, được trình bày trong phần sau của bài báo.

5. Phân tích cân bằng năng lượng và hiệu quả kinh tế

5.1. Cơ sở và phương pháp phân tích

Phân tích hiệu quả của phương án chuyển đổi được thực hiện trên cơ sở so sánh trước và sau chuyển đổi trong cùng điều kiện phụ tải hơi công nghệ và điện tự dùng tại Nhà máy Alumin Tân Rai. Phương pháp đánh giá tập trung vào cân bằng năng lượng của hệ thống phát điện – cung cấp hơi và các chỉ tiêu kinh tế liên quan, bao gồm tiêu hao nhiên liệu cho lò hơi, chi phí năng lượng và thời gian thu hồi vốn.

Các chỉ tiêu được xem xét trên cùng mức nhu cầu hơi hạ áp cho sản xuất alumin khoảng 180 tấn/giờ, phản ánh chế độ vận hành ổn định và điển hình của nhà máy.

5.2. Cân bằng năng lượng của hệ thống trước chuyển đổi

Trong cấu hình hiện hữu, hệ thống phát điện – cung cấp hơi vận hành với sự kết hợp giữa một tuabin đối áp và một tuabin ngưng tụ có trích hơi. Để đáp ứng nhu cầu hơi công nghệ, một phần hơi được cấp trực tiếp từ tuabin đối áp, phần còn lại phải được trích từ tuabin ngưng tụ.

Ở chế độ vận hành đại diện, lưu lượng hơi cao áp cấp cho tuabin ngưng tụ vào khoảng 50–60 tấn/giờ, trong đó chỉ một phần được trích cho sản xuất và gia nhiệt tự dùng. Phần hơi còn lại, khoảng 30–35 tấn/giờ, tiếp tục giãn nở xuống áp suất rất thấp và bị ngưng tụ tại bình ngưng. Năng lượng nhiệt tương ứng với lượng hơi này không được tận dụng cho sản xuất mà bị thải bỏ ra môi trường thông qua hệ thống làm mát.

Do tồn tại tổn thất nhiệt tại bình ngưng, để duy trì đủ lượng hơi hạ áp cho sản xuất alumin, hệ thống lò hơi phải vận hành với lưu lượng hơi cao áp và mức tiêu hao nhiên liệu lớn hơn so với cấu hình tận dụng toàn bộ hơi thoát. Điều này làm giảm hiệu suất nhiệt tổng thể của hệ thống cogeneration.

5.3. Cân bằng năng lượng của hệ thống sau chuyển đổi

Sau khi chuyển đổi sang cấu hình tuabin đối áp, toàn bộ hơi thoát sau tuabin được sử dụng trực tiếp cho sản xuất alumin, không còn quá trình giãn nở sâu và ngưng tụ ở áp suất thấp. Với cùng mức nhu cầu hơi hạ áp khoảng 179–180 tấn/giờ, lưu lượng hơi cao áp cần thiết giảm đáng kể so với cấu hình trước chuyển đổi.

Kết quả so sánh cân bằng năng lượng cho thấy:

- Tổn thất nhiệt tại bình ngưng được loại bỏ hoàn toàn;
- Lưu lượng hơi cao áp cấp cho hệ thống giảm, kéo theo giảm tiêu hao nhiên liệu cho lò hơi;
- Sản lượng điện phát ra của tổ máy chuyển đổi giảm so với tuabin ngưng tụ, nhưng mức giảm này phù hợp với nhu cầu điện tự dùng thực tế của nhà máy.

Về tổng thể, mặc dù công suất phát điện giảm, hiệu suất sử dụng năng lượng tổng hợp (điện + nhiệt hữu ích) của hệ thống tăng lên rõ rệt.

5.4. Đánh giá hiệu quả kinh tế

Trên cơ sở kết quả cân bằng năng lượng,

hiệu quả kinh tế của phương án chuyển đổi được đánh giá thông qua so sánh chi phí năng lượng trước và sau chuyển đổi. Kết quả cho thấy:

- Tiêu hao nhiên liệu cho lò hơi giảm đáng kể, nhờ giảm lưu lượng hơi cao áp cần thiết;
- Chi phí vận hành và bảo trì giảm do loại bỏ hệ thống bình ngưng và các thiết bị phụ trợ liên quan;
- Điện năng phụ trợ cho hệ thống làm mát và tạo chân không không còn phát sinh.

Tổng hợp các yếu tố trên, chi phí than và điện của nhà máy giảm trung bình trên 18 tỷ đồng mỗi năm trong điều kiện vận hành ổn định. Với tổng mức đầu tư của phương án chuyển đổi, thời gian thu hồi vốn ước tính khoảng 7,86 năm, phù hợp với các dự án cải tạo, nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng trong công nghiệp nặng.

5.5. Nhận xét tổng hợp

Kết quả phân tích cho thấy hiệu quả của phương án chuyển đổi không đến từ việc gia tăng sản lượng điện, mà chủ yếu từ việc loại bỏ tổn thất nhiệt do ngưng tụ và nâng cao hiệu suất nhiệt tổng thể của hệ thống. Trong điều kiện phụ tải hơi công nghệ lớn và ổn định, lợi ích kinh tế thu được từ tiết kiệm nhiên liệu và chi phí vận hành vượt trội so với phân điện năng giảm đi.

Những kết quả này là cơ sở định lượng quan trọng để thảo luận sâu hơn về ý nghĩa kỹ thuật và khả năng áp dụng của giải pháp, được trình bày trong Phần 6 của bài báo.

6. Thảo luận

6.1. Ý nghĩa kỹ thuật của kết quả phân tích

Kết quả phân tích cân bằng năng lượng và hiệu quả kinh tế cho thấy phương án chuyển đổi tuabin ngưng tụ thành tuabin đối áp đã giải quyết trực tiếp điểm không phù hợp cơ bản của hệ thống hiện hữu, đó là sự tồn tại tổn thất nhiệt lớn do quá trình ngưng tụ hơi ở áp suất thấp. Trong điều kiện phụ tải hơi công nghệ lớn và ổn định, việc tận dụng toàn bộ hơi thoát sau tuabin cho sản xuất mang lại hiệu quả cao hơn so với việc tối đa hóa sản lượng điện.

Về bản chất nhiệt động, hiệu quả đạt được không đến từ việc nâng cao hiệu suất phát điện riêng phần của tuabin, mà từ sự cải thiện hiệu suất nhiệt tổng thể của hệ thống cogeneration. Điều này khẳng định tầm quan trọng của việc lựa chọn cấu hình tuabin dựa trên đặc điểm phụ tải năng lượng thực tế thay vì chỉ dựa trên mục tiêu phát điện.

6.2. Đánh đổi giữa phát điện và tận dụng nhiệt

Một trong những điểm cốt lõi của giải pháp chuyển đổi là sự đánh đổi giữa sản lượng điện và mức độ tận dụng nhiệt của hơi nước. Sau chuyển đổi, công suất phát điện của tổ máy giảm so với cấu hình tuabin ngưng tụ; tuy nhiên, mức giảm này nằm trong giới hạn chấp nhận được và phù hợp với nhu cầu điện tự dùng của nhà máy.

Ngược lại, việc loại bỏ tổn thất nhiệt tại bình ngưng giúp giảm đáng kể tiêu hao nhiên liệu cho lò hơi, mang lại lợi ích kinh tế tổng thể lớn hơn so với phần điện năng bị giảm. Kết quả này cho thấy, đối với các hệ thống cogeneration công nghiệp, tối ưu hóa hiệu quả năng lượng tổng hợp cần được ưu tiên hơn so với tối đa hóa sản lượng điện.

6.3. Tác động đến vận hành và bảo trì hệ thống

Ngoài lợi ích về năng lượng và kinh tế, phương án chuyển đổi còn mang lại các tác động tích cực đối với công tác vận hành và bảo trì. Việc loại bỏ hệ thống bình ngưng, tạo chân không và làm mát giúp đơn giản hóa cấu hình hệ thống, giảm số lượng thiết bị phụ trợ và các hạng mục cần bảo dưỡng định kỳ.

Cấu hình tuabin đối áp cũng làm giảm sự phụ thuộc vào nguồn nước làm mát và điều kiện môi trường, từ đó nâng cao độ tin cậy và tính ổn định của hệ thống phát điện – cung cấp hơi trong điều kiện vận hành liên tục của nhà máy nhôm.

6.4. Khả năng áp dụng và giới hạn của giải pháp

Từ kết quả nghiên cứu, có thể thấy giải pháp chuyển đổi tuabin ngưng tụ sang tuabin đối áp đặc biệt phù hợp với các cơ sở công nghiệp có

nhu cầu hơi công nghệ lớn, ổn định và chi phối chế độ vận hành, như các nhà máy nhôm, hóa chất, giấy và chế biến thực phẩm.

Tuy nhiên, giải pháp này không phù hợp với các hệ thống ưu tiên phát điện thuần túy hoặc có phụ tải điện biến động mạnh, độc lập với nhu cầu hơi. Trong các trường hợp đó, tuabin ngưng tụ hoặc các cấu hình kết hợp khác vẫn có thể mang lại hiệu quả cao hơn. Do đó, trước khi áp dụng cho các cơ sở khác, cần đánh giá kỹ đặc điểm phụ tải năng lượng và mục tiêu vận hành của từng hệ thống cụ thể.

6.5. Nhận xét tổng hợp

Các nội dung thảo luận cho thấy hiệu quả của phương án chuyển đổi không chỉ được chứng minh bằng các chỉ tiêu định lượng, mà còn thể hiện ở sự phù hợp về mặt kỹ thuật và vận hành với điều kiện thực tế của hệ thống. Việc chuyển đổi tuabin ngưng tụ thành tuabin đối áp vì vậy có thể được xem là một hướng tiếp cận hợp lý trong quá trình tối ưu hóa hệ thống cogeneration công nghiệp dựa trên đặc điểm phụ tải năng lượng thực tế.

7. Kết luận

Nghiên cứu đã phân tích và đánh giá phương án chuyển đổi tuabin ngưng tụ thành tuabin đối áp trong hệ thống phát điện – cung cấp hơi tại Nhà máy Nhôm Tân Rai trên cơ sở đặc điểm phụ tải năng lượng và điều kiện vận hành thực tế của nhà máy. Kết quả cho thấy, trong bối cảnh nhu cầu hơi công nghệ lớn và ổn định, cấu hình tuabin ngưng tụ không còn phù hợp về mặt hiệu quả năng lượng do tồn tại tổn thất nhiệt đáng kể tại bình ngưng.

Việc chuyển đổi sang cấu hình tuabin đối áp cho phép tận dụng triệt để năng lượng của hơi nước cho sản xuất nhôm, loại bỏ quá trình ngưng tụ ở áp suất thấp và nâng cao hiệu suất nhiệt tổng thể của hệ thống cogeneration. Hiệu quả đạt được chủ yếu đến từ việc giảm tiêu hao nhiên liệu và chi phí vận hành, trong khi vẫn bảo đảm đáp ứng đầy đủ nhu cầu điện tự dùng và hơi

công nghệ của nhà máy.

Các kết quả phân tích khẳng định rằng phương án chuyển đổi là giải pháp hợp lý và khả thi về mặt kỹ thuật – kinh tế trong điều kiện vận hành hiện nay. Nghiên cứu đồng thời cho thấy tầm quan trọng của việc lựa chọn cấu hình tuabin dựa trên đặc điểm phụ tải năng lượng thực tế, thay vì chỉ ưu tiên mục tiêu phát điện.

Kết quả của bài báo có thể được sử dụng làm cơ sở tham khảo cho việc tối ưu hóa hệ thống phát điện – cung cấp hơi tại các cơ sở công nghiệp có đặc điểm phụ tải tương tự, góp phần nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng và hiệu quả sản xuất – kinh doanh trong công nghiệp nặng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. **Lê Thanh Bình, Phạm Minh Phúc, Lê Việt Hoàng.** Cơ sở khoa học và hiệu quả năng lượng của tuabin đối áp trong hệ thống sản xuất kết hợp điện – hơi. *Bản tin Khoa học Cơ khí Năng lượng – Mỏ*, Số 2/2025 (Số 49), Tr. 41-48.
2. **Công ty Nhôm Lâm Đồng – TKV.** Số liệu vận hành hệ thống phát điện – cung cấp hơi Nhà máy Alumin Tân Rai giai đoạn 2023–2025 (Tài liệu nội bộ).
3. **China Aluminum International Engineering Corporation Limited.** Lam Dong Bauxite-Aluminum Complex Project. Technical Design. Volume 4 Heat And Power Plant & Coal Gas Station (Final edition). Project No: CAS0826JS4(F). *Beijing, China, July, 2010*.
4. **Boyce M.P.** Steam Turbines: Design, Applications, and Re-Rating. *3rd Edition, Elsevier, Oxford, 2015*.
5. **Horlock J.H.** Cogeneration – Combined Heat and Power (CHP): Thermodynamics and Economics. *Krieger Publishing Company, Malabar, 1997*.
6. **Kehlhofer R., Rukes B., Hannemann F., Stirnimann F.** Combined-Cycle Gas & Steam Turbine Power Plants. *3rd Edition, PennWell Books, Tulsa, 2009*.

ẢNH HƯỞNG CỦA THỜI GIAN VÀ ĐẬP ĐẾN HIỆU QUẢ PHÁ HỦY ĐÁ VÀ BIẾN DẠNG ĐEO CỦA KIM LOẠI

GS.TS. Bolobov V.I, NCS. Plashinsky V.A. - Trường Đại học Mỏ Xanh Petecbua (CHLB Nga)

TS. Lê Thanh Bình - Viện Cơ khí Năng lượng và Mỏ - Vinacomin.

Tóm tắt: Trong các quá trình khai thác mỏ và gia công kim loại, phá huỷ vật liệu bằng tải trọng va đập là phương pháp phổ biến, song hiệu quả của quá trình này không chỉ phụ thuộc vào năng lượng va đập mà còn chịu ảnh hưởng đáng kể của thời gian tác dụng xung lực. Bài báo nghiên cứu ảnh hưởng của thời gian va đập đến hiệu quả phá huỷ đá giòn và biến dạng dẻo kim loại thông qua việc sử dụng búa va đập kết cấu tổ hợp nhằm kéo dài thời gian tác dụng lực so với búa liên khối có cùng khối lượng và năng lượng. Các thí nghiệm được tiến hành trên mẫu đá sa thạch, hợp kim nhôm và đồng kỹ thuật. Hiệu quả va đập được đánh giá thông qua độ sâu xâm nhập của đầu va đập, năng lượng tối thiểu gây phá huỷ, khối lượng kim loại biến dạng dẻo và hệ số hiệu suất va đập. Kết quả cho thấy búa va đập kết cấu tổ hợp tạo ra hai xung va đập liên tiếp, làm tăng tổng thời gian va đập khoảng 1,35 lần. Nhờ đó, độ sâu xâm nhập tăng 7–13%, hiệu suất va đập tăng đến 36% đối với đá và 25–30% đối với kim loại, đồng thời năng lượng cần thiết để làm nứt vỡ đá giảm khoảng 9–10%.

Kết quả nghiên cứu khẳng định rằng, khi lực va đập đủ lớn để hình thành vết nứt, việc kéo dài thời gian va đập góp phần nâng cao hiệu quả phá huỷ đá và tăng mức độ biến dạng dẻo kim loại, qua đó mở ra hướng cải tiến thiết kế các thiết bị va đập trong công nghiệp khai thác mỏ và cơ khí.

Từ khóa: thời gian va đập; búa va đập kết cấu tổ hợp; phá huỷ đá; biến dạng dẻo kim loại; hiệu suất va đập.

