Cain Industries — Hướng dẫn lắp đặt, cài đặt và vận hành thiết bị thu hồi nhiệt (HR)

Đối tượng: kỹ thuật hiện trường, người chạy lò, đội Pulse (để biết phải đọc tín hiệu nào). **Nguồn gốc tài liệu:** catalogue kỹ thuật của Cain Industries (Mỹ): *Boiler Economizer* (20 trang), *Cain Cogen* (16 trang), *Product Line*, các datasheet RTR / FCR / B / EM / CXL / DXL, phụ kiện cogen. Các con số in nghiêng là trích từ tài liệu Cain; phần còn lại là thông lệ kỹ thuật chuẩn khi lắp đặt. **Ngày biên soạn:** 15/11/2026.

1. Thiết bị này là gì

Bộ thu hồi nhiệt kiểu Cain là một bộ trao đổi nhiệt dạng ống có cánh (finned tube) đặt trên đường khói thải, **có cánh bypass nội bộ** để điều chỉnh lượng khói đi qua bộ trao đổi.

Các dòng chính:

Dòng	Kiểu	Ứng dụng	Ghi chú
RTR	Rectangular Tube Recovery	Lò hơi/lò dầu có ống khói chữ nhật	Ống rời, tháo không cần hàn
FCR	Fin Coil Recovery	Lò hơi ống khói tròn, lưu lượng nước cao	Cuộn ống, có bản một/zíc-zắc
B	Ống trụ 14 model	Lò 40–800 BHP	Lắp nhanh, rẻ
EM	Energy Manager	Lò 200.000 Btu/h trở lên	Kèm gói bơm tuần hoàn
CXL / DXL	Condensing	Khí tự nhiên, thu cả ẩn nhiệt	Khói ra thấp, có nước ngưng
ESG1 / HRSR / UTR	Tạo hơi từ khói động cơ	Cogen, engine	Điều khiển theo **áp suất hơi**

Dải vận hành Cain công bố: khói vào *300–800 °F (149–427 °C)*, sau thu hồi còn *150–300 °F (65–149 °C)*; hiệu suất lò tăng trung bình *4–10%*.

2. Các bộ phận phải có khi lắp

1. **Thân bộ trao đổi** (finned tube) + mặt bích nối ống khói + cửa kiểm tra kín khí.
2. **Cánh bypass nội bộ** + **trục diverter** + **actuator** (Belimo, khí nén hoặc điện, on/off hoặc modulating).
3. **Gói bơm tuần hoàn**: bơm ly tâm, van một chiều, van an toàn, van điều chỉnh lưu lượng, nhiệt kế vào/ra.
4. **Đo nhiệt**: cặp nhiệt (thermocouple) nước ra, cặp nhiệt khói ra; một số bộ có thêm RTD khói vào.
5. **Tủ điều khiển**: bộ điều khiển nhiệt có ngõ ra **4–20 mA**, chế độ Auto/Manual, nguồn *120 V, 1 pha*.
6. **Xả nước ngưng** (condensate drain) — bắt buộc với dòng condensing.
7. **Bộ thổi bụi** (sootblower) với bộ đếm thời gian — cần khi nhiên liệu có lưu huỳnh hoặc buồng đốt bẩn.

8. **Giá đỡ kết cấu** và ống mềm bù giãn nở.

3. Trước khi lắp — 6 việc phải kiểm

9. **Đo ống khói thật**: đường kính/khổ, cao độ, vật liệu, độ thẳng để chọn mặt bích chuyển tiếp.
10. **Ngân sách tổn thất áp**: bộ trao đổi + cánh bypass + ống nối không được vượt khả năng quạt khói. Thiếu áp ⇒ khói tràn, lò mất công suất.
11. **Nhiệt độ khói vào** trong dải thiết kế (không vượt 800 °F/427 °C với dòng tiêu chuẩn).
12. **Nguồn nước/heat sink**: lưu lượng và nhiệt độ nước cấp, áp cho phép, có van an toàn chưa.
13. **Điện**: 120 V 1 pha cho tủ điều khiển, tiếp địa, có aptomat riêng.
14. **Không gian tháo ống**: phải tháo được từng ống (RTR/FCR) mà không cắt hàn.

