यांत्रिक इंजीनियरी (प्रश्न-पत्र–II)

समय : तीन घण्टे | अधिकतम अंक : 250

प्रश्न-पत्र सम्बन्धी विशेष अनुदेश

(उत्तर देने के पूर्व निम्नलिखित निर्देशों को कृपया सावधानीपूर्वक पढ़ें)

दो खण्डों में कुल **आठ** प्रश्न दिए गए हैं जो **हिन्दी** एवं **अंग्रेजी** दोनों में छपे हैं।

उम्मीदवार को कुल **पाँच** प्रश्नों के उत्तर देने हैं।

प्रश्न संख्या **1** और **5** अनिवार्य हैं तथा बाकी प्रश्नों में से प्रत्येक खण्ड से कम-से-कम **एक** प्रश्न चुनकर **तीन** प्रश्नों के उत्तर दीजिए।

प्रत्येक प्रश्न/भाग के लिए नियत अंक उसके सामने दिए गए हैं।

प्रश्नों के उत्तर उसी प्राधिकृत माध्यम में लिखे जाने चाहिए, जिसका उल्लेख आपके प्रवेश-पत्र में किया गया है, और इस माध्यम का स्पष्ट उल्लेख प्रश्न-सह-उत्तर (क्यू० सी० ए०) पुस्तिका के मुखपृष्ठ पर निर्दिष्ट स्थान पर किया जाना चाहिए। प्राधिकृत माध्यम के अतिरिक्त अन्य किसी माध्यम में लिखे गए उत्तर पर कोई अंक नहीं मिलेंगे।

प्रश्नोत्तर लिखते समय यदि कोई पूर्वधारणा की जाए, उसको स्पष्टतया निर्दिष्ट किया जाना चाहिए।

जहाँ आवश्यक हो, आरेख/चित्र उत्तर के लिए दिए गए स्थान में ही दर्शाइए।

प्रतीकों और संकेतनों के प्रचलित अर्थ हैं, जब तक अन्यथा न कहा गया हो।

प्रश्नों के प्रयासों की गणना क्रमानुसार की जाएगी। आंशिक रूप से दिए गए प्रश्नों के उत्तर को भी मान्यता दी जाएगी यदि उसे काटा न गया हो। प्रश्न-सह-उत्तर पुस्तिका में खाली छोड़े गए कोई पृष्