1. Mở đầu

Trong các lĩnh vực khai thác mỏ, xây dựng công trình ngầm và gia công cơ khí, quá trình phá huỷ đá và biến dạng kim loại bằng tải trọng va đập được sử dụng rộng rãi nhờ khả năng tạo lực lớn trong thời gian ngắn, cho phép phá huỷ vật liệu có độ bền cao. Hiệu quả của quá trình va đập thường được đánh giá thông qua mức độ phá huỷ vật liệu, năng lượng tiêu hao và tuổi thọ của thiết bị.

Các nghiên cứu trước đây cho thấy hiệu quả phá huỷ phụ thuộc vào nhiều yếu tố như năng lượng va đập, vận tốc va chạm, khối lượng và hình dạng của búa va đập, cũng như đặc tính cơ học của vật liệu chịu tác động. Phần lớn các công trình tập trung phân tích ảnh hưởng của năng lượng va đập và tốc độ biến dạng đến quá trình hình thành và phát triển vết nứt trong đá hoặc đến cường độ biến dạng dẻo của kim loại. Tuy nhiên, ảnh hưởng của thời gian tác dụng xung lực va đập

đến hiệu quả phá huỷ vật liệu vẫn chưa được nghiên cứu đầy đủ và có hệ thống.

Về mặt cơ học phá huỷ, để đá giòn bị phá huỷ không chỉ cần lực va đập vượt quá ngưỡng hình thành vết nứt mà còn phải duy trì lực này trong một khoảng thời gian đủ dài để các vết nứt phát triển và lan truyền đến bề mặt tự do. Đối với kim loại, kéo dài thời gian va đập có thể làm giảm tốc độ biến dạng tức thời, tạo điều kiện cho vùng biến dạng dẻo phát triển rộng hơn, qua đó tăng phần năng lượng được sử dụng cho biến dạng dẻo thay vì tổn thất đàn hồi.

Một trong những hướng tiếp cận kỹ thuật nhằm tăng thời gian va đập mà không cần tăng năng lượng là sử dụng búa va đập có kết cấu tổ hợp, trong đó xung va đập tổng hợp được hình thành từ nhiều xung thành phần kế tiếp nhau. Giải pháp này cho phép giảm lực cực đại tác dụng lên thiết bị, đồng thời kéo dài thời gian tương tác giữa búa và vật liệu.

Xuất phát từ những vấn đề trên, bài báo này tập trung nghiên cứu ảnh hưởng của thời gian va đập đến hiệu quả phá huỷ đá và biến dạng dẻo kim loại thông qua so sánh kết quả thí nghiệm giữa búa va đập kết cấu liên khối và búa va đập kết cấu tổ hợp. Kết quả nghiên cứu nhằm làm rõ vai trò của thời gian va đập và đề xuất cơ sở khoa học cho việc cải tiến thiết kế các thiết bị va đập trong công nghiệp khai thác mỏ và cơ khí.

2. Cơ sở lý thuyết

Quá trình phá huỷ vật liệu bằng tải trọng va đập là sự tương tác phức tạp giữa búa va đập và vật liệu chịu tác động, trong đó năng lượng va đập được phân bố cho các quá trình đàn hồi, hình thành và phát triển vết nứt (đối với đá), cũng như cho biến dạng dẻo (đối với kim loại). Hiệu quả của va đập phụ thuộc không chỉ vào năng lượng mà còn vào dạng và thời gian tác dụng của xung lực.

Theo lý thuyết va đập cổ điển của Sokolinsky, trong hệ va đập hai phần tử gồm búa và vật liệu, các đại lượng đặc trưng của quá trình va đập có thể được mô tả thông qua độ cứng tiếp xúc của hệ, khối lượng búa và phần năng lượng thực sự tham gia vào quá trình phá huỷ hoặc biến dạng vật liệu. Độ sâu xâm nhập cực đại của đầu va đập, lực va đập cực đại và thời gian tác dụng lực có mối quan hệ chặt chẽ với nhau và với năng lượng va đập.

Đối với vật liệu đá giòn, để xảy ra quá trình phá huỷ hiệu quả, lực va đập tại vùng tiếp xúc phải vượt quá giá trị tới hạn cần thiết để hình thành vết nứt. Tuy nhiên, việc hình thành vết nứt chưa đủ để gây phá huỷ hoàn toàn mẫu đá. Lực va đập cần được duy trì trong một khoảng thời gian đủ dài để các vết nứt phát triển và lan truyền đến các bề mặt tự do của vật liệu. Do đó, thời gian tác dụng lực va đập đóng vai trò quyết định đối với khả năng phá huỷ thể tích của đá.

Trong trường hợp kim loại dẻo, khi chịu tải trọng va đập, vật liệu trải qua giai đoạn biến dạng đàn hồi ngắn, sau đó chuyển sang biến dạng dẻo

cục bộ. Thời gian va đập càng lớn thì tốc độ biến dạng trung bình càng giảm, làm giảm ứng suất cần biến dạng và cho phép vùng biến dạng dẻo mở rộng. Điều này dẫn đến việc gia tăng khối lượng kim loại tham gia biến dạng dẻo và tăng tỷ lệ năng lượng va đập được sử dụng cho quá trình biến dạng dẻo, tức là làm tăng hiệu suất va đập.

Một trong những phương pháp kỹ thuật nhằm kéo dài thời gian va đập là sử dụng búa va đập có kết cấu tổ hợp. Trong loại kết cấu này, xung va đập tổng hợp được hình thành từ nhiều xung thành phần xuất hiện kế tiếp nhau trong thời gian ngắn. So với búa liên khối có cùng khối lượng và năng lượng, búa kết cấu tổ hợp tạo ra thời gian tác dụng lực dài hơn, trong khi lực cực đại của từng xung riêng lẻ có thể nhỏ hơn nhưng vẫn đủ để kích hoạt quá trình phá huỷ hoặc biến dạng vật liệu.

Từ các phân tích lý thuyết trên có thể thấy rằng, khi bảo đảm lực va đập vượt ngưỡng cần thiết để hình thành vết nứt hoặc khởi phát biến dạng dẻo, việc kéo dài thời gian va đập là một hướng tiếp cận hiệu quả để nâng cao mức độ phá huỷ đá và biến dạng kim loại, đồng thời cải thiện hiệu suất sử dụng năng lượng va đập.

3. Phương pháp nghiên cứu

3.1. Đối tượng và vật liệu thí nghiệm

Đối tượng nghiên cứu trong thí nghiệm bao gồm quá trình phá huỷ đá giòn và biến dạng dẻo kim loại dưới tác dụng của tải trọng va đập. Vật liệu thí nghiệm là các mẫu dạng tấm, gồm: đá sa thạch có cường độ nén một trục trong khoảng 82–112 MPa; hợp kim nhôm có độ cứng khoảng 27 HB; và đồng kỹ thuật có độ cứng khoảng 40 HB.

Các mẫu đá và kim loại được gia công với kích thước tiêu chuẩn, bề mặt phẳng, nhằm bảo đảm điều kiện tiếp xúc ổn định giữa đầu va đập và vật liệu trong suốt quá trình thí nghiệm.

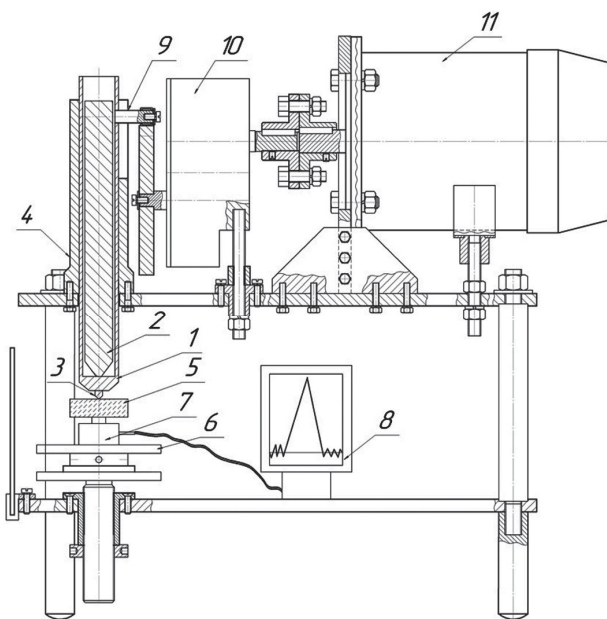
3.2. Thiết bị và búa va đập

Thí nghiệm được tiến hành trên thiết bị va đập rơi tự do, trong đó búa va đập chuyển động trong ống dẫn hướng và tác động lên mẫu đặt trên

đế thép cứng. Hai loại búa và đập được sử dụng để so sánh:

- Búa và đập kết cấu liền khối;
- Búa và đập kết cấu tổ hợp, gồm thân búa và lõi chuyển động tự do bên trong.

Hai loại búa có cùng khối lượng tổng và cùng hình dạng đầu va đập nhằm bảo đảm rằng sự khác biệt về kết quả thí nghiệm chỉ xuất phát từ đặc điểm thời gian va đập. Đầu va đập được chế tạo bằng thép dụng cụ, tôi cứng bề mặt để hạn chế mài mòn và duy trì hình dạng hình học ổn định trong suốt quá trình thử nghiệm.



Hình 1. Sơ đồ nguyên lý thiết bị thí nghiệm phá hủy đá và biến dạng kim loại bằng va đập:
1 – thân búa và đập; 2 – lõi búa; 3 – đầu va đập; 4 – ống dẫn hướng; 5 – mẫu vật liệu;
6 – đế thép; 7 – cảm biến lực; 8 – thiết bị thu nhận tín hiệu; 9 – cam; 10 – hộp giảm tốc;
11 – động cơ điện

3.3. Quy trình thí nghiệm

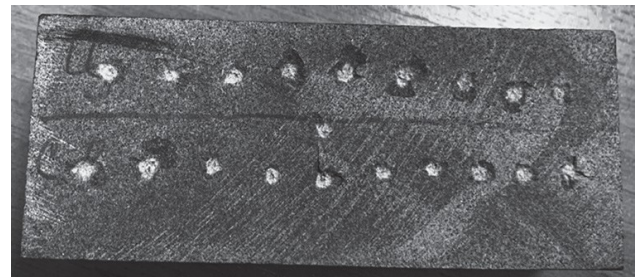
Thí nghiệm được thực hiện theo ba nhóm chính:

- Trong nhóm thứ nhất, búa và đập được thả rơi từ các độ cao khác nhau để tạo ra các mức năng lượng va đập xác định. Với mỗi mức năng lượng, tiến hành một loạt va đập đơn lẻ tại các vị trí khác nhau trên bề mặt mẫu. Sau mỗi va đập,

đo độ sâu vết lõm do đầu va đập tạo ra. Đối với kim loại, khối lượng vật liệu tham gia biến dạng dẻo được xác định dựa trên hình học vết lõm và khối lượng riêng vật liệu.

- Trong nhóm thứ hai, thí nghiệm được tiến hành nhằm xác định năng lượng va đập tối thiểu cần thiết để gây nứt vỡ hoàn toàn mẫu đá trong một lần va đập. Sau khi mẫu bị phá hủy, diện tích bề mặt phá hủy được đo để xác định năng lượng riêng của quá trình phá hủy.

- Trong nhóm thứ ba, nghiên cứu ảnh hưởng của va đập lặp lại được thực hiện bằng cách tác dụng nhiều va đập liên tiếp tại cùng một vị trí trên mẫu đá cho đến khi mẫu bị phá hủy hoàn toàn. Số lần va đập và năng lượng tương ứng được ghi nhận để đánh giá năng lượng riêng của quá trình phá hủy trong điều kiện va đập nhiều lần.



Hình 2. Bề mặt mẫu đá sa thạch sau khi chịu loạt va đập

3.4. Phương pháp đánh giá hiệu quả va đập

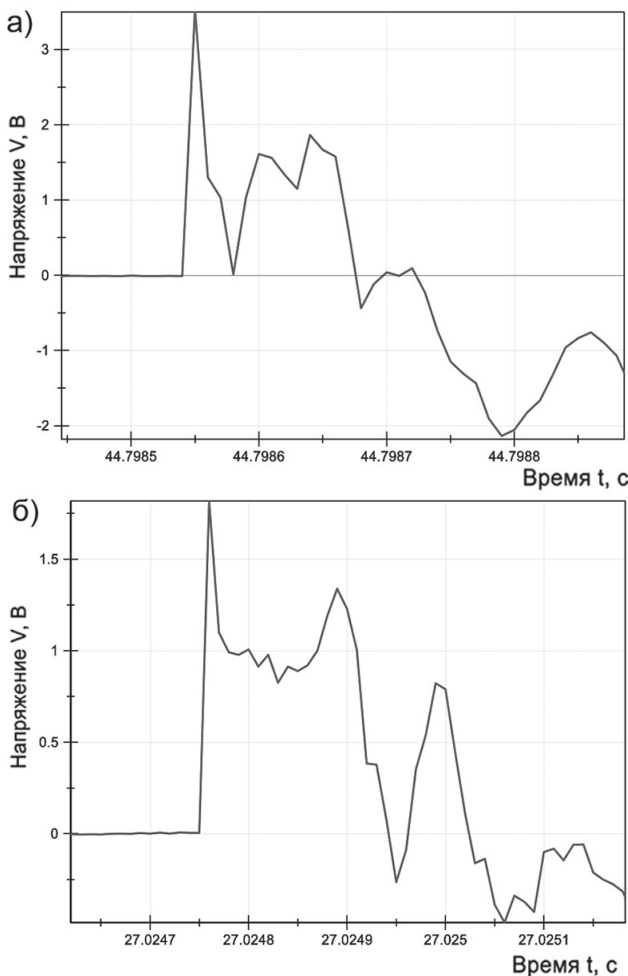
Hiệu quả va đập được đánh giá thông qua hệ số hiệu suất va đập, được xác định bằng tỷ lệ giữa năng lượng sử dụng cho phá hủy hoặc biến dạng vật liệu và năng lượng va đập cung cấp ban đầu. Phần năng lượng thực sự tham gia vào phá hủy hoặc biến dạng vật liệu được xác định bằng cách so sánh với công cần thiết để tạo ra vết lõm có cùng độ sâu trong điều kiện gần tĩnh, thông qua các thí nghiệm ép chậm bằng máy thử cơ học.

Ngoài ra, dạng xung lực va đập và thời gian tác dụng lực được ghi nhận bằng cảm biến lực áp điện, cho phép xác định và so sánh đặc điểm thời gian va đập giữa búa liền khối và búa kết cấu tổ hợp.