4. Trình tự lắp đặt

15. Lắp **giá đỡ** và căn phẳng theo trục ống khói.
16. Hàn/bắt **mặt bích chuyển tiếp**; đảm bảo kín khí (gioăng chịu nhiệt), không rò.
17. Đưa **thân bộ trao đổi** vào vị trí; siết đều, kiểm tra độ đồng tâm, không để thân chịu lực đường ống.
18. Đấu **đường nước**: bơm → van một chiều → van điều chỉnh lưu lượng → bộ trao đổi → nhiệt kế/đồng hồ; nhánh **van an toàn + van xả** phải thoát về bể an toàn.
19. Lắp **cặp nhiệt** đúng vị trí: nước **ra** (sau bộ trao đổi), khói **ra** (trước khi vào ống khói).
20. Lắp **actuator** lên trục diverter; kiểm tra hành trình cơ khí **0–100%** không kẹt, đúng chiều.
21. Đấu **tủ điều khiển**: nguồn 120 V 1 pha, tín hiệu 4–20 mA ra actuator, tín hiệu cặp nhiệt vào, tiếp điểm bơm chạy (nếu có).
22. Đấu **đường xả nước ngưng** (dòng condensing) có bẫy nước, dốc về phía xả.
23. Bọc cách nhiệt phần chưa bọc; dán nhãn chiều dòng và van.

5. Cài đặt tham số (commissioning)

5.1 Bơm tuần hoàn

- Cain đặt sẵn **bơm tắt ở 250 °F (121 °C), bơm chạy ở 275 °F (135 °C)** — chỉnh được; deadband 25 °F để bơm không đóng cắt liên tục.
- Nguyên tắc: bơm chạy **theo nhiệt độ nước**, không theo nhiệt độ khói.
- Kiểm tra: bơm chạy thì phải có lưu lượng thật (đồng hồ chênh áp hoặc flow switch); **không có lưu lượng mà vẫn thu nhiệt = nước sôi trong ống, đóng cặn, nứt ống**.

5.2 Vòng bảo vệ ăn mòn ống khói (stack corrosion control)

- Đặt **nhiệt độ khói ra tối thiểu** theo nhiên liệu:

- Khí tự nhiên / LPG: **≥ 45–50 °C** (trên điểm sương nước; dòng condensing được phép thấp hơn nhưng phải thoát ngưng). - Dầu DO/FO có lưu huỳnh, than: **≥ 130–150 °C** (trên điểm sương axit H_2SO_4).

- Chạy nguội: cánh bypass ở **mở tối đa** (khói không qua bộ trao đổi).

- Khói nóng lên vượt ngưỡng: bypass **đóng dần** để thu hồi.
- Tải giảm: bypass **mở dần** để giữ nhiệt độ khói ra trên ngưỡng.

5.3 Vòng giới hạn nhiệt độ nước (liquid temperature control)

- Đặt **nhiệt độ nước ra tối đa** (thường 85–90 °C với nước cấp; thấp hơn nếu nước cấp có xử lý đặc biệt).
- Khởi động: bypass ở vị trí vận hành bình thường.
- Nước gần ngưỡng: bypass chạy dần sang vị trí điều chỉnh; đạt ngưỡng: **mở tối đa**, Cain ghi rõ *giảm thu hồi tới 50%*.

5.4 Vòng áp suất hơi (chỉ dòng tạo hơi: ESG1/HRSR/UTR)

- **Áp suất hơi là tín hiệu chính**; bộ điều khiển áp suất lái cánh bypass.
- Fail-safe: *mất điện hoặc mất khí nén ⇒ bypass toàn phần*.

5.5 Thứ tự ưu tiên khi nhiều vòng cùng đòi

Lấy **yêu cầu mở bypass lớn nhất** (an toàn thắng): bảo vệ ống và bảo vệ điểm sương luôn được quyền mở bypass dù vòng tiết kiệm muốn đóng.

