

ภาคผนวก ข

ข้อมูลจากเอกสารต้นฉบับ

ข1 ข้อมูลจำเพาะของเครื่องยนต์ GPU-3

Number of cylinders	1
Type of engine	Displacer
Drive	Rhombic
Working fluid	Hydrogen
Design speed, rpm	3000
Design mean compression-space pressure, MPa (psig)	6.89 (1000)
Design brake output power, kW (hp)	6 (8)
Design heater-tube gas temperature, °C (°F)	677 (1250)
Design cooling-water-inlet temperature, °C (°F)	37 (100)
Cylinder bore, cm (in.)	6.99 (2.75)
Stroke, cm (in.)	3.15 (1.24)
Displacement (maximum change in total working space volume), cm ³ (in. ³)	119.6 (7.30)
Displacer rod diameter, cm (in.)	0.953 (0.375)
Piston rod diameter, cm (in.)	2.223 (0.875)
Cooler:	
Tube length, cm (in.)	4.470 (1.76)
Heat-transfer length, cm (in.)	3.480 (1.37)
Tube inside diameter, cm (in.)	0.102 (0.040)
Tube outside diameter, cm (in.)	0.152 (0.060)
Number of tubes per cylinder	312
Number of tubes per cooler	39
Heater:	
Mean tube length, cm (in.):	
Regenerator side	12.90 (5.08)
Cylinder side	11.63 (4.58)
Heat-transfer length, cm (in.)	7.772 (3.06)
Tube inside diameter, cm (in.)	0.302 (0.119)
Tube outside diameter, cm (in.)	0.483 (0.190)
Number of tubes per cylinder	80
Regenerators:	
Length (inside), cm (in.)	2.260 (0.89)
Diameter (inside), cm (in.)	2.260 (0.89)
Number per cylinder	8
Matrix:	
Wire cloth material	304 stainless steel
Cloth mesh, per 2.5 cm (1 in.)	200 by 200
Wire diameter, μm (in.)	40.84 (0.0016)
Number of layers	308
Filler factor, percent	28.6
Drive:	
Connecting rod length, cm (in.)	4.597 (1.81)
Crank radius, cm (in.)	1.379 (0.543)
Eccentricity, cm (in.)	2.083 (0.82)

ภาพที่ ข1.1

ตารางแสดงข้อมูลจำเพาะของเครื่องยนต์ GPU-3 จากเอกสารอ้างอิง [1]

TABLE II. - GPU 3 ENGINE DEAD VOLUMES

[All volumes in cm³ (in.³),.]

Expansion space clearance volume:		
Clearance around displacer	3.34	(0.204)
Clearance above displacer	7.41	(0.452)
Volume from end of heater tubes into cylinder	1.74	(0.106)
Total	12.49	(0.762)
Heater dead volume:		
Insulated portion of tubes leading to expansion space	9.68	(0.591)
Heated portion of tubes	47.46	(2.896)
Insulated portion of tubes leading to regenerator	13.29	(0.811)
Additional volume in four tubes used for instrumentation	2.74	(0.167)
Volume in header	7.67	(0.468)
Total	80.84	(4.933)
Regenerator dead volume:		
Volume between regenerators and heater tubes	8.75	(0.534)
Volume within matrix	50.60	(3.088)
Volume between regenerators and cooler tubes	6.16	(0.376)
Total	65.51	(3.998)
Cooler dead volume:		
Volume in cooler tubes	13.14	(0.802)
Compression-space clearance volume:		
Volume in connecting passages from cooler tubes to compression space	12.57	(0.767)
Clearance around power piston	7.36	(0.449)
Clearance between displacer and power piston	1.26	(0.077)
Total	21.19	(1.293)
Total dead volume:	193.2	(11.79)
Minimum live volume (power piston at TDC).	39.2	(2.39)
Calculated minimum total working-space volume	232.4	(14.18)