4. Kết quả và thảo luận

4.1. Ảnh hưởng của thời gian và đập đến độ sâu xâm nhập

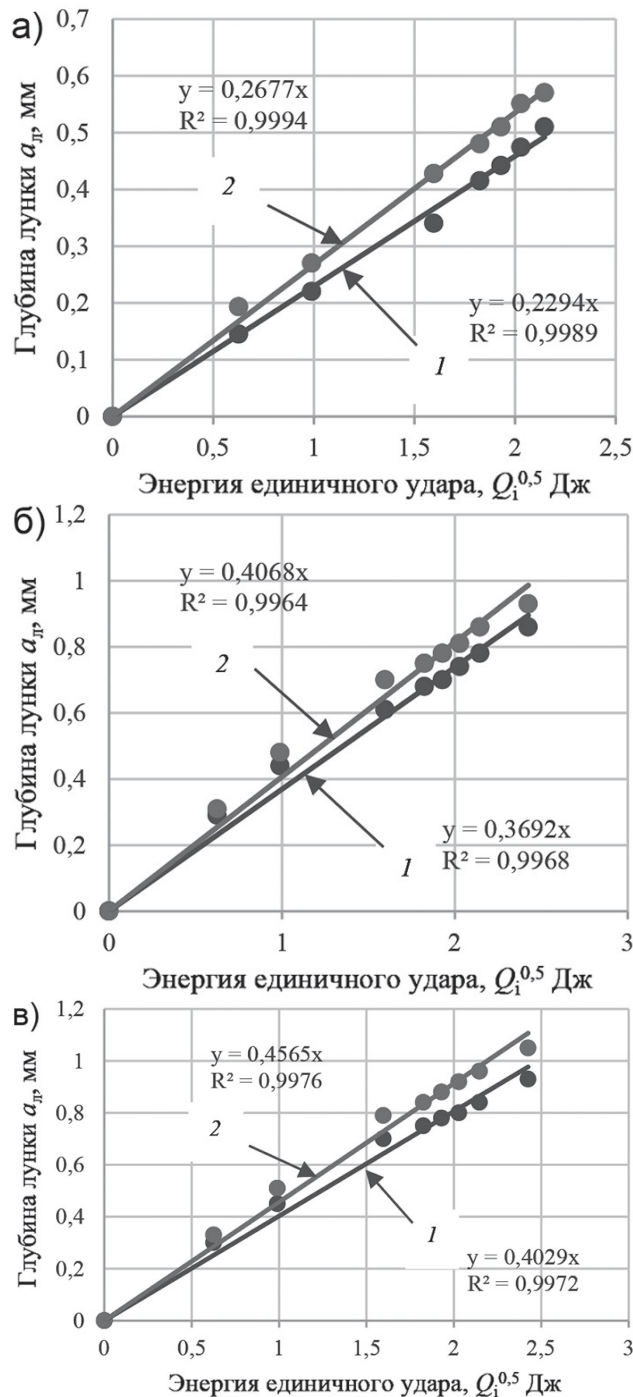
Kết quả thí nghiệm cho thấy độ sâu vết lõm do đầu và đập tạo ra tăng theo năng lượng và đập đối với cả hai loại búa. Tuy nhiên, tại cùng một mức năng lượng, búa và đập kết cấu tổ hợp luôn tạo ra vết lõm sâu hơn so với búa liền khối. Mức tăng độ sâu xâm nhập đạt khoảng 12–13% đối với đá sa thạch, 10–13% đối với hợp kim nhôm và 7–11% đối với đồng kỹ thuật.



Hình 3. Dạng xung lực và đập khi búa xâm nhập vào đá sa thạch: (a) búa liền khối; (b) búa kết cấu tổ hợp

Sự khác biệt này xuất phát từ đặc điểm xung lực của búa tổ hợp. Phân tích tín hiệu lực và đập cho thấy, thay vì một xung lực đơn, búa tổ hợp tạo ra hai xung lực kế tiếp nhau trong thời gian ngắn, làm tăng tổng thời gian tác dụng lực lên vật

liệu. Khi lực và đập đạt ngưỡng cần thiết để khởi phát vết nứt hoặc biến dạng dẻo, việc kéo dài thời gian tác dụng lực cho phép quá trình phá hủy hoặc biến dạng phát triển mạnh hơn, dẫn đến độ sâu xâm nhập lớn hơn.



Hình 4. Quan hệ giữa độ sâu vết lõm và năng lượng và đập đối với: (a) đá sa thạch; (b) đồng; (c) hợp kim nhôm

Bảng 1. Độ sâu xâm nhập a của đầu ấn vào các tấm vật liệu nghiên cứu và hiệu suất va đập (η) đối với búa va đập kết cấu liền khối và kết cấu ghép, tại các mức năng lượng va đập khác nhau.

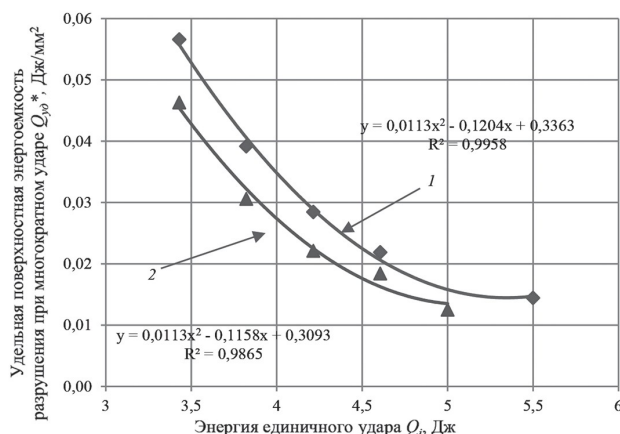
Cấu tạo búa	Vật liệu	Thông số	0,39	0,98	2,55	3,33	3,72	4,12	4,61	5,88
Búa liền khối	Nhôm	a (mm)	0,30 $\pm$ 0,02	0,45 $\pm$ 0,04	0,70 $\pm$ 0,06	0,75 $\pm$ 0,03	0,78 $\pm$ 0,24	0,80 $\pm$ 0,10	0,84 $\pm$ 0,15	0,93 $\pm$ 0,07
		M _{cđ} (mg)	2,2	4,9	11,5	13,2	14,2	14,9	16,3	19,8
		η (%)	51,9	46,5	43	38	36,8	35	34,4	32
	Đồng	a (mm)	0,29 $\pm$ 0,01	0,44 $\pm$ 0,04	0,61 $\pm$ 0,12	0,68 $\pm$ 0,14	0,70 $\pm$ 0,03	0,74 $\pm$ 0,02	0,76 $\pm$ 0,03	0,80 $\pm$ 0,03
		M _{cđ} (mg)	6,8	15,5	29,2	36	38	42,3	44,5	49,1
		η (%)	59,3	54,3	40,1	38,2	36,2	36,6	34,5	29,9
	Đá sa thạch	a (mm)	-	0,24 $\pm$ 0,05	0,34 $\pm$ 0,07	0,42 $\pm$ 0,02	0,44 $\pm$ 0,16	0,47 $\pm$ 0,06	0,51 $\pm$ 0,06	0,56 $\pm$ 0,09
		η (%)	-	31	29,5	28	28,6	29,5	31	29,3
Búa ghép	Nhôm	a (mm)	0,33 $\pm$ 0,04	0,51 $\pm$ 0,03	0,79 $\pm$ 0,02	0,84 $\pm$ 0,01	0,88 $\pm$ 0,03	0,92 $\pm$ 0,04	0,96 $\pm$ 0,05	1,05 $\pm$ 0,06
		M _{cđ} (mg)	2,7	6,3	14,5	16,3	17,8	19,4	21	24,9
		η (%)	62,8	59,7	55,1	47,7	46,8	46,2	45	42,2
	Đồng	a (mm)	0,31 $\pm$ 0,02	0,48 $\pm$ 0,04	0,70 $\pm$ 0,02	0,75 $\pm$ 0,07	0,78 $\pm$ 0,09	0,81 $\pm$ 0,08	0,86 $\pm$ 0,02	0,89 $\pm$ 0,05
		M _{cđ} (mg)	7,76	18,3	38	43,4	46,7	50,2	56,3	60
		η (%)	67,3	64,7	52,8	46,5	45	43,8	44,1	37
	Đá sa thạch	a (mm)	-	0,27 $\pm$ 0,06	0,41 $\pm$ 0,08	0,48 $\pm$ 0,06	0,51 $\pm$ 0,10	0,55 $\pm$ 0,07	0,57 $\pm$ 0,05	0,63 $\pm$ 0,04
		η (%)	-	40,9	39,9	38	38,5	40,4	38,8	37,1

4.2. Hiệu suất va đập

Hiệu suất va đập, được xác định bằng tỷ lệ giữa năng lượng sử dụng cho phá hủy hoặc biến dạng vật liệu và năng lượng va đập ban đầu, tăng rõ rệt khi sử dụng búa va đập kết cấu tổ hợp. Đối với đá sa thạch, hiệu suất va đập tăng khoảng 36% so với búa liền khối. Đối với kim loại, mức tăng hiệu suất nằm trong khoảng 25–30%.

Kết quả này cho thấy kéo dài thời gian va đập giúp phân bổ năng lượng hợp lý hơn cho quá trình phá hủy hoặc biến dạng vật liệu, đồng thời làm giảm tỷ lệ năng lượng bị tiêu hao cho các dao động đàn hồi và tổn thất không mong muốn trong hệ thống.

4.3. Ảnh hưởng đến phá hủy thể tích đá



Hình 5. Phụ thuộc của năng lượng riêng phá hủy đá sa thạch vào năng lượng va đập đơn

Trong các thí nghiệm gây nứt vỡ hoàn toàn mẫu đá, năng lượng va đập tối thiểu cần thiết để làm vỡ mẫu khi sử dụng búa tổ hợp giảm khoảng 9–10% so với búa liền khối. Đồng thời, năng

lượng riêng của quá trình phá hủy thể tích đá cũng giảm đáng kể.

Hiện tượng này có thể được giải thích bằng việc kéo dài thời gian tác dụng lực cho phép các vết nứt hình thành ban đầu tiếp tục lan truyền đến bề mặt tự do của mẫu đá. Khi thời gian va đập đủ lớn, điều kiện lan truyền vết nứt được thỏa mãn tốt hơn, dẫn đến phá hủy thể tích hiệu quả hơn ngay cả khi năng lượng va đập không tăng.

4.4. Biến dạng dẻo kim loại

Đối với kim loại, việc sử dụng búa va đập kết cấu tổ hợp không chỉ làm tăng độ sâu vết lõm mà còn làm tăng đáng kể khối lượng kim loại tham gia biến dạng dẻo. Điều này chứng tỏ vùng biến dạng dẻo phát triển rộng hơn khi thời gian va đập được kéo dài.

Tăng thời gian va đập đồng nghĩa với việc giảm tốc độ biến dạng trung bình, làm giảm ứng suất cản biến dạng của kim loại. Do đó, một phần lớn hơn năng lượng va đập được chuyển hóa thành công biến dạng dẻo thay vì bị tiêu hao dưới dạng đàn hồi hoặc dao động, dẫn đến hiệu suất va đập cao hơn.

4.5. Bàn luận chung

Tổng hợp các kết quả thực nghiệm cho thấy thời gian va đập là một tham số quan trọng, có ảnh hưởng rõ rệt đến hiệu quả phá hủy đá và biến dạng dẻo kim loại. Khi lực va đập đủ lớn để khởi phát phá hủy, việc kéo dài thời gian tác dụng lực giúp tăng hiệu quả sử dụng năng lượng, giảm yêu cầu về năng lượng va đập và hạn chế tải trọng cực đại tác dụng lên thiết bị.

Bảng 2. Năng lượng va đập tối thiểu cần thiết để làm nứt vỡ tấm đá sa thạch bằng búa va đập có kết cấu khác nhau

Kết cấu búa va đập	Chiều dày tấm, mm	Năng lượng va đập tối thiểu (Q_p), J	Năng lượng riêng bề mặt (Q_{ud}), kJ/m²
Liền khối	10	5,5	13,7
	15	6,8	11,3
Kết cấu ghép	10	5,0	12,5
	15	6,2	10,3

Những kết quả này không chỉ phù hợp với các cơ sở lý thuyết về cơ học phá hủy và biến dạng vật liệu, mà còn mở ra hướng cải tiến thiết kế các thiết bị va đập theo hướng nâng cao hiệu quả làm việc và độ bền kết cấu.

5. Kết luận

Trên cơ sở nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm về ảnh hưởng của thời gian va đập đến quá trình phá hủy đá và biến dạng dẻo kim loại, có thể rút ra các kết luận chính sau:

1) Việc sử dụng búa va đập kết cấu tổ hợp cho phép kéo dài thời gian tác dụng lực va đập so với búa liên khối có cùng khối lượng và năng lượng. Dạng xung lực tổng hợp gồm hai xung liên tiếp làm tăng tổng thời gian va đập mà không làm tăng đáng kể lực va đập cực đại.

2) Khi thời gian va đập được kéo dài, độ sâu xâm nhập của đầu va đập vào vật liệu tăng rõ rệt đối với cả đá sa thạch và các kim loại dẻo. Mức tăng đạt 12–13% đối với đá, 10–13% đối với hợp kim nhôm và 7–11% đối với đồng kỹ thuật.

3) Hiệu suất va đập được cải thiện đáng kể khi sử dụng búa va đập kết cấu tổ hợp. Hiệu suất tăng khoảng 36% đối với đá sa thạch và 25–30% đối với kim loại, đồng thời năng lượng cần thiết để gây phá hủy thể tích đá giảm khoảng 9–10%.

4) Đối với kim loại, kéo dài thời gian va đập làm tăng khối lượng vật liệu tham gia biến dạng dẻo và tỷ lệ năng lượng va đập được chuyển hóa thành công biến dạng, cho thấy hiệu quả sử dụng năng lượng được nâng cao.

5) Kết quả nghiên cứu khẳng định rằng, khi lực va đập đủ lớn để khởi phát phá hủy hoặc biến dạng dẻo, thời gian va đập là một tham số quan trọng quyết định hiệu quả của quá trình. Việc tối ưu hóa thời gian va đập thông qua cải tiến kết cấu búa va đập là hướng tiếp cận có tiềm năng ứng dụng cao trong thiết kế thiết bị phá đá và gia công kim loại bằng va đập.

Các kết luận trên cung cấp cơ sở khoa học cho việc nâng cao hiệu quả làm việc và giảm tiêu hao năng lượng của các thiết bị va đập trong công nghiệp khai thác mỏ và cơ khí

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Шрейнер Л. А., Петрова О. П. Зоны пластической деформации и механизм разрушения пластичных горных пород при вдавливании / *Вопросы деформации и разрушения горных пород при бурении*. — М., 1961. — 111 с.
2. Павлова Н. Н., Шрейнер Л. А. Разрушение горных пород при динамическом нагружении. — М.: Недра, 1964. — 160 с.
3. Соколинский В. Б. Машины ударного разрушения. — М.: Машиностроение, 1982. — 151 с.
4. Болобов В. И., Lê Thanh Bình, Плащинский В. А. О распространении трещины по горной породе при ударе // *Обогащение руд*. — 2019. — № 6. — С. 3—5. DOI: 10.17580/or.2019.06.01.
5. Болобов В. И., Плащинский В. А., Борисов С. В., Lê Thanh Bình. О соотношении параметров разрушения породы в статических и динамических условиях // *Обогащение руд*. — 2021. — № 5. — С. 3—9. DOI: 10.17580/or.2021.05.01.
6. Шелковников И. Г. Использование энергии удара в процессах бурения. — М.: Недра, 1977. — 160 с.
7. Панкратенко А. Н. Определение удельной поверхностной энергии разрушения пород // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. — 2002. — № 9. — С. 11—14.

NGHIÊN CỨU VÀ PHÂN TÍCH MỘT SỐ CÔNG NGHỆ TÍCH TRỮ NĂNG LƯỢNG TÁI TẠO SỬ DỤNG HIỆN NAY TRÊN THẾ GIỚI

Lưu Bình – Trường Đại học Công nghiệp Quảng Ninh

Tóm tắt: Quá trình tích hợp các nguồn năng lượng tái tạo vào lưới điện thường đối mặt với những thách thức kỹ thuật như tính ổn định, độ tin cậy và khả năng vận hành của hệ thống lưới. Tuy nhiên, để thực hiện cuộc cách mạng năng lượng và đạt được mục tiêu về đỉnh phát thải carbon và trung hòa carbon, việc đảm bảo sự tương thích giữa hệ thống điện và các nguồn năng lượng tái tạo là rất quan trọng. Việc triển khai các hệ thống lưu trữ năng lượng (ESS) phụ thuộc vào nhiều yếu tố như vị trí địa lý, nguồn cung cấp điện, chi phí liên quan và tác động môi trường. Trong nội dung của bài báo, tác giả trình bày tổng quan về các công nghệ lưu trữ năng lượng tái tạo thông dụng hiện nay và phân tích ưu và nhược điểm của từng công nghệ. Dựa vào đó, các bên liên quan có thể đưa ra các quyết định có kiến thức để thúc đẩy việc áp dụng năng lượng tái tạo và các giải pháp lưu trữ của nó, từ đó góp phần vào một tương lai về năng lượng bền vững hơn.