5.6 Điều khiển hai tay ga phối hợp: lưu lượng (tinh) + bypass (thô)

Đây là cấu hình đã dò trên bản mô phỏng Pulse và là điểm khởi đầu đề nghị khi cài thật. Lý do phải có hai tay ga: nếu chỉ có bypass, muốn giữ nhiệt độ nước cấp là phải **xả bớt nhiệt ra ống khói** — tức là tự kìm hiệu suất. Đo trên mô phỏng: bypass mở 11–13 % làm khói ra tăng 2,5 K, mất 0,7–0,8 điểm phần trăm tiết kiệm.

Tay ga	Vai trò	Tín hiệu điều khiển	Dải	Tốc độ
Lưu lượng nước qua bộ trao đổi (bơm tuần hoàn + van điều chỉnh)	Tinh — hấp thụ nhiệt bằng lưu lượng	Nhiệt độ nước ra	0 → +65 % lưu lượng cấp	2 %/chu kỳ (5 s)
Cánh bypass khói (actuator Belimo)	Thô + bảo vệ — giảm lượng khói qua bộ trao đổi	Nhiệt độ nước ra, chốt bảo vệ khói ra	0–100 %	2 %/chu kỳ; interlock được phép nhảy nhanh

Setpoint khởi đầu (dò trên mô phỏng, dùng làm điểm bắt đầu khi cài thật):

Tham số	Giá trị	Ghi chú
Setpoint nhiệt độ nước ra cho vòng lưu lượng	**87,4 °C**	giữ nước dưới trần bằng lưu lượng, không bằng bypass
Hệ số vòng lưu lượng (Kp)	**0,20 % lưu lượng / 1 K** vượt setpoint	thuần tỉ lệ, không tích phân (bơm không cần tích phân)
Setpoint nhiệt độ nước ra cho vòng bypass	**88,5 °C**	bypass chỉ mở khi nước thật sự tiến sát trần
Kp / Ki vòng bypass	**2,5 %/K · 0,25 %/K/chu kỳ**	PI, có chống windup
Trần nước ra (bảo vệ)	**89,5 °C → mở bypass 60 % ngay**	không slam 100 % (xem 5.6.2)
Sàn khói ra	theo nhiên liệu (mục 5.2)	**không dùng sàn khói để slam 100 %**

5.6.1 Vì sao thứ tự này (không phải ngược lại)

- Lưu lượng là tay ga **liên tục, không mất nhiệt**: thêm nước chỉ làm ΔT nhỏ đi, nhiệt vẫn nằm trong nước.

- Bypass là tay ga **mất nhiệt thật**: khói đi tắt qua bộ trao đổi ⇒ nhiệt ra ống khói ⇒ mất vĩnh viễn.
- Vì vậy: **giữ nhiệt độ bằng lưu lượng trước, chỉ dùng bypass khi lưu lượng đã cạn dải** (bơm tối đa, van mở hết) hoặc khi cần bảo vệ tức thời.

5.6.2 Hai lỗi điều khiển đã gặp trên mô phỏng (đừng lặp lại khi cài thật)

24. **Slam 100 % theo sàn khói**: nếu đặt điều kiện "khói ra ≤ sàn + 0,5 K ⇒ mở 100 %", vòng sẽ bắn

100 % đúng lúc đang chạy tốt (vì chạy tốt nghĩa là khói ra *ở* sàn), sau đó tích phân leo và không đóng lại được ⇒ dao động 0↔100 %, có lò tụt còn 6,4 % tiết kiệm. **Sàn khói phải là giới hạn cứng (clamp), không phải điều kiện slam.**

25. **Windup tích phân**: khi bypass đã đóng hẳn mà sai số vẫn âm, tích phân tích luỹ số âm; lúc cần

mở lại thì phải "trả nợ" hàng chục chu kỳ ⇒ nước vọt lên chạm trần. Cài **chống windup**: bypass ≤ 0,5 % và sai số âm ⇒ tích phân về 0.