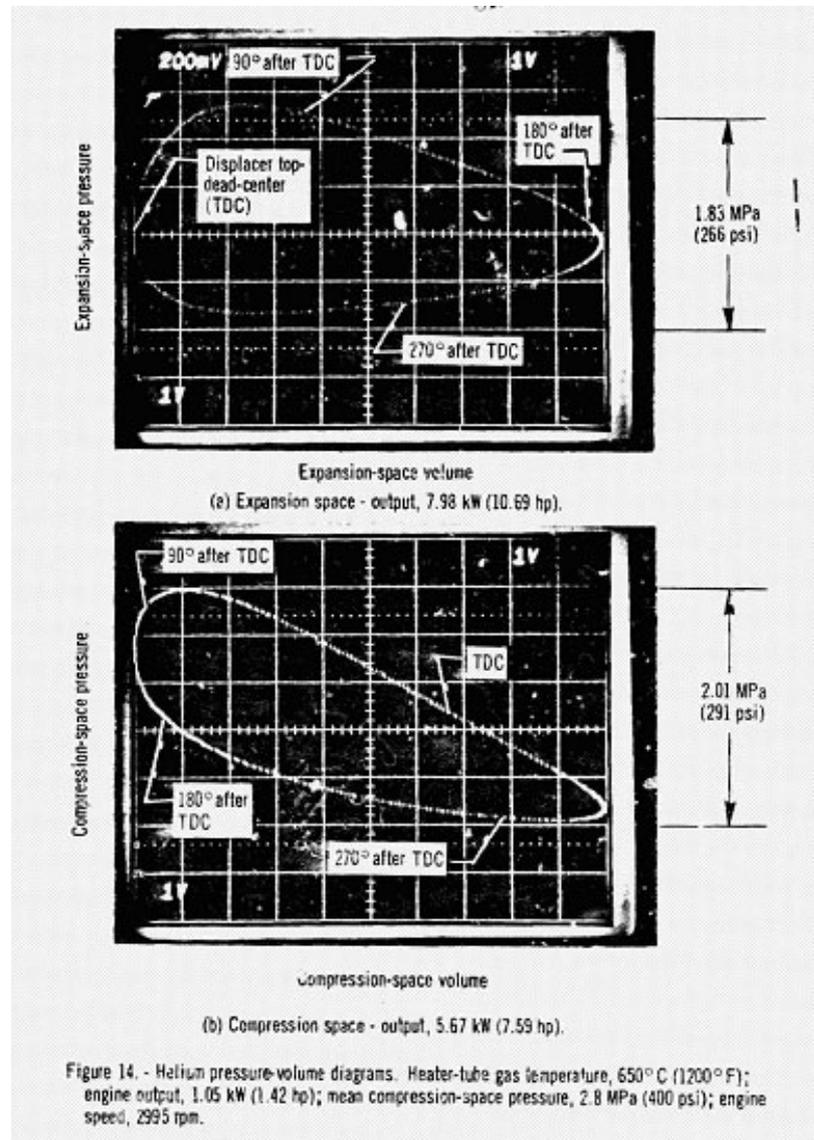
ภาพที่ ข1.2

ตารางแสดงข้อมูลจำเพาะของเครื่องยนต์ GPU-3 (ต่อ)

ข2 การวัดกำลังบ่งชี้เครื่องยนต์ GPU-3

การวัดกำลังบ่งชี้ของเครื่องยนต์ GPU-3 ทำโดยการวัดความดันและปริมาตร ในเครื่องยนต์ จะได้ผลของไดอะแกรมการเปลี่ยนแปลงความดัน-ปริมาตร ในปริมาตรส่วนขยายและส่วนอัด ซึ่งทำโดยใช้ทรานสดิวเซอร์ในส่วนขยาย ปริมาตรสามารถหาได้เมื่อทราบมุมการหมุนของ

เพลาคือเครื่องวัด ค่าที่วัดได้จะถูกแสดงผลบนออสซิลโลสโคป ตามภาพที่ ข2.1 การหาค่ากำลังบ่งชี้โดยวิธีนี้ จึงไม่รวมผลของความเสียดทานของลูกสูบ แหวนลูกสูบ หรือชิ้นส่วนเคลื่อนที่อื่น ๆ