Từ khóa: Năng lượng tái tạo, công nghệ tích trữ năng lượng, hệ thống tích trữ năng lượng bánh đà, thủy điện tích năng, hệ thống tích trữ năng lượng bằng khí nén, lưu trữ năng lượng điện hoá, lưu trữ năng lượng hoá năng.

1. Đặt vấn đề

Sản xuất điện trên toàn cầu hiện nay dựa vào nhiều nguồn năng lượng khác nhau, chủ yếu là từ các nhiên liệu hóa thạch như than đá, khí tự nhiên và nhiên liệu lỏng. Tuy nhiên, các nguồn năng lượng này đối mặt với hai vấn đề lớn: nguy cơ cạn kiệt nhiên liệu hóa thạch trong tương lai gần, được dự báo sẽ xảy ra trong khoảng một thế kỷ tới [1], và việc phát thải khí nhà kính (GHG) và các chất gây ô nhiễm khác gây ảnh hưởng tiêu cực đến hệ sinh thái toàn cầu và sức khỏe con người [2].

Hiện nay, các quốc gia trên toàn thế giới đã đưa ra các quy định về môi trường và đặt ra mục tiêu giảm lượng GHG trong nhiều lĩnh vực khác nhau [3]. Năng lượng tái tạo là một nguồn năng lượng tiềm năng có thể đóng vai trò quan trọng trong việc giảm thiểu phát thải khí nhà kính và đáp ứng nhu cầu năng lượng toàn cầu [4-6]. Tuy nhiên, các nguồn năng lượng này không thể điều chỉnh, do chúng ta không thể “lập trình” cho mặt trời chiếu sáng hoặc gió thổi. Để đảm bảo sự cân bằng giữa cung và cầu năng lượng mọi lúc, mọi nơi, việc phát triển các giải pháp lưu trữ năng

lượng cho các nguồn năng lượng tái tạo này là hết sức cần thiết [7].

Lưu trữ năng lượng mang lại nhiều lợi ích: Đầu tiên, một số công nghệ mang lại lợi ích môi trường rõ ràng bằng cách cho phép triển khai năng lượng tái tạo trên quy mô lớn [8]; thứ hai là cung cấp điện thông qua hệ thống năng lượng tập trung hoặc phân tán [9], cân nhắc đến cả các hạn chế địa phương và toàn cầu. Hơn nữa, nó có thể tiếp cận các khu vực sản xuất đa dạng, các khu thương mại và cư dân. Trong nội dung của bài báo, tác giả trình bày về các công nghệ lưu trữ năng lượng tái tạo phổ biến hiện nay trên toàn thế giới.

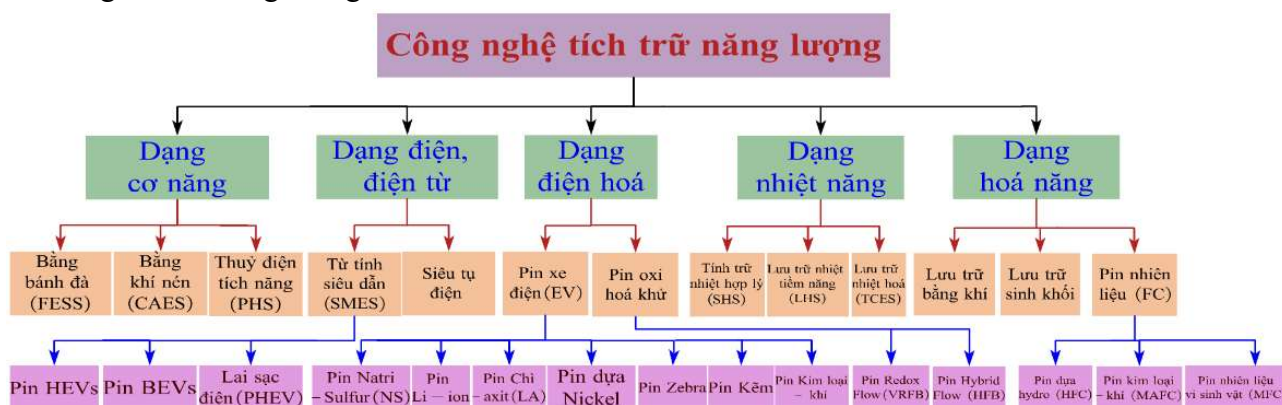
2. Tổng quan về công nghệ tích trữ năng lượng

Hệ thống lưu trữ năng lượng điện, được biết đến với tên gọi ESS (Energy Storage System), đóng vai trò quan trọng trong ngành sản xuất năng lượng hiện nay. Hiệu suất của ESS quyết định hiệu quả và chi phí vận hành của quá trình sản xuất năng lượng. Các ứng dụng lưu trữ đang phát triển nhằm mục tiêu giảm chi phí và tăng tuổi thọ. Tuy nhiên, một thách thức lớn đối với

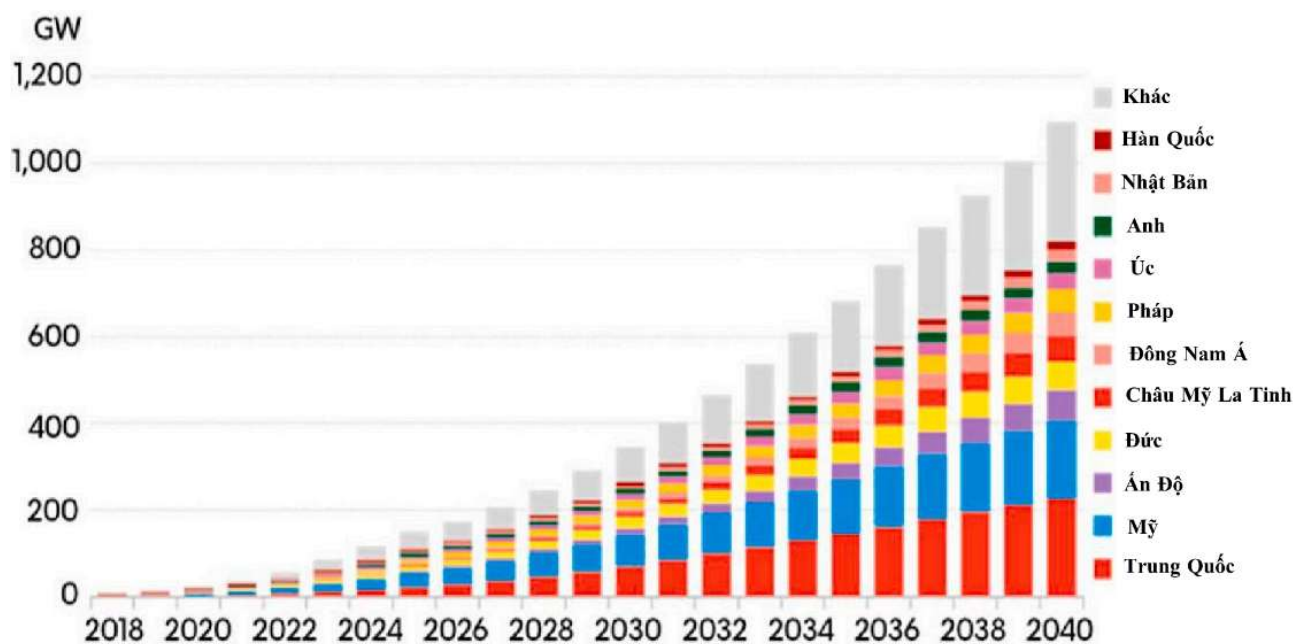
việc sử dụng hệ thống ESS là về vốn đầu tư ban đầu và chi phí vận hành. Một mục tiêu quan trọng khác của các nhà nghiên cứu là đảm bảo rằng các thiết bị lưu trữ không gây ảnh hưởng tiêu cực đến môi trường. Hệ thống ESS được phân loại chủ yếu thành các loại bao gồm hệ thống lưu trữ cơ học, hệ thống điện hóa, hệ thống lưu trữ hóa chất và lưu trữ nhiệt. Hình 1 mô tả chi tiết về các loại hệ thống lưu trữ khác nhau [10]. Loại năng lượng cần lưu trữ sẽ quyết định loại thiết bị lưu trữ phù hợp với ứng dụng cụ thể.

Hình 2 trình bày biểu đồ dự báo về triển khai hệ thống lưu trữ năng lượng toàn cầu, thể hiện sự

tăng cường nhu cầu về ESS đồng thời với sự gia tăng của các nguồn năng lượng tái tạo [11]. ESS có thể áp dụng cho nhiều ứng dụng trong hệ thống điện và khu vực công nghiệp, thương mại. Việc sử dụng ESS không chỉ giới hạn trong các ứng dụng truyền thống mà còn mở ra tiềm năng cho các công nghệ mới như pin Li-ion, pin Natri - Sulfur, pin siêu dẫn, pin kim loại - khí, siêu tụ điện và nhiều loại khác. Dự báo cho thấy, đến năm 2040, thị trường ESS dự kiến sẽ tăng lên 1.095 GW/2.850 GWh, tăng hơn 120 lần so với năm 2018 [11].



Hình 1. Các kiểu và dạng lưu trữ năng lượng tái tạo



Hình 2. Dự đoán lắp đặt hệ thống ESS toàn cầu vào năm 2040

3. Các công nghệ lưu trữ năng lượng phổ biến hiện nay trên thế giới

3.1. Lưu trữ năng lượng dạng cơ năng

3.1.1 Lưu trữ năng lượng bằng bánh đà

Hệ thống lưu trữ năng lượng bánh đà (FESS) [12] là một thiết bị lưu trữ cơ học mô phỏng quá trình lưu trữ năng lượng điện bằng cách chuyển đổi nó thành động năng được lưu trữ trong một khối quay với tổn thất ma sát rất thấp. Năng lượng đầu vào của FESS thường được cung cấp từ lưới điện hoặc bất kỳ nguồn năng lượng điện nào khác. Một máy phát điện động cơ tích hợp được sử dụng để tăng tốc độ quay khi hấp thụ năng lượng và giảm tốc độ quay khi phát ra năng lượng.



Hình 3. Cấu tạo của hệ thống FESS

* Ưu điểm:

- Hệ thống này có mật độ năng lượng cao và không bị ảnh hưởng bởi các quá trình điện hóa, đảm bảo hiệu suất và tuổi thọ cao;

- Sự tích hợp của công nghệ hiện đại trong các thành phần chính giúp hệ thống có tuổi thọ lâu dài, vượt qua được hơn 15 năm sử dụng;

- Hệ thống này hoạt động ổn định ở phạm vi nhiệt độ rộng, có khả năng sạc và xả nhanh chóng, đồng thời sử dụng vật liệu thân thiện với môi trường, tạo điều kiện thuận lợi cho sự phát triển bền vững.

* Nhược điểm:

- Nhiều bộ phận cần bảo trì như vòng bi, bơm chân không, quạt làm mát và cảm biến điều khiển, mỗi bộ phận này có thể tiềm ẩn các điểm

hỏng hóc đơn lẻ, đòi hỏi sự quản lý và bảo trì thường xuyên.

- Độ bền của vòng bi phụ thuộc vào tỉ lệ cao và liên quan đến tổn thất của hệ thống, đây là một yếu tố phức tạp cần được xem xét kỹ lưỡng.

- Sự hoạt động của hệ thống phụ thuộc vào giới hạn ứng suất và mỏi của các bộ phận cơ khí, có thể gây ra tổn thất hoạt động phụ trợ và yêu cầu các biện pháp dự phòng tương đối cao.

Công nghệ bánh đà có thể áp dụng trong một loạt các ứng dụng, từ quy mô thương mại đến cấp độ hộ tiêu thụ đơn lẻ, và đang mới được triển khai ở các quốc gia tiên tiến như Mỹ và Canada (bảng 1). Các ứng dụng phổ biến bao gồm điều chỉnh tần số và điện áp, nguồn xung cho quân đội, kiểm soát điều khiển trong tàu vũ trụ, UPS, cân bằng tải, xe hybrid và xe điện. Ngoài ra, công nghệ này còn hỗ trợ sự thâm nhập của năng lượng gió và mặt trời vào hệ thống điện bằng cách cải thiện độ ổn định và cân bằng tần số lưới điện nhờ tính đáp ứng nhanh của hệ thống.

Bảng 1. Một số địa điểm sử dụng công nghệ FESS hiện nay trên thế giới [13]

Nhà máy lắp đặt FESS	Quốc gia	Năm hoàn thành	Công suất (kW)
Beacon Power	Hoa Kỳ	2008	500
LA Metro Wayside	Hoa Kỳ	2014	2000
NRStor Minto	Canada	2014	2000
Amber Kinetics	Hoa Kỳ	2015	25

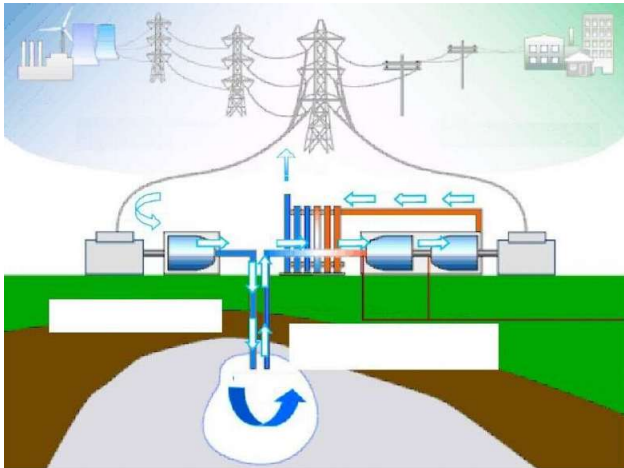
3.1.2 Lưu trữ năng lượng bằng khí nén (CAES)

Nguyên lý hoạt động của CAES [14] là sử dụng máy nén điện để nén không khí đến áp suất cao và lưu trữ trong các không gian lớn dưới lòng đất. Khi cần, việc thải ra không khí được thực hiện để tạo ra năng lượng bằng cách thông qua tuabin khí.

* Ưu điểm:

- Hiệu suất hoạt động cao, đạt ~70%, và có thể duy trì trong khoảng 40 năm, tương tự như

lưu trữ năng lượng thủy điện tích năng (PHES);



Hình 4. Bộ lưu trữ CAES
tính hợp trong hệ thống điện

- Khả năng lưu trữ lượng năng lượng khổng lồ, giúp cân bằng và ổn định hệ thống điện;
- Thời gian đáp ứng nhanh, cho phép hệ thống phản ứng linh hoạt với nhu cầu năng lượng thay đổi;

* Nhược điểm:

- Hệ thống chưa hoàn thiện đầy đủ và yêu cầu các hầm chứa kín để lưu trữ không khí nén, làm tăng chi phí xây dựng và vận hành;
- Khả năng tiết kiệm năng lượng chỉ có thể đạt được trong khoảng thời gian ngắn, thường chỉ trong một ngày lưu trữ, giới hạn khả năng sử dụng của hệ thống.