5.6.3 Trình tự cài khi chạy thật

26. Chạy **Manual**, đặt lưu lượng ở mức vận hành cơ bản (bằng lưu lượng cấp của lò), bypass đóng.
27. Nâng tải lên 75 %, quan sát nước ra. Nếu nước ra vượt **87,4 °C**: tăng lưu lượng từng 5 % đến khi

nước ra về 86,5–87,5 °C. Ghi lại % lưu lượng cần thiết ở 50 / 75 / 100 % tải.

28. Đặt vòng lưu lượng sang **Auto** với Kp như bảng; kiểm tra bơm không đóng cắt, van không rung.
29. Đặt vòng bypass sang **Auto** với setpoint 88,5 °C; xác nhận bypass ở **0–2 %** khi lưu lượng còn dư địa.
30. Thử bảo vệ: khoá van điều chỉnh (giả lập bơm không tăng được lưu lượng) ⇒ nước ra phải tiến tới

88,5 °C rồi bypass mở dần; chạm 89,5 °C thì bypass ≥ 60 % ngay; **nước không được vượt 90 °C**.

31. Ghi các giá trị thực vào bảng treo tủ (mục 6, việc 10).

6. Chạy thử và nghiệm thu (checklist)

#	Việc	Tiêu chí đạt
1	Chạy bơm khô 5 giây (không gia nhiệt)	Thuận, không tiếng lạ, dòng điện đúng định mức
2	Xả khí (venting) đường nước	Không còn bọt khí, áp ổn định
3	Hành trình actuator 0–100% ở Manual	Trơn, không kẹt, đúng chiều đóng/mở
4	Cắt điện tủ điều khiển	Actuator về **bypass toàn phần** (spring/air fail-safe)
5	Cắt bơm khi đang thu hồi	Bypass tự mở (interlock) trong vài giây
6	Đo khói ra tại 3 mức tải (50/75/100%)	≥ ngưỡng đặt, không dao động quá ±5 K

7	Đo nước ra tại 3 mức tải	≤ ngưỡng đặt, ΔT tương ứng với lưu lượng
8	Đo tổn thất áp khói	Trong ngân sách quạt
9	Xả nước ngưng (dòng condensing)	Chảy đều, không ứ, không phun ngược
10	Ghi lại setpoint + ngày cài đặt	Có bảng treo tại tủ điều khiển

Nghiệm thu tiết kiệm: so **hiệu suất lò trước/sau** trên cùng phụ tải, cùng nhiên liệu, ít nhất 3 điểm tải; tính từ nhiệt độ khói + O_2 dư, không dùng cảm giác.

6.1 Nhận dạng vòng điều khiển tại chỗ (step test) — bắt buộc trước khi tin setpoint mô phỏng

Số trên mô phỏng là **điểm khởi đầu**, không phải số cuối. Ba đại lượng phải đo tại nhà máy:

Đo gì	Cách đo	Dùng để
Độ lợi khói theo bypass (K/% mở)	Manual: 0 % → 20 % → 0 %, ghi nhiệt độ khói ra ở mỗi mức, cùng tải	Quyết định Kp vòng bypass: Kp ≈ 0,15 / (độ lợi đo được)
Thời gian chết + quán tính nước	Bước nhảy lưu lượng 10 %, bấm giờ đến khi nước ra đổi 63 %	Đặt tốc độ servo và chu kỳ lấy mẫu; chết > 30 s thì phải giảm Kp
Độ lợi nước theo lưu lượng (K trên % lưu lượng)	Tăng lưu lượng 10 % ở tải cố định	Đặt Kp vòng lưu lượng (mô phỏng dùng 0,20 %/K)

Nguyên tắc: **giữ nguyên cấu trúc và thứ tự ưu tiên của mục 5.6, chỉ chỉnh độ lợi theo số đo.** Nếu độ lợi thực lớn hơn mô phỏng nhiều (bộ trao đổi bám bụi, quạt yếu), giảm Kp trước khi tăng setpoint — tăng setpoint để "cho nhanh" là con đường tới dao động 0↔100 %.