ภาพที่ ข2.1

การวัดและแสดงผลกำลังบ่งชี้ของเครื่องยนต์ GPU-3 จากเอกสารอ้างอิง[2]

ข3 ผลการทดสอบเครื่องยนต์ GPU-3

กราฟแสดงกำลังที่ความดันและความเร็วรอบต่างๆ ที่อุณหภูมิ 650 °C แสดงตามภาพที่ ข3.1 จากเอกสารอ้างอิง [2]

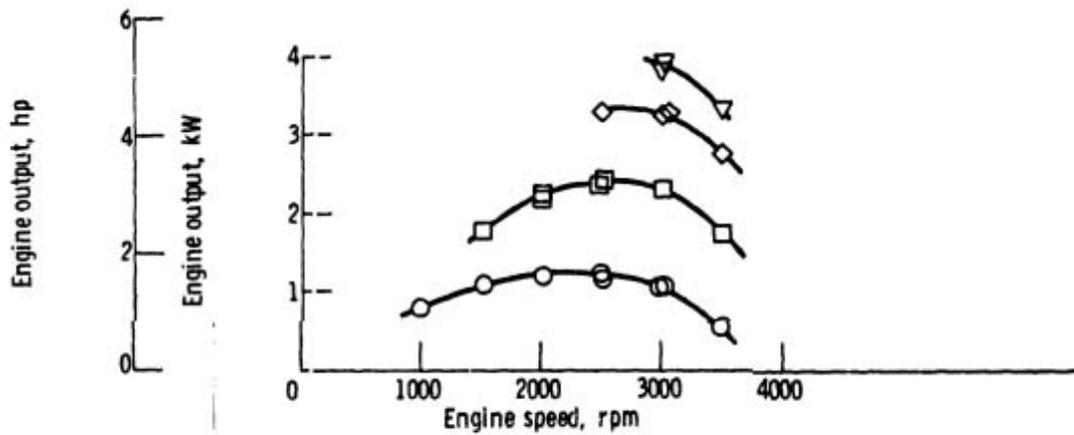


Figure 4. - Helium engine performance as function of engine speed and mean compression-space pressure for a heater-tube gas temperature of 650°C (1200°F). Water inlet temperature, 13°C (56°F).

ภาพที่ ข3.1

กราฟแสดงผลกำลังบ่งชี้ที่อุณหภูมิ 650°C ที่ความดันต่างๆ

ข4 ผลการทดสอบเครื่องยนต์ Allison PD-46

ผลการทดสอบเครื่องยนต์ Allison PD-46 จากเอกสารอ้างอิง [9]

Table 3. Performance of the Philips-Allison engine for satellite generator [2]

Engine speed (rpm)	3000	2500
Mean pressure (atm)	100	100
Heater temperature ($^{\circ}\text{C}$)	660	660
Cooler temperature ($^{\circ}\text{C}$)	65	65
Thermal input (W)	16,970	15,000
Indicated output (W)	6230	5920
Piston leakage + friction losses (W)	700	700
Windage (W)	790	660
Other mechanical friction (W)	610	510
Shaft power (W)	4140	4050
Shaft efficiency (%)	24.4	27

ภาพที่ ข4.1

ภาพตารางแสดงผลการทดสอบเครื่องยนต์ Allison PD-46

ข5 ดุลความร้อนของเครื่องยนต์ GPU-3

ดุลความร้อนของเครื่องยนต์ GPU-3 ที่ได้จากการคำนวณ ในจากเอกสารอ้างอิง [2] ที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส ความดัน 2.8 และ 6.9 เมกะปาสคาล แสดงตามภาพที่ ข4.1