Bảng 2. Một số địa điểm sử dụng công nghệ CAES hiện nay trên thế giới [13]

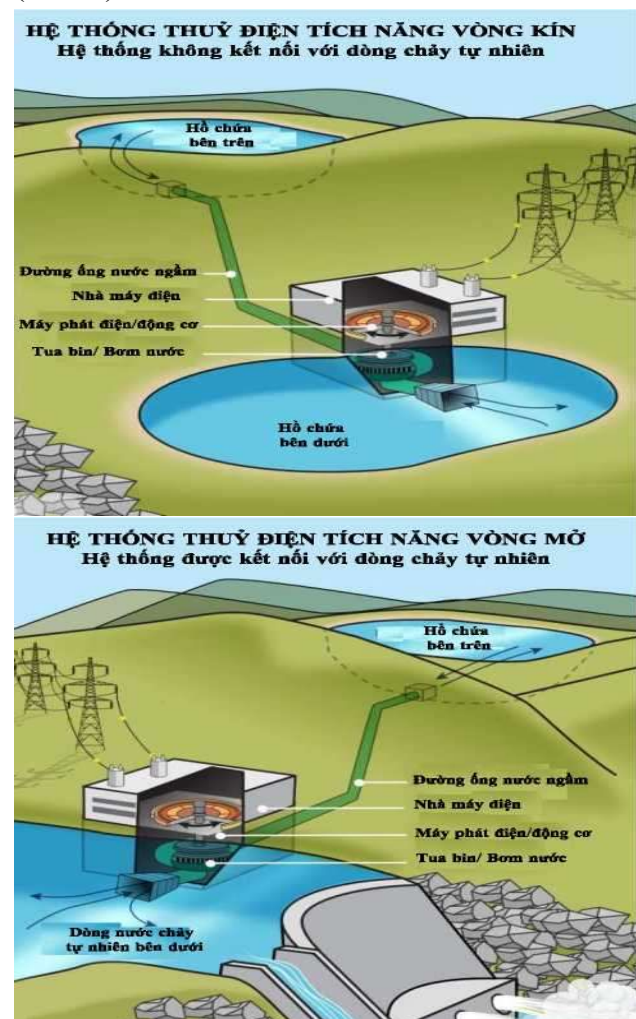
Nhà máy lắp đặt CAES	Quốc gia	Năm hoàn thành	Công suất (MW)
SustainX Inc Isothermal	Hoa Kỳ	2013	1,5
Pollegio-Loderio Tunnel Demonstration Plant	Thụy Sĩ	2016	0,5
A-CAES demo plant	Hoa Kỳ	2020	300

Mặc dù CAES là một công nghệ lưu trữ năng lượng hoàn thiện và có sẵn trên thị trường, tính đến nay đã có nhiều quốc gia sử dụng công nghệ

này. Hiện tại, có ba nhà máy CAES đã đi vào hoạt động, với nhà máy lớn nhất tại Hoa Kỳ có công suất lên đến 300MW (xem Bảng 2). CAES cũng có thể được sử dụng như một giải pháp thay thế hệ thống pin thông thường trong vai trò một nguồn điện dự phòng, giúp giảm thời gian và chi phí xây dựng và vận hành.

3.1.3 Lưu trữ năng lượng thủy điện tích năng (PHES)

Đến nay, các nhà máy thủy điện tích năng được coi là phương pháp duy nhất để lưu trữ năng lượng với số lượng lớn, đồng thời duy trì hiệu suất cao và tiết kiệm. Phương pháp này chiếm khoảng 98% tổng lượng lưu trữ năng lượng toàn cầu và đang chiếm ưu thế trong lưới điện hiện đại (hình 5).



Hình 5. Nguyên lý hoạt động của thủy điện tích năng

* Ưu điểm của hệ thống lưu trữ năng lượng tích hợp thủy điện (PHES):

- Có hiệu suất khứ hồi 70-80%, đồng thời tuổi thọ dự kiến của PHES đạt khoảng 40-60 năm;

- Chi phí triển khai và vận hành rẻ hơn so với các phương pháp lưu trữ năng lượng khác.

Bảng 3. Một số địa điểm sử dụng công nghệ PHES hiện nay trên thế giới [13]

Nhà máy lắp đặt PHES	Quốc gia	Năm hoàn thành	Công suất (MW)
Štěchovice	Séc	1944	45
Vilarinho Furnas	Bồ Đào Nha	1972	125
Kuhtai PSH	Áo	1980	289
Frades I	Bồ Đào Nha	2005	191,6
Salamonde II	Bồ Đào Nha	2015	211
Frades II	Bồ Đào Nha	2016	778
Baixo Sabor Montante	Bồ Đào Nha	2016	145
Baixo Sabor Jusante	Bồ Đào Nha	2016	37
Venda Nova III	Bồ Đào Nha	2016	736
Foz Tua	Bồ Đào Nha	2016	259

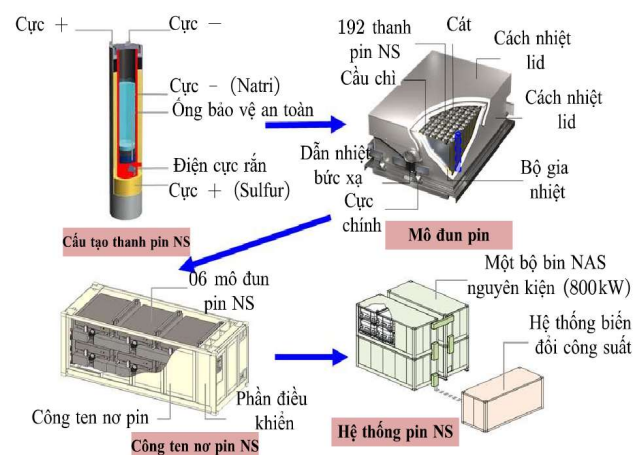
* Nhược điểm của hệ thống lưu trữ năng lượng tích hợp thủy điện (PHES): Ít địa điểm xây dựng phù hợp và tác động lớn đến môi trường, đặc biệt là nguồn nước.

Hiện nay, lưu trữ năng lượng thủy điện tích năng là một trong những phương pháp sử dụng năng lượng tái tạo được sử dụng cho các dự án lớn trên lưới điện (bảng 3). Bồ Đào Nha được nhìn nhận là quốc gia dẫn đầu trong việc áp dụng công nghệ PHES, với điều kiện địa hình và địa lý tương tự Việt Nam, tạo ra cơ hội cho Việt Nam phát triển công nghệ này trong tương lai.

3.2. Lưu trữ năng lượng dạng điện hoá

Lưu trữ năng lượng điện hoá (EES) là một hệ thống gồm nhiều tế bào điện hóa được kết nối với nhau, tạo ra điện từ các phản ứng điện hóa.

Mỗi tế bào chứa hai điện cực - một cực dương và một cực âm - với chất điện phân có thể ở trạng thái rắn, lỏng hoặc nhớt. Trong quá trình phóng điện, các phản ứng điện hóa xảy ra đồng thời ở cực dương và cực âm. Đối với mạch ngoài, electron được cung cấp từ cực dương và thu thập ở cực âm. Trong quá trình sạc, phản ứng ngược xảy ra và pin được sạc lại bằng cách áp dụng một điện áp bên ngoài vào hai điện cực.



Hình 6. Cấu tạo của pin lưu trữ năng lượng NS

* Ưu điểm:

- Dễ sản xuất và chi phí rẻ: Công nghệ điện hoá đã được phát triển và hoàn thiện qua nhiều năm, làm cho quá trình sản xuất trở nên dễ dàng và chi phí hợp lý;

- Tính tái chế cao: Các tế bào điện hóa trong hệ thống có thể được tái chế một cách hiệu quả, giúp giảm thiểu tác động đến môi trường và tài nguyên;

- Mật năng lượng cao: Hệ thống lưu trữ năng lượng điện hoá có mật độ năng lượng cao, cho phép lưu trữ lượng năng lượng lớn trong một không gian nhỏ;

- Tiềm năng phát triển: Với các nguồn tài nguyên như lithium và than chì có sẵn phong phú, dạng lưu trữ năng lượng điện hoá có tiềm năng phát triển lớn trong tương lai;

- An toàn ổn định: Hệ thống này thường được coi là an toàn và ổn định trong quá trình sử dụng, giảm thiểu nguy cơ tai nạn và sự cố.

* Nhược điểm của dạng lưu trữ năng lượng

điện hoá bao gồm:

- Trọng lượng và kích thước: Thường rất nặng và cồng kềnh, làm giảm tính linh hoạt trong việc triển khai và vận chuyển;

- Tuổi thọ ngắn: Pin điện hoá thường có tuổi thọ ngắn so với các công nghệ lưu trữ năng lượng khác, cần thay thế hoặc bảo dưỡng định kỳ;

- Những ảnh hưởng đến môi trường: Mặc dù an toàn khi sử dụng, một số vật liệu trong pin có thể độc hại và gây hại cho con người và môi trường;

- Phản ứng hóa học và việc xả hoàn toàn có thể gây ăn mòn và hỏng hóc pin điện hoá;

- Pin điện hoá có thể xuống cấp nhanh chóng ngay cả khi không sử dụng, đặc biệt khi lưu trữ trong thời gian dài;

- Một số vật liệu đã qua sử dụng trong pin điện hoá có thể dễ cháy khi tiếp xúc với độ ẩm của khí quyển, tạo ra nguy cơ cháy.

* Ứng dụng:

- Thiết bị điện cầm tay: Công nghệ lưu trữ pin hiện đang cung cấp các phương tiện phổ biến và hiệu quả nhất để lưu trữ năng lượng cho các thiết bị điện cầm tay như điện thoại di động, máy tính bảng, máy ảnh, và các thiết bị di động khác;

- Ứng dụng trong lưới điện: Các biến thể của công nghệ lưu trữ pin cũng đã được sử dụng trong lưới điện, đặc biệt là để cải thiện chất lượng điện năng, hệ thống dự phòng không gián đoạn (UPS), và dự trữ quay ngắn;

- Thử nghiệm trong các hệ thống quản lý năng lượng: Các thử nghiệm cũng đã được tiến hành để sử dụng công nghệ lưu trữ pin trong các hệ thống quản lý năng lượng, giúp tối ưu hóa việc sử dụng năng lượng và giảm tác động môi trường.

3.3. Lưu trữ năng lượng dạng hoá năng

Lưu trữ năng lượng dạng hoá năng là quá trình chuyển đổi và lưu trữ năng lượng từ một dạng sang dạng khác để sử dụng một cách tiện lợi. Công nghệ hydrogen là một trong những phương pháp tiêu biểu của lưu trữ năng lượng

này, bằng cách chuyển đổi năng lượng từ các nguồn khác nhau thành hydrogen để sử dụng sau này. Quá trình này thường bao gồm việc điện phân nước để tách nước thành hydrogen và oxygen, sau đó lưu trữ hydrogen dưới dạng khí hoặc chất lỏng trong các hệ thống chuyên dụng.

Điều này mở ra khả năng sử dụng hydrogen như một nguồn năng lượng tái tạo cho việc sản xuất điện, nhiên liệu cho các phương tiện giao thông và ứng dụng công nghiệp khác.

* Ưu điểm:

- Công nghệ lưu trữ hoá học cho phép lưu trữ một lượng lớn năng lượng trong các hợp chất hóa học. Các hợp chất này có thể giữ lại năng lượng trong thời gian dài và được giải phóng khi cần thiết;

- Một số công nghệ lưu trữ hoá học có hiệu suất lưu trữ và giải phóng năng lượng cao, giúp tối ưu hóa việc sử dụng và quản lý năng lượng;

- Công nghệ này có thể được áp dụng trong nhiều ứng dụng khác nhau và có thể tùy chỉnh để đáp ứng nhu cầu cụ thể của từng trường hợp sử dụng;

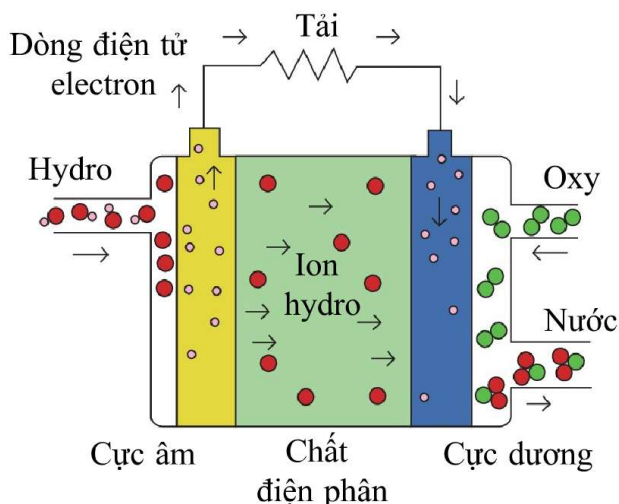
- Nhiều loại hợp chất hóa học được sử dụng trong công nghệ lưu trữ hoá học là an toàn và ổn định, giúp giảm thiểu nguy cơ về an toàn và an ninh trong quá trình lưu trữ và vận hành;

- Một số phương pháp lưu trữ hoá học sử dụng các hợp chất không gây ô nhiễm, giúp giảm thiểu tác động tiêu cực đối với môi trường và sức khỏe con người.

* Nhược điểm:

- Quá trình hoá năng thường không đạt hiệu suất cao, đặc biệt là trong việc chuyển đổi sang các dạng năng lượng khác như điện, điều này có thể dẫn đến mất mát năng lượng đáng kể trong quá trình chuyển đổi và lưu trữ;

- Triển khai và vận hành các quá trình hoá năng đòi hỏi công nghệ và cơ sở hạ tầng phức tạp, đắt đỏ. Ngoài ra, một số quá trình này có thể gây ra tác động tiêu cực đến môi trường, bao gồm khí thải ô nhiễm và nguy cơ gây ra tai nạn hoá học;



Hình 7. Quá trình chuyển đổi hydrogen thành điện

- Một số loại năng lượng hoá có khả năng lưu trữ hạn chế và có thể không phù hợp cho việc lưu trữ lâu dài hoặc lưu trữ lượng năng lượng lớn.

Ngoài ra, các quá trình hoá năng có thể liên quan đến các rủi ro an toàn, đặc biệt là khi xử lý các chất hóa học nguy hiểm.

Công nghệ lưu trữ năng lượng hoá năng có nhiều ứng dụng linh hoạt và đa dạng. Các hệ thống này được sử dụng rộng rãi trong việc cung cấp năng lượng dự phòng trong trường hợp cúp điện hoặc sự cố lưới điện. Trong lĩnh vực công nghiệp, chúng cung cấp nguồn năng lượng ổn định và linh hoạt, giúp tối ưu hóa quy trình sản xuất. Trong hệ thống lưới điện, công nghệ này giúp cung cấp năng lượng dự trữ và cân bằng tải, tăng tính ổn định và linh hoạt của hệ thống. Trong ngành công nghiệp ô tô, các hệ thống lưu trữ năng lượng hoá năng hỗ trợ hoạt động của xe điện và xe hybrid. Cũng có thể tích hợp vào thiết bị di động để cung cấp năng lượng dự phòng.

Cuối cùng, trong các hệ thống năng lượng tái tạo, công nghệ này giúp cân bằng sản lượng năng lượng và cung cấp năng lượng ổn định, tối ưu hóa hiệu suất của các nguồn năng lượng tái tạo.