7. Bảo trì định kỳ

Chu kỳ	Việc
Hàng tuần	Nhìn cửa kiểm tra: bụi, ẩm, rò; nghe bơm; đọc Δp khói
Hàng tháng	Thổi bụi (sootblow) theo chu kỳ đặt; kiểm tra bẫy nước ngưng; siết lại đầu nối cặp nhiệt
3–6 tháng	Vệ sinh ống, kiểm tra cánh bypass có kín (rò khói qua khe), kiểm tra van an toàn
Hàng năm	Hiệu chuẩn cặp nhiệt + bộ điều khiển; đo lại hành trình actuator; kiểm tra ăn mòn/ăn mòn điểm sương; đánh giá lại tiết kiệm

Dấu hiệu phải dừng: rò nước trong khói, khói ra tụt dưới ngưỡng kéo dài, Δp khói tăng nhanh (bám bụi), bơm không lên lưu lượng, actuator kẹt.

8. Sự cố thường gặp

Hiện tượng	Nguyên nhân thường	Xử lý
Khói ra quá thấp, ống bị ăn mòn	Setpoint thấp, actuator đóng kẹt, cảm biến sai	Nâng setpoint, kiểm tra hành trình, hiệu chuẩn cặp nhiệt
Thu hồi kém dù tải cao	Bypass hở (rò), bám bụi, bơm thiếu lưu lượng	Kiểm tra kín bypass, thổi bụi, kiểm tra bơm/van điều chỉnh
Nước ra vượt ngưỡng, có tiếng nổ trong ống	Bơm dừng, van điều chỉnh đóng, bypass không mở	Kiểm tra interlock bơm, mở bypass ở Manual, xả khí
Actuator chạy ngược/không chạy	Đấu dây sai chiều, mất tín hiệu 4–20 mA, hỏng nguồn	Kiểm tra chiều, đo vòng 4–20 mA, kiểm tra aptomat
Mất điện mà vẫn thu hồi	Không có spring/air fail-safe	Bắt buộc thay actuator có fail-safe

		về bypass
Nước ngưng ứ, khói ẩm	Bẫy nước hỏng, ống xả dốc ngược	Sửa bẫy, chỉnh độ dốc
Bypass đứng 0 % nhưng nước ra vẫn leo tới trần	Lưu lượng đã cạn dải, van điều chỉnh kẹt, bơm yếu	Kiểm tra van/bơm trước; nếu thật sự cạn dải thì để bypass làm việc (đúng thiết kế)
Tiết kiệm thấp dù bypass đóng	Lưu lượng tuần hoàn không có (bơm hỏng) nên phải mở bypass, hoặc khói ra cao do bám bụi	Xác nhận lưu lượng thật, thổi bụi, kiểm tra cặp nhiệt khói ra
Bypass dao động 0↔100 %	Slam theo sàn khói, hoặc Kp quá cao so với độ lợi thực	Bỏ slam sàn khói, giảm Kp, bật chống windup

9. Tín hiệu cần đưa vào hệ thống giám sát (Pulse)

Mỗi bộ HR cần tối thiểu 8 tín hiệu để giám sát đúng bản chất điều khiển của Cain:

Tín hiệu	Ý nghĩa	Dùng để
Nhiệt độ khói vào	Trước bộ trao đổi	Tính hiệu quả, phát hiện tải
Nhiệt độ khói ra	Sau bộ trao đổi	**Bảo vệ điểm sương** — tín hiệu chính của vòng ăn mòn
Nhiệt độ nước vào	Nước cấp vào	Chênh nhiệt, lưu lượng suy ra
Nhiệt độ nước ra	Nước cấp ra	**Giới hạn trần** — tín hiệu chính của vòng nhiệt độ nước
Lưu lượng nước	m^3/h	Xác nhận bơm tuần hoàn thật
Trạng thái bơm	Chạy/Dừng	**Interlock**: bơm dừng ⇒ bypass
Vị trí damper	% mở (feedback)	So với lệnh, phát hiện kẹt/lệch
Lệnh damper	% (4–20 mA)	Phát hiện mất tín hiệu/actuator hỏng
Vị trí van điều chỉnh lưu lượng	% mở	Xác nhận tay ga tinh còn dư địa (nếu 100 % mà nước vẫn nóng ⇒ cạn dải)
Lưu lượng tuần hoàn	m^3/h (phần vượt lưu lượng cấp)	Phân biệt "thu hồi bằng lưu lượng" với "thu hồi bằng bypass"

Ba cảnh báo bắt buộc: (1) damper đóng trong khi bơm không chạy; (2) khói ra dưới ngưỡng bảo vệ quá 5 phút; (3) nước ra vượt ngưỡng trần.