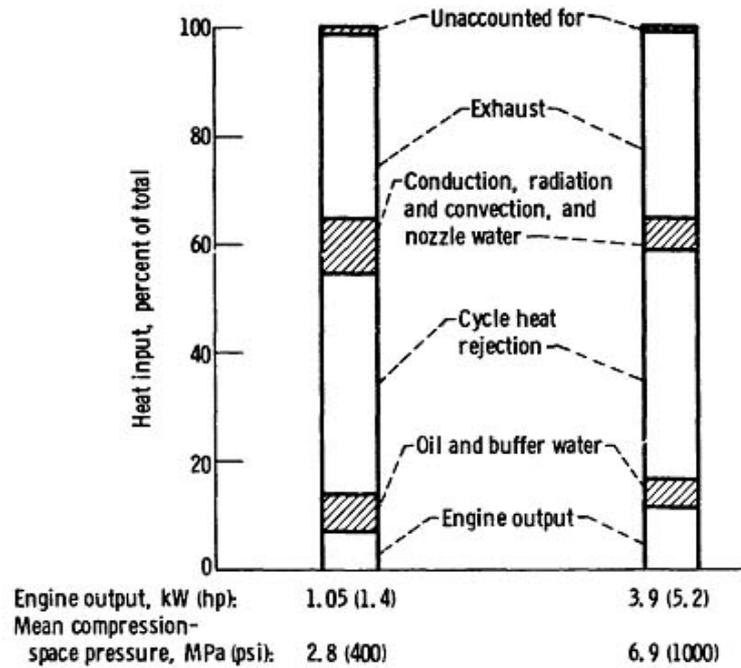


Figure 10. - Energy balances for two mean compression-space pressures. Working fluid, helium; heater-tube gas temperature, 650° C (1200° F); engine speed, 3000 rpm.

ภาพที่ ข4.1

แผนภาพดุลความร้อนของเครื่องยนต์ GPU-3

ข 6 คุณสมบัติทางความร้อนของสารทำงาน

คุณสมบัติทางความร้อนของสารทำงาน จากเอกสารอ้างอิง [3] ของอากาศ ไฮโดรเจน ฮีเลียม คาร์บอนไดออกไซด์ และไอน้ำ ซึ่งอ้างอิงจาก Thermodynamics and transport properties of fluids ,Y.R. Mayhew and F.G.C. Roger, Basil Blackwell ,Oxford)

ตาราง ข-6

คุณสมบัติทางความร้อนของสารทำงาน

สารทำงาน	คุณสมบัติ	อุณหภูมิ (เคลวิน)		
		250	500	1000
อากาศ 1 atm M=28.9	$C_p(kJ/kgK)$	1.003	1.029	1.141
	$\rho(kg/m^3)$	1.412	0.706	0.353
	$\mu \times 10^6(kg - ms)$	15.99	26.70	41.53
	$k \times 10^6(kW/mK)$	22.27	40.41	67.54
ไฮโดรเจน 1 atm M=2	$C_p(kJ/kgK)$	14.05	1.029	14.98
	$\rho(kg/m^3)$	0.098	0.706	0.0246
	$\mu \times 10^6(kg - ms)$	7.92	26.70	20.13
	$k \times 10^6(kW/mK)$	156.1	40.41	452.2
ฮีเลียม 1 atm M=4	$C_p(kJ/kgK)$	5.19	5.19	5.19
	$\rho(kg/m^3)$	0.195	0.097	0.048
	$\mu \times 10^6(kg - ms)$	18.40	29.30	46.70
	$k \times 10^6(kW/mK)$	134.0	202.6	-
คาร์บอน ไดออกไซด์ 1 atm M=28.9	$C_p(kJ/kgK)$	0.791	1.014	1.234
	$\rho(kg/m^3)$	2.145	1.073	0.536
	$\mu \times 10^6(kg - ms)$	12.60	23.67	39.51
	$k \times 10^6(kW/mK)$	12.90	32.74	67.52
ไอน้ำ ความดันต่ำ M=18	$C_p(kJ/kgK)$	1.855	1.954	1.141
	$\mu \times 10^6(kg - ms)$	9.42	17.3	0.353
	$k \times 10^6(kW/mK)$	18.80	35.7	41.53

โดยที่ C_p คือ ความจุความร้อนจำเพาะของที่ความดันคงที่(kJ/kgK)

ρ คือ ความหนาแน่นของสารทำงาน(kg/m³)

μ คือ ความหนืดของสารทำงาน(kg/ms)

k คือ ค่าความนำความร้อนของสารทำงาน(kW/mK)