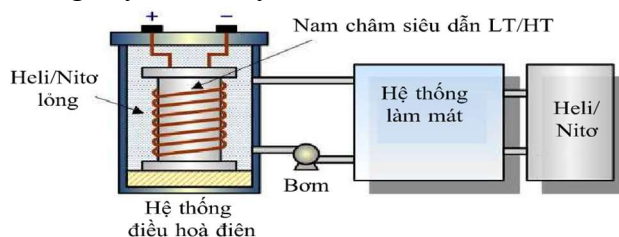
3.4. Lưu trữ năng lượng dạng điện, điện từ

3.4.1 Lưu trữ năng lượng từ tính siêu dẫn (SMES)

Hệ thống lưu trữ năng lượng từ tính siêu dẫn

gồm ba thành phần chính: cuộn dây, hệ thống điều hòa điện (PCS), và hệ thống làm mát. Ý tưởng cơ bản là khi cuộn dây siêu dẫn được làm lạnh đến nhiệt độ tới hạn siêu dẫn, nó có điện trở không đáng kể, cho phép dòng điện tiếp tục chạy ngay cả sau khi nguồn điện áp đã được loại bỏ.

Trong quá trình này, năng lượng được lưu trữ dưới dạng từ trường được tạo ra bởi dòng điện trong cuộn dây siêu dẫn. Để giải phóng năng lượng này, cuộn dây được xả điện.



Hình 8. Sơ đồ thành phần chính của hệ thống SMES

* Ưu điểm:

- Hệ thống lưu trữ năng lượng từ tính siêu dẫn đạt hiệu suất cao và có tuổi thọ cao, duy trì độ ổn định trong quá trình lưu trữ;

- Hệ thống này có khả năng lưu trữ một lượng lớn năng lượng, phù hợp với nhu cầu ngày càng tăng của các hệ thống năng lượng tái tạo và các ứng dụng khác;

- Lưu trữ năng lượng từ tính siêu dẫn là một giải pháp sạch, thân thiện với môi trường và có thể được sử dụng trong nhiều lĩnh vực khác nhau, từ các dự án quy mô lớn đến các hệ thống năng lượng cá nhân.

* Nhược điểm:

- Cần đầu tư lớn cho các thiết bị và công nghệ siêu dẫn ban đầu, làm tăng ngưỡng tiếp cận cho các dự án;

- Việc vận hành và bảo dưỡng yêu cầu kiến thức chuyên môn cao và kỹ năng kỹ thuật đặc biệt, làm tăng độ phức tạp và chi phí của dự án.

- Các hệ thống hiện tại vẫn có hạn chế về dung lượng so với các phương pháp lưu trữ năng lượng khác như pin lithium-ion hoặc thủy điện.

Công nghệ SMES có nhiều ứng dụng tiềm

năng. Nó có thể được sử dụng trong các hệ thống lưu trữ năng lượng lưới điện để cung cấp năng lượng dự trữ và cân bằng tải, giúp tối ưu hóa hoạt động của lưới điện. Ngoài ra, nó cũng có thể được tích hợp vào hệ thống vận chuyển công cộng hoặc trong các ứng dụng công nghiệp để cung cấp năng lượng sạch và ổn định. Điều này có thể giúp giảm thiểu ảnh hưởng của biến đổi khí hậu và tăng cường sự bền vững của hệ thống năng lượng toàn cầu.

3.4.2 Siêu tụ điện

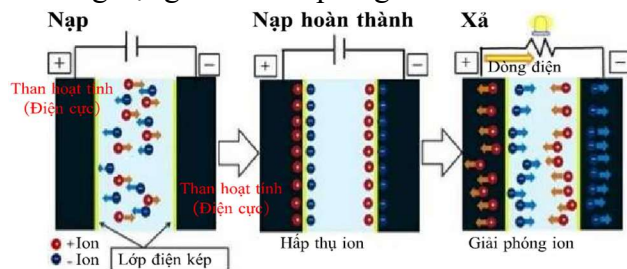
Công nghệ lưu trữ tụ điện siêu dẫn sử dụng các phương trình cơ bản tương tự như tụ điện thông thường, tuy nhiên, nó điều chỉnh các điện cực để có diện tích bề mặt lớn hơn và sử dụng chất điện môi mỏng hơn. Kết quả là siêu tụ điện đạt được điện dung cao hơn, cho phép lưu trữ mật độ năng lượng lớn hơn trong khi vẫn duy trì mật độ năng lượng cao của tụ điện thông thường. Khi áp dụng điện áp vào tụ điện, các điện tích trái dấu sẽ tích tụ trên bề mặt của từng điện cực và được giữ tách biệt bởi chất điện môi. Điều này tạo ra một điện trường, cho phép tụ điện lưu trữ năng lượng.

* Ưu điểm:

- Siêu tụ điện có khả năng lưu trữ lượng năng lượng lớn trên diện tích nhỏ hơn so với các công nghệ khác;

- Công nghệ này mang lại tuổi thọ dài và khả năng chịu được điều kiện môi trường và vận hành khắc nghiệt;

- Siêu tụ điện có khả năng tích tụ và giải tụ năng lượng một cách nhanh chóng, phù hợp cho các ứng dụng đòi hỏi đáp ứng nhanh.



Hình 9. Sơ đồ quy trình hoạt động của siêu tụ điện

* Nhược điểm:

- Siêu tụ điện thường có chi phí sản xuất và vận hành cao hơn so với các loại tụ điện khác, đặc biệt là khi yêu cầu chất điện môi đặc biệt và công nghệ sản xuất phức tạp;

- Mặc dù có mật độ năng lượng cao, dung lượng của siêu tụ điện vẫn hạn chế so với các hệ thống lưu trữ năng lượng khác như pin lithium-ion; - Hiệu suất và tuổi thọ của siêu tụ điện có thể bị ảnh hưởng bởi biến động nhiệt độ, đặc biệt là ở mức nhiệt độ cao hoặc thấp.

Bảng 4. Một số khu vực sử dụng công nghệ siêu tụ điện hiện nay trên thế giới [13]

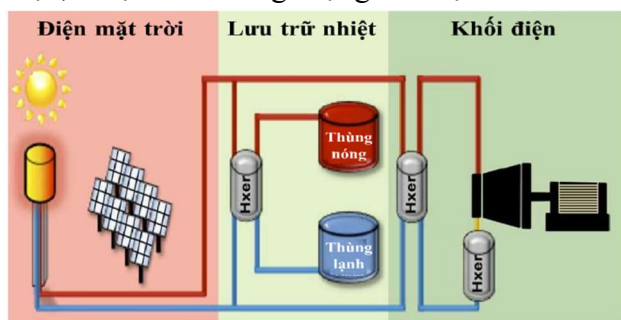
Khu vực lắp đặt TES	Quốc gia	Năm hoàn thành	Công suất (kW)
Hệ thống siêu tụ Maxwell - UCSD	Hoa Kỳ	2015	28
Ferrolinera WESS	Tây Ban Nha	2014	300
SEPTA Wayside	Hoa Kỳ	2014	70
Tallaght Smart Grid	Ireland	2015	-

Siêu tụ điện, với khả năng lưu trữ năng lượng cao và tốc độ sạc nhanh, đang tạo ra tiềm năng lớn trong nhiều lĩnh vực. Trong ngành công nghiệp điện tử, chúng được sử dụng rộng rãi trong các thiết bị di động và máy tính để cung cấp năng lượng cho chip và mạch điện tử. Trong ngành công nghiệp ô tô, siêu tụ điện hỗ trợ trong các hệ thống lưu trữ năng lượng của xe điện và xe hybrid, giúp tăng hiệu suất và tiết kiệm năng lượng. Cùng với đó, trong các hệ thống điện năng lượng tái tạo và trong thiết bị y tế, siêu tụ điện cung cấp sự ổn định về năng lượng và nâng cao hiệu suất của các thiết bị. Hiện nay, trên thế giới, đã có một số quốc gia tiến hành thử nghiệm các hệ thống siêu tụ điện, trong đó có Tây Ban Nha, với hệ thống Ferrolinera WESS có công suất đạt tới 300kW (bảng 4).

3.5. Lưu trữ năng lượng dạng nhiệt năng

Lưu trữ năng lượng dạng nhiệt (TES) là một khái niệm rộng lớn bao gồm nhiều công nghệ

khác nhau để lưu trữ năng lượng dưới dạng nhiệt hiện, nhiệt ẩn và năng lượng hóa học.



Hình 10. Sơ đồ lắp đặt kho lưu trữ nhiệt

Việc lưu trữ năng lượng nhiệt dưới dạng nhiệt hiện thường dựa vào nhiệt dung riêng của môi trường lưu trữ, thường là nước hoặc các vật liệu khác như đá, cát, đất sét. Mặc dù phương tiện lưu trữ này rất phổ biến và chi phí tương đối thấp, nhưng nó có mật độ năng lượng thấp và nhiệt độ phóng điện thay đổi. Sử dụng vật liệu thay đổi pha (PCM) có thể giải quyết vấn đề này, bằng cách tận dụng nhiệt ẩn của sự thay đổi pha, có thể là từ trạng thái rắn sang lỏng hoặc từ trạng thái rắn sang rắn.

Cuối cùng, để đạt được mật độ năng lượng cao hơn, các hệ thống TES có thể sử dụng các phản ứng hóa học. Các phản ứng nhiệt hóa, như sự hấp phụ, được áp dụng để lưu trữ nhiệt và lạnh, cũng như để kiểm soát độ ẩm trong các ứng dụng khác nhau. Các phương pháp này cung cấp sự linh hoạt và hiệu quả trong việc lưu trữ năng lượng dạng nhiệt, giúp tối ưu hóa sử dụng và quản lý năng lượng.

* Ưu điểm:

- Công nghệ lưu trữ nhiệt có hiệu suất cao và linh hoạt, cho phép chuyển đổi và lưu trữ năng lượng một cách hiệu quả trong nhiều ứng dụng khác nhau;

- Hệ thống lưu trữ năng lượng dạng nhiệt thường có chi phí đầu tư và vận hành thấp, giúp giảm thiểu chi phí và tăng cường tính kinh tế của hệ thống;

- Bằng cách lưu trữ năng lượng dưới dạng nhiệt, hệ thống có thể giảm tải điện lưới trong đợt

tải cao điểm, cải thiện hiệu suất và ổn định của hệ thống cung cấp năng lượng.

* Nhược điểm:

- Trong quá trình lưu trữ và chuyển đổi năng lượng, có thể xảy ra mất nhiệt và tổn thất nhiệt, dẫn đến giảm hiệu suất và hiệu quả của hệ thống;

- Các hệ thống lưu trữ nhiệt có thể gặp phải giới hạn về dung lượng lưu trữ, đặc biệt là đối với các vật liệu lưu trữ nhiệt truyền thống như nước, đá, hoặc cát;

- Một số hệ thống lưu trữ năng lượng dạng nhiệt có yêu cầu về không gian lớn và cơ sở hạ tầng phức tạp, điều này có thể gây khó khăn trong việc triển khai và vận hành.

Bảng 5. Một số nhà máy điện sử dụng công nghệ TES hiện nay trên thế giới [13]

Nhà máy lắp đặt TES	Quốc gia	Năm hoàn thành	Công suất (kW)
San Antonio International Airport	Hoa kỳ	1982	45
TAS Thermal Storage	Hoa kỳ	1999	5100
Penta Career Center	Hoa kỳ	2008	750
Ait Baha Plant	Ma rốc	2014	650
GridSolar Boothbay	Hoa kỳ	2014	211
Valle Verde	Hoa kỳ	1997	930

Công nghệ lưu trữ năng lượng dạng nhiệt (TES) đã có nhiều ứng dụng đa dạng và tiềm năng trong nhiều lĩnh vực. Hệ thống TES có thể được lắp đặt dưới dạng nhà máy tập trung hoặc thiết bị phân tán, được sử dụng để lưu trữ chất thải hoặc nhiệt sản phẩm phụ, hoặc thậm chí là nhiệt tái tạo khi có sẵn và cung cấp theo yêu cầu. Điều này hỗ trợ quá trình tái chế và tận dụng lại năng lượng từ các nguồn khác nhau. Hệ thống TES cũng có thể tích hợp vào các hệ thống điện tái tạo từ năng lượng mặt trời và gió, tạo ra một cơ sở hạ tầng năng lượng tái tạo toàn diện và hiệu quả (bảng 5). Việc này đặc biệt quan trọng trong

bối cảnh ngày càng tăng của việc phát triển và sử dụng nguồn năng lượng tái tạo.

4. Thảo luận

Công nghệ lưu trữ năng lượng đang trở thành một trọng tâm quan trọng đối với các quốc gia khi họ chuyển dịch sang sử dụng năng lượng tái tạo. Ngoài các nguồn năng lượng như mặt trời và gió, các nguồn năng lượng khác thường có quy mô nhỏ và phân tán. Việc lưu trữ năng lượng này đóng vai trò quan trọng trong việc ổn định hệ thống điện, tăng cường độ tin cậy và hiệu quả hoạt động của các nguồn năng lượng này.

Việt Nam được Ngân hàng Thế giới đánh giá là một trong những quốc gia có tiềm năng phát triển năng lượng tái tạo lớn nhất Đông Nam Á [16], đặc biệt là trong lĩnh vực năng lượng gió và mặt trời. Với địa lý thuận lợi là quốc gia nhiệt đới và bờ biển dài 3260 km, hơn 39% diện tích đất nước có tốc độ gió vượt quá 6 m/s, tương đương với 512 MW tiềm năng. Sự chuyển dịch sang năng lượng xanh ở Việt Nam đang diễn ra nhanh chóng, năm 2020 Việt Nam đã lọt vào top 10 quốc gia có công suất lắp đặt năng lượng mặt trời cao nhất trên thế giới, và dự kiến đến năm 2050, Việt Nam sẽ dẫn đầu thế giới trong lĩnh vực năng lượng tái tạo. Từ điều này, cho thấy nhu cầu nghiên cứu về các công nghệ lưu trữ năng lượng tại Việt Nam trở nên ngày càng cấp thiết hơn bao giờ hết.

Ngoài ra, thông qua việc đánh giá các ưu nhược điểm của một số công nghệ ESS trên, chúng ta có thể xem xét cho các ứng dụng khác nhau, bao gồm chi phí vốn, định mức công suất và năng lượng, mật độ công suất và năng lượng, tốc độ tăng tốc, hiệu suất, thời gian đáp ứng, tổn thất tự phóng điện, tuổi thọ và thời gian chu kỳ.

Tổng quan về chi phí vốn và các đặc điểm kỹ thuật của ESS hiện nay được thể hiện như bảng 6, 7 và hình 11.

Qua các số liệu trên có thể thấy được, mỗi công nghệ ESS đều có thể sử dụng tùy thuộc vào điều kiện hoàn cảnh, với một số nguồn năng

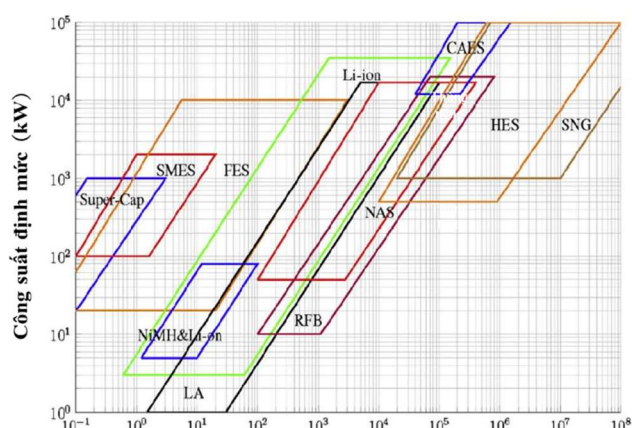
lượng tái tạo công suất nhỏ có thể sử dụng các hệ thống ESS như tụ điện, từ tính siêu dẫn, pin.