10. An toàn

- Khóa điện và khóa đường khói trước khi mở cửa kiểm tra; chờ nguội dưới 40 °C.
- Không vận hành bộ trao đổi **khô** (không có nước tuần hoàn) khi khói đang chạy.
- Van an toàn đường nước phải xả về nơi an toàn, không bịt.
- Không hiệu chỉnh setpoint để "tiết kiệm thêm" mà bỏ qua ngưỡng điểm sương — tiết kiệm vài phần trăm đổi bằng thủng ống.

11. Ghi chú khi làm việc với Cain

- Yêu cầu Cain cung cấp kèm: bản vẽ mặt bích, đường cong hiệu suất theo tải, sơ đồ đấu dây tủ, danh mục setpoint xuất xưởng.
- Khi thay actuator: phải cùng mô-men và **có fail-safe**; Belimo là chuẩn Cain dùng.
- Khi thay cặp nhiệt: đúng loại (J/K), đúng chiều, và ghi lại offset đã hiệu chuẩn.

12. Dùng bản mô phỏng để chuẩn bị cài đặt thật (và giới hạn của nó)

Đúng, đây là mục đích của bản demo — nhưng phải nói rõ nó chuyển được cái gì và không chuyển được cái gì.

12.1 Chuyển được sang nhà máy thật

- **Cấu trúc điều khiển**: hai tay ga, thứ tự ưu tiên, chốt bảo vệ, chống windup (mục 5.6).
- **Điểm khởi đầu của setpoint**: 87,4 °C cho vòng lưu lượng, 88,5 °C cho vòng bypass, trần 89,5 °C.
- **Dải vận hành kỳ vọng**: bypass 0–2 % khi bình thường, khói ra 49–51 °C với khí/LPG, nước ra 87–88 °C.
- **Các kiểu hỏng đã biết**: slam theo sàn khói, windup, cạn dải lưu lượng — kèm cách tránh.
- **Thứ tự chạy thử và tiêu chí nghiệm thu**: dùng nguyên mục 6 và 6.1.

12.2 KHÔNG chuyển được — phải đo tại chỗ

- **Độ lợi thật** của khói theo % bypass và của nước theo % lưu lượng (mô phỏng dùng 0,18 K/% và

quan hệ $\Delta T = Q/(\dot{m} \cdot c_p)$; thực tế phụ thuộc NTU, bám bụi, quạt, cách đấu ống).

- **Thời gian chết** của cảm biến và quán tính nước (mô phỏng 0,18; thực tế 10–60 s).
- **Tổn thất nhiệt khác** (bức xạ, xả đáy, CO) và độ chính xác cặp nhiệt — mô phỏng dùng hằng số.
- **Con số tiết kiệm %**: mô phỏng cho 8,2–8,3 % với bộ trao đổi sạch, đúng lưu lượng, khói vào 187 °C.

Thực tế thấp hơn nếu bám bụi, nhiệt độ khói vào thấp, hoặc tải hay dao động. **Đừng hứa con số mô phỏng với khách; hứa phương pháp và khoảng, rồi nghiệm thu bằng số đo của chính nhà máy.**

12.3 Quy tắc chuyển giao (3 bước)

32. **Bê nguyên cấu trúc + setpoint khởi đầu** từ mục 5.6 xuống tủ điều khiển.
33. **Đo 3 đại lượng ở mục 6.1**, chỉnh Kp theo số đo, giữ nguyên thứ tự ưu tiên.
34. **Nghiệm thu bằng 3 điểm tải** (50/75/100 %), so hiệu suất trước/sau trên cùng điều kiện; sai

khác quá 1 điểm phần trăm so với dự tính thì tìm nguyên nhân (bám bụi, rò bypass, thiếu lưu lượng) trước khi nghĩ đến việc chỉnh tiếp.