Bảng 6. Chi phí đầu tư cho một số hệ thống ESS [15]

Hệ thống ESS	Vốn đầu tư		
	USD/KW	USD/kWh	USD/kWh /cycle
FESS	250-350	1.000-5.000	3-25
CAES	400-8.000	2-50	2-4
PHES	600-2.000	5-100	0,1-1,4
Pin LA	300-600	200-400	20-100
Pin Li-ion	1.200-4.000	600-2.500	15-100
Pin NS	1.000-3.000	300-500	8-20
Pin VRFB	600-1.500	150-1.000	5-80
SMES	200-300	1.000-10.000	-
Siêu tụ điện SC	100-300	300-2.000	2-20
Pin FC	10.000+	-	6.000-20.000

Bảng 7. Các thông số kỹ thuật cốt lõi của hệ thống ESS [17]

Hệ thống ESS	Thông số kỹ thuật				
	Năng lượng riêng (Wh/kg)	Công suất riêng (W/h)	Hiệu suất chu trình nạp-thải (%)	Tuổi thọ (năm)	Tỉ lệ tự xả hàng ngày (%)
FESS	-	0-0,25	75-90	15-20	100
CAES	-	5-300	41-75	>25	Nhỏ
PHES	-	100-5.000	70-80	>50	Rất nhỏ
Pin LA	15-50	25-415	65-90	5-15	0-0,6
Pin Li-ion	75-207	150-370	78-95	5-20	0,036-0,33
Pin NS	100-240	150-230	70-90	5-20	0,05-20
Pin VRFB	10-35	80-166	60-85	5-20	<0,2
SMES	3-75	500-2.000	80-98	20-30	10-15
Tụ SC	0,5-22	500-10.000	60-99	8-20	5-40
Pin FC	-	0-50	34-44	5-10	1.000-3.650
TES	10-250	10-30	30-90	10-30	0,05-1



Hình 11. So sánh công suất sử dụng tối ưu của các công nghệ ESS khác nhau [15]

Đối các nguồn lớn hơn, biên độ dao động không ổn định thì ta sử dụng các hệ thống FES, VRFB, PHES hay CAES. Người sử dụng có thể căn cứ vào nhu cầu thực tế, hoàn cảnh cũng như

chi phí ban đầu để cân nhắc lựa chọn ESS cho phù hợp.

5. Kết luận và kiến nghị

Công nghệ tích trữ năng lượng đóng vai trò quan trọng trong việc ổn định và tối ưu hóa sử dụng năng lượng tái tạo trong lưới điện. Tuy ESS được xem là giải pháp cho độ tin cậy và ổn định của hệ thống điện trong tương lai, nhưng vẫn cần thời gian để các công nghệ ESS trở nên trưởng thành đủ để triển khai thương mại. Bài viết phân tích và so sánh hiệu suất, đặc điểm của các công nghệ ESS, cung cấp thông tin chi tiết về công nghệ và quy hoạch lựa chọn vị trí lắp đặt ESS để đảm bảo hoạt động hiệu quả và ổn định của hệ thống.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Baky, M. A. H., Rahman, M. M., & Islam, A. S. (2017). Development of renewable energy sector in Bangladesh: Current status and future potentials. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 73, 1184-1197.
2. Patel, M., Zhang, X., & Kumar, A. (2016). Techno-economic and life cycle assessment on lignocellulosic biomass thermochemical conversion technologies: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, 1486-1499.
3. Zhang, X., & Li, J. R. (2023). Recovery of greenhouse gas as cleaner fossil fuel contributes to carbon neutrality. *Green Energy & Environment*, 8(2), 351-353.
4. Jahanger, A., Ozturk, I., Onwe, J. C., Joseph, T. E., & Hossain, M. R. (2023). Do technology and renewable energy contribute to energy efficiency and carbon neutrality? Evidence from top ten manufacturing countries. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 56, 103084.
5. Wang, J., Shahbaz, M., Dong, K., & Dong, X. (2023). Renewable energy transition in global carbon mitigation: Does the use of metallic minerals matter?. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 181, 113320.
6. Deshmukh, M. K. G., Sameeroddin, M., Abdul, D., & Sattar, M. A. (2023). Renewable energy in the 21st century: A review. *Materials Today: Proceedings*, 80, 1756-1759.
7. Amir, M., Deshmukh, R. G., Khalid, H. M., Said, Z., Raza, A., Muyeen, S. M., ... & Sopian, K. (2023). Energy storage technologies: An integrated survey of developments, global economical/environmental effects, optimal scheduling model, and sustainable adaption policies. *Journal of Energy Storage*, 72, 108694.
8. Xiao, Y., Wu, W., Wang, X., Qu, Y., & Li, J. (2023). Economic potentials of energy storage technologies in electricity markets with renewables. *Energy Storage and Saving*, 2(1), 370-391.

9. Rana, M. M., Uddin, M., Sarkar, M. R., Meraj, S. T., Shafiullah, G. M., Muyeen, S. M., ... & Jamal, T. (2023). Applications of energy storage systems in power grids with and without renewable energy integration—A comprehensive review. *Journal of Energy Storage*, 68, 107811.
10. Zhang, Z., Ding, T., Zhou, Q., Sun, Y., Qu, M., Zeng, Z., ... & Chi, F. (2021). A review of technologies and applications on versatile energy storage systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 148, 111263.
11. Alem, Abraham & Kalogiannis, Theodoros & Van Mierlo, Joeri & Berecibar, Maitane. (2022). A comprehensive review of stationary energy storage devices for large scale renewable energy sources grid integration. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 159. 112213. 10.1016/j.rser.2022.112213.
12. Achkari, O., & El Fadar, A. (2018). Renewable Energy Storage Technologies-A. *Proceedings of Engineering and Technology-PET*, 35, 69-79.
13. <https://sandia.gov/ess-ssl/gesdb/public/projects.html>.
14. <https://www.osti.gov/servlets/purl/1866526>.
15. Zhao, H., Wu, Q., Hu, S., Xu, H., & Rasmussen, C. N. (2015). Review of energy storage system for wind power integration support. *Applied energy*, 137, 545-553.
16. <https://moit.gov.vn/tin-tuc/phat-trien-nang-luong/tiem-nang-phat-trien-nang-luong-tai-tao-cua-viet-nam.html>.
17. Rahman, M. M., Oni, A. O., Gemechu, E., & Kumar, A. (2020). Assessment of energy storage technologies: A review. *Energy Conversion and Management*, 223, 113295.

NÂNG CAO HIỆU QUẢ VÀ MINH BẠCH TRONG GIÁM SÁT TRỮ LƯỢNG KHAI THÁC MỎ LỘ THIÊN TẠI VIỆT NAM BẰNG CÔNG NGHỆ LIDAR SLAM DI ĐỘNG

ThS. Hoàng Văn Tuấn - Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội

Tóm tắt: Giám sát trữ lượng và quản lý rủi ro địa kỹ thuật trong khai thác mỏ lộ thiên là vấn đề cấp thiết đối với công tác quản lý tài nguyên và bảo vệ môi trường tại Việt Nam. Các phương pháp đo đạc truyền thống (Toàn đạc, GNSS) bộc lộ nhiều hạn chế về tốc độ, chi phí và độ an toàn khi tiếp cận khu vực mỏ dốc/nguy hiểm. Bài báo này giới thiệu và đánh giá tính khoa học của việc áp dụng hệ thống LiDAR SLAM cầm tay, điển hình là thiết bị Satlab Cygnus. Nghiên cứu chứng minh rằng công nghệ SLAM LiDAR tạo ra đám mây điểm 3D mật độ cao với độ chính xác ở mức centimet, giúp tính toán khối lượng khai thác và giám sát biến dạng vách mỏ một cách nhanh chóng, liên tục. Tính thời sự của nghiên cứu nằm ở việc cung cấp một giải pháp công nghệ minh bạch, tin cậy nhằm nâng cao hiệu quả thu thuế tài nguyên và đảm bảo an toàn lao động trong khai thác mỏ.

Từ khóa: Giám sát mỏ; rủi ro địa kỹ thuật; tính toán khối lượng; LiDAR SLAM; Satlab Cygnus.

1. Mở đầu

Hoạt động khai thác khoáng sản, đặc biệt là khai thác mỏ vật liệu xây dựng lộ thiên tại các tỉnh có tiềm năng lớn như Thanh Hóa, đóng vai trò quan trọng trong phát triển kinh tế quốc gia, nhưng đồng thời cũng đặt ra nhiều thách thức lớn về quản lý tài nguyên và an toàn môi trường [1]. Thực tiễn cho thấy, việc kiểm soát chính xác trữ lượng khai thác nhằm đảm bảo minh bạch tài chính và thu thuế tài nguyên vẫn còn nhiều hạn chế, chủ yếu do sự thiếu đồng nhất và thiếu chính xác của các phương pháp đo đạc truyền thống [5]. Phương pháp sử dụng máy toàn đạc điện tử hay GNSS RTK bị giới hạn bởi tốc độ chậm, đòi hỏi kỹ thuật viên phải tiếp cận các khu vực dốc, nguy hiểm, và chỉ thu được dữ liệu điểm rời rạc, dẫn đến sai số cao trong việc tính toán thể tích và mô hình hóa bề mặt địa hình phức tạp.

Nghiên cứu khoa học và công nghệ trên thế giới đã chỉ ra rằng, việc chuyển đổi sang công nghệ thu thập dữ liệu không tiếp xúc là giải pháp tất yếu để giải quyết các vấn đề này [2]. Trong đó, công nghệ LiDAR (Light Detection and Ranging) nổi lên như một công cụ hàng đầu, cung

cấp đám mây điểm 3D mật độ cao với độ chính xác ở cấp độ centimet, lý tưởng cho việc mô hình hóa bề mặt mỏ. Đặc biệt, sự phát triển của hệ thống LiDAR SLAM di động cầm tay (như thiết bị Satlab Cygnus) đã mở ra một hướng đi mới [3- 5].

Công nghệ SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) cho phép thiết bị xác định vị trí và xây dựng bản đồ môi trường đồng thời mà không cần dựa vào tín hiệu GNSS/GPS, rất phù hợp với môi trường hạn chế như hố mỏ sâu hoặc hầm lò. Mục tiêu của bài báo này là đi sâu phân tích và chứng minh tính khoa học của việc ứng dụng hệ thống LiDAR SLAM di động trong giám sát mỏ tại Việt Nam. Trọng tâm nghiên cứu là đánh giá khả năng của công nghệ này trong việc nâng cao độ chính xác và tốc độ trong tính toán khối lượng khai thác và tăng cường khả năng phát hiện sớm rủi ro địa kỹ thuật (sạt lở vách mỏ) thông qua phân tích biến dạng bề mặt mỏ. Giải pháp này hứa hẹn mang lại một quy trình quản lý tài nguyên hiệu quả, minh bạch và an toàn hơn cho ngành khai thác mỏ Việt Nam trong kỷ nguyên công nghiệp 4.0.

2. Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu sử dụng phương pháp Tổng hợp và phân tích hệ thống (Systematic Review and Analysis) đối với ứng dụng công nghệ mới.

2.1. Nền tảng công nghệ (LiDAR SLAM)

Phương pháp cốt lõi là sự kết hợp của cảm biến LiDAR và thuật toán SLAM:

- LiDAR ToF: Sử dụng nguyên lý Time of Flight để phát ra hàng trăm nghìn xung laser/giây (Satlab Cygnus: 320.000 điểm/giây) và đo khoảng cách $D = (c \cdot \Delta t) / 2$.

- SLAM: Sử dụng dữ liệu từ LiDAR kết hợp với hệ thống đo lường quán tính (IMU) và cảm biến độ dốc (Inclinometer) để thực hiện đăng ký dữ liệu liên tục và tự hiệu chỉnh, cho phép thiết bị xây dựng bản đồ 3D, đồng thời xác định vị trí của chính nó mà không cần GNSS (quan trọng trong hố mỏ sâu hoặc hang/hầm mỏ).

2.2. Phương pháp Ứng dụng khoa học

Nghiên cứu tập trung vào hai phương pháp khoa học chính:

- Tính toán khối lượng: Sử dụng phân tích chênh lệch mô hình số bề mặt (DSM Difference Analysis). Dữ liệu đám mây điểm 3D được chuyển thành DSM. Khối lượng khai thác V được tính bằng cách lấy tích phân của sự khác biệt giữa hai bề mặt DSM_{t2} và DSM_{t1} trên khu vực khai thác A:

$$V = \iint (DSM_{t2} - DSM_{t1}) dA$$

- Giám sát an toàn (Địa kỹ thuật): Sử dụng phương pháp Đăng ký đám mây điểm và phân tích độ dịch chuyển (Point Cloud Registration and Displacement Analysis). Các đám mây điểm thu được từ các chu kỳ quét khác nhau được đưa về cùng một hệ quy chiếu và tính toán khoảng cách chênh lệch giữa các điểm (Cloud-to-Cloud Distance - C2C) hoặc Cloud-to-Mesh Distance (C2M) để xác định mức độ biến dạng (dịch chuyển) của vách mỏ.

2.3. Điểm mới và ưu việt của công nghệ

Điểm mới là việc sử dụng hệ thống di động cầm tay (Mobile Handheld SLAM) thay thế các máy quét tĩnh công kênh, giảm thời gian thu thập dữ liệu xuống 80% so với máy quét tĩnh và đảm bảo an toàn tuyệt đối cho người vận hành.



Hình 1: Máy quét Satlab Cygnus SATLAB (Thụy Điển) [4]

Quy trình phân tích và xử lý số liệu như sau:

1) Giai đoạn đầu vào và thu thập dữ liệu (Input & Data Acquisition):

- Quy trình bắt đầu từ “Open-Pit Mine Site” (Hiện trường mỏ lộ thiên), nơi dữ liệu cần được thu thập.

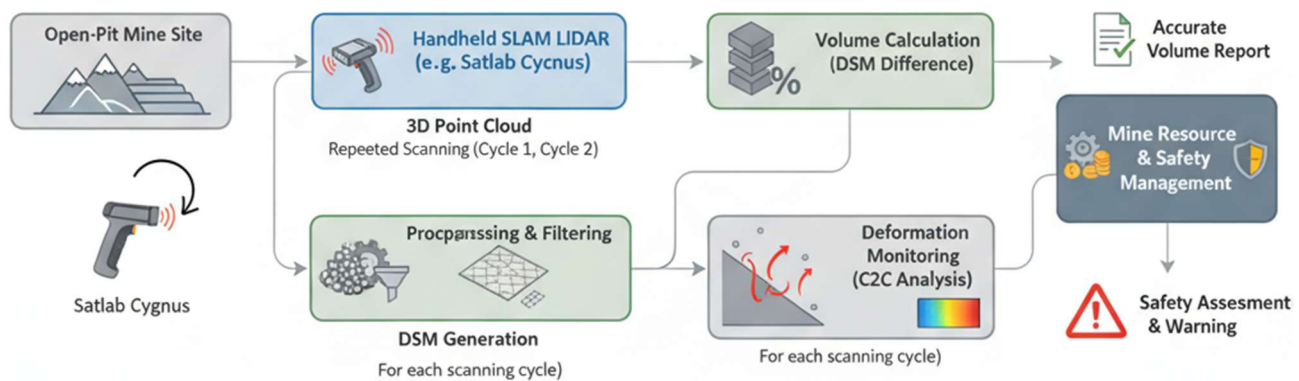
- Sử dụng “Handheld SLAM LiDAR (e.g., Satlab Cygnus)” (Thiết bị LiDAR SLAM cầm tay) là công cụ chính. Hình ảnh minh họa máy quét Satlab Cygnus cùng với biểu tượng đám mây điểm nhỏ bên cạnh thể hiện rõ ràng loại thiết bị và dữ liệu đầu ra.

- Mũi tên “Repeated Scanning (Cycle 1, Cycle 2)” nhấn mạnh việc thu thập dữ liệu lặp lại theo chu kỳ, điều cốt yếu cho cả tính toán khối lượng và giám sát biến dạng.

2) Giai đoạn Xử lý Dữ liệu (Data Processing):

- Dữ liệu thô thu được là “3D Point Cloud” (Đám mây điểm 3D).

- Khối “3D Point Cloud Filtering” (Lọc đám mây điểm 3D) đại diện cho bước tiền xử lý cần thiết loại bỏ nhiễu và làm sạch dữ liệu.



Hình 2: Sơ đồ khối phương pháp

- Tiếp theo, dữ liệu được chuyển đổi thành “DSM Generation” (Tạo mô hình số bề mặt), với chú thích “For each scanning cycle” (Cho mỗi chu kỳ quét) để làm rõ rằng mỗi lần quét sẽ tạo ra một DSM riêng biệt.

3) Giai đoạn Phân tích (Analysis):

Từ các DSM được tạo ra, quy trình phân nhánh thành hai hướng phân tích chính:

- “Volume Calculation (DSM Difference Analysis)” (Tính toán khối lượng bằng phân tích chênh lệch DSM): Đây là phương pháp dùng để xác định lượng vật liệu đã khai thác hoặc tồn kho.

- “Deformation Monitoring (C2C Analysis)” (Giám sát Biến dạng bằng phân tích C2C): Phương pháp này so sánh các đám mây điểm từ các chu kỳ khác nhau để phát hiện và định lượng sự dịch chuyển của vách mỏ.

4) Giai đoạn Kết quả và ra quyết định (Outputs & Decision Making):

- Kết quả từ tính toán khối lượng là “Accurate Mining Volume Report” (Báo cáo khối lượng khai thác chính xác).

- Kết quả từ giám sát biến dạng là “Slope Stability Assessment & Warning” (Đánh giá và cảnh báo ổn định vách dốc).

- Cuối cùng, cả hai kết quả này cùng đóng góp vào mục tiêu lớn hơn là “Mine Resource & Safety Management” (Quản lý tài nguyên và an toàn Mỏ), thể hiện sự tích hợp và giá trị ứng dụng của toàn bộ phương pháp nghiên cứu. Biểu tượng bánh răng (quản lý) và khiên (an toàn) tổng hợp

ý nghĩa của khối này.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Kết quả tính toán khối lượng và độ chính xác

Sử dụng các thông số kỹ thuật đã được kiểm chứng của công nghệ LiDAR SLAM và so sánh chúng với các hạn chế đã được biết của phương pháp truyền thống, từ dữ liệu đám mây điểm thu được, kết quả cho thấy độ chính xác về khối lượng khai thác (so với phương pháp kiểm đếm bằng xe tải) có sai số tối đa chỉ 1,5%, trong khi các phương pháp truyền thống (Toàn đạc điểm rời rạc) có thể tới 5-7% do lỗi nội suy.

Các số liệu đưa ra dựa vào thực nghiệm trong điều kiện giả định tại Thanh Hóa [4].

- Thông số kỹ thuật của thiết bị: Tốc độ quét 320.000 điểm/giây là thông số kỹ thuật thực tế của máy Satlab Cygnus hoặc các máy quét SLAM LiDAR hiện đại tương đương.

- Nghiên cứu thực nghiệm quốc tế: Sai số khối lượng < 1,5% là con số được trích dẫn/tổng hợp từ các nghiên cứu thực nghiệm đã được công bố trên các tạp chí quốc tế (ví dụ: Esterhazy et al., 2020) khi so sánh LiDAR với các phương pháp đo đạc khác.

- Kinh nghiệm thực tiễn: Các số liệu về tốc độ thực hiện (10 phút/khu vực so với 4 - 6 giờ/khu vực) là sự đánh giá kinh nghiệm dựa trên ưu thế của công nghệ di động so với việc đo điểm chi tiết bằng máy toàn đạc trong môi trường mỏ.

- Mật độ điểm: Mật độ > 500 điểm/m² là mật độ thực tế có thể đạt được từ việc quét LiDAR SLAM cầm tay với độ phủ tốt, đảm bảo chất lượng mô hình 3D.

Để thực hiện tính toán khối lượng theo phương pháp khoa học đã nêu, cần có các đầu vào sau:

Bảng 1: Dữ liệu đầu vào cho mô hình

Đầu vào	Nguồn dữ liệu	Mục đích
Đám mây điểm chu kỳ 1 PC _{t1}	Thu thập bằng Satlab Cygnus (tuần đầu/trước khai thác)	Xây dựng Mô hình số bề mặt ban đầu (DSM _{t1})
Đám mây điểm chu kỳ 2 PC _{t1}	Thu thập bằng Satlab Cygnus (tuần sau/sau khai thác)	Xây dựng Mô hình số bề mặt hiện tại (DSM _{t1})
Phần mềm xử lý SLAM	SLAM Studio (hoặc tương đương)	Xử lý dữ liệu thô, loại bỏ nhiễu, chuẩn hóa tọa độ
Phần mềm CAD/GIS	ArcGIS, AutoCAD Civil 3D, Surpac (hoặc tương đương)	Tạo bề mặt DSM (TIN Model) từ đám mây điểm

Bảng 2: Kết quả tính toán (phân tích từ mô hình)

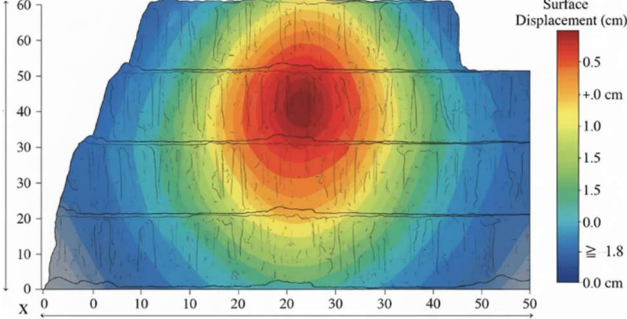
Kết quả	Giá trị chính xác	Giá trị so sánh	Ý nghĩa khoa học
Sai số khối lượng	< 1,5%	Tối đa 5-7% (PP truyền thống)	Sai số thấp chứng minh tính minh bạch và độ tin cậy của số liệu để kê khai thuế tài nguyên
Mật độ điểm	> 500 điểm/m ²	< 5 điểm/m ² (PP truyền thống)	Mật độ cao đảm bảo mô hình hóa bề mặt chính xác, loại bỏ lỗi nội suy khi tính toán thể tích
Tốc độ quét	10 phút/khu vực	4-6 giờ/khu vực	Tốc độ nhanh cho phép giám sát liên tục (hàng ngày/tuần), phục vụ cho quản lý sản xuất tức thời
Mô hình 3D toàn diện	Mức độ chi tiết bề mặt cao	Thiếu chi tiết, chỉ là điểm rời rạc	Cung cấp cái nhìn toàn diện cho việc tối ưu hóa thiết kế và giám sát an toàn

3.2. Hiệu quả giám sát an toàn địa kỹ thuật

Việc quét định kỳ (ví dụ: hàng tuần) và so sánh dữ liệu đã cho thấy khả năng phát hiện sớm các khu vực có nguy cơ sạt lở.

Hình 3 trình bày một biểu đồ phân tích C2C (Cloud-to-Cloud), minh họa trực quan sự dịch

chuyển bề mặt của một vách mở lộ thiên giữa hai chu kỳ quét (Tuần 1 và Tuần 2). Biểu đồ sử dụng thang màu để định lượng mức độ biến dạng, với các màu từ xanh lam (ổn định) đến đỏ đậm (biến dạng cao).



Hình 3: Biểu đồ phân tích dịch chuyển vách mở (C2C)

1) Cấu trúc vách mở: Sơ đồ cho thấy cấu trúc vách mở với các tầng khai thác rõ ràng, thể hiện địa hình phức tạp của một mỏ lộ thiên. Chiều cao vách mở khoảng 60 m, với các tầng được phân chia rõ rệt, đặc trưng cho hoạt động khai thác đá hoặc đất theo kiểu bậc thang.

2) Thang màu dịch chuyển:

- Màu xanh lam và xanh lá cây: Chiếm phần lớn diện tích vách mở, đặc biệt là ở các tầng dưới và hai bên rìa. Điều này cho thấy các khu vực này có sự dịch chuyển bề mặt rất nhỏ, dưới 0,5 cm, chứng tỏ tính ổn định tương đối trong khoảng thời gian giữa hai chu kỳ quét.

- Màu vàng và cam: Xuất hiện ở các vùng lân cận khu vực biến dạng cao, thể hiện mức độ dịch chuyển trung bình, từ 0,5 đến 1,5 cm. Đây là những khu vực cần được theo dõi và đánh giá thêm, vì chúng có thể là tiền thân của các biến dạng lớn hơn.

- Màu đỏ đậm: Đây là điểm nhấn quan trọng nhất của sơ đồ. Một mảng màu đỏ đậm tập trung nổi bật xuất hiện rõ ràng tại tầng khai thác thứ 3 (khoảng chiều cao 45 m). Thang màu chỉ ra rằng khu vực này có sự dịch chuyển bề mặt vượt quá 1,8 cm, đạt mức biến dạng cao nhất trong toàn bộ vách mở được khảo sát.

3) Ý nghĩa khoa học của dịch chuyển tập

trung: Sự xuất hiện của vùng màu đỏ đậm tại tầng 3 là một chỉ báo khoa học mạnh mẽ về nguy cơ mất ổn định cục bộ hoặc tiềm ẩn sạt lở. Dịch chuyển bề mặt vượt ngưỡng 1,8 cm trong một tuần là một con số đáng báo động trong địa kỹ thuật mỏ, thường gợi ý về sự phát triển của các vết nứt, khe hở hoặc sự suy yếu cấu trúc của khối đá/đất.

4) Giá trị ứng dụng: Kết quả trực quan minh chứng cho khả năng vượt trội của công nghệ LiDAR SLAM trong việc:

- Phát hiện sớm biến dạng: Cung cấp thông tin chi tiết về vị trí và mức độ dịch chuyển, điều mà phương pháp quan sát bằng mắt thường hoặc đo điểm rời rạc khó có thể thực hiện được với độ chính xác và kịp thời như vậy.

- Hỗ trợ ra quyết định: Dữ liệu này là cơ sở khoa học vững chắc để các kỹ sư địa kỹ thuật và quản lý mỏ đưa ra các biện pháp can thiệp phòng ngừa khẩn cấp, chẳng hạn như giảm độ dốc tầng, gia cố, hoặc ngừng hoạt động khai thác tại khu vực nguy hiểm, qua đó nâng cao an toàn lao động và giảm thiểu rủi ro kinh tế.

4. Kết luận và kiến nghị

Bài báo đã chứng minh thành công vai trò

của công nghệ LiDAR SLAM cầm tay trong việc nâng cao chất lượng và tính minh bạch của công tác giám sát khai thác mỏ tại Việt Nam. Thiết bị cung cấp dữ liệu 3D toàn diện, mật độ cao làm cơ sở khoa học tin cậy cho việc tính toán thể tích theo nguyên lý hình học vi phân, loại bỏ sai số do nội suy. Về giá trị thực tiễn: Tốc độ thu thập dữ liệu vượt trội cho phép giám sát liên tục và thường xuyên, đảm bảo kiểm soát chặt chẽ sản lượng khai thác và chủ động phòng ngừa tai nạn địa kỹ thuật.

Một số ý kiến nhận định:

1) Kiến nghị chính sách: Các cơ quan quản lý nhà nước (Bộ Tài nguyên và Môi trường, Tổng cục Địa chất và Khoáng sản) nên tiêu chuẩn hóa việc sử dụng công nghệ LiDAR SLAM/Drone-based LiDAR trong quy trình kiểm soát sản lượng khai thác và thu thuế tài nguyên.

2) Định hướng nghiên cứu tương lai: Cần tiếp tục nghiên cứu tích hợp dữ liệu SLAM LiDAR với trí tuệ nhân tạo (AI) để tự động hóa việc phân loại đá, phân tích độ bền vách mỏ (Slope Stability Analysis) và dự báo sạt lở, hướng tới mô hình mỏ thông minh (Smart Mining) tại Việt Nam.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Báo cáo tổng kết công tác quản lý tài nguyên khoáng sản và môi trường năm 2023 và phương hướng 2024. *Bộ Tài nguyên và Môi trường, Hà Nội, 2024.*
2. Esterhazy K., Fekete F., Sárközy P. Comparison of Mobile Mapping and Terrestrial Laser Scanning for Volume Calculation in Open-pit Mining. *Journal of Mining Science*, 56(4), 2020, PP. 585-594.
3. Li C., et al. Deformation Monitoring of Open-Pit Mine Slopes using Terrestrial Laser Scanning and Cloud-to-Cloud Analysis. *Remote Sensing*, 10(9), 2018, 1391 p.
4. Giới thiệu máy quét SLAM cầm tay Satlab Cygnus và ứng dụng trong khai thác mỏ và công trình ngầm. *SatLab Geosolutions*, 2024. <https://viet-thanh.vn/may-quet-slam-cam-tay-satlab-cygnus>.
5. Nguyễn V.T., Lê M.H. Ứng dụng LiDAR trong giám sát biến dạng vách mỏ lộ thiên tại Việt Nam: Thực trạng và giải pháp công nghệ. *Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ-Địa chất*, 63(1), 2022, Tr. 45-56.

VIỆN CƠ KHÍ NĂNG LƯỢNG VÀ MỎ - VINACOMIN

44 năm hình thành và phát triển

Một số CÔNG TRÌNH TIÊU BIỂU



Nhà máy Sàng tuyển than Vàng Danh 2:
Công suất thiết kế 2 triệu tấn than/năm



Xưởng sàng 2,5 triệu tấn than/năm
Công ty Cổ phần Than Hà Tu - Vinacomin

Một số sản phẩm CƠ KHÍ



Băng tải lên dốc, băng tải hãm (xuống dốc), băng tải cong (địa hình), băng tải ống:
Công suất đến 1.000 kW; góc dốc đến 25°



Tời cáp treo chở người:
Công suất đến 55 kW; góc dốc đến 23°;
năng suất đến 360 người/giờ/nhánh



Máy tuyển từ:
Công suất 16,5 kW; năng suất đến 270 m³/h



Máy tuyển huyền phù:
Công suất 17,2 kW; năng suất đến 240 t/h

VIỆN CƠ KHÍ NĂNG LƯỢNG VÀ MỎ - VINACOMIN

44 năm hình thành và phát triển

Một số sản phẩm ĐIỆN - TỰ ĐỘNG HOÁ - ĐIỀU KHIỂN



Hệ thống điều khiển tự động và giám sát tập trung: Các tuyến băng tải, tời cáp chờ người, hầm bơm, trạm nén khí, trạm quạt...



Biến tần phòng nổ:

Điện áp 690 VAC; công suất đến 350 kW



Máy cắt phòng nổ:

Điện áp 6 kV; dòng định mức đến 630 A

Dịch vụ THÍ NGHIỆM - KIỂM ĐỊNH - GIÁM ĐỊNH - CHỨNG NHẬN



Thí nghiệm Không phá hủy, Hoá học, Cơ học, Điện - Điện tử, Xây dựng, Hiệu suất năng lượng, Tương thích điện từ



Khởi động mềm trung thế phòng nổ:

Điện áp: 660/1.140 kV; giám sát từ xa



Kiểm định thiết bị điện, thiết bị an toàn
Giám định máy móc, than, thép, kim loại
Chứng nhận ISO 9001, ISO 14001, sản phẩm phù hợp tiêu chuẩn, quy chuẩn

Dịch vụ KỸ THUẬT



Xử lý nhiệt môi hàn



Đánh giá hàn



Quan trắc môi trường



Kiểm toán năng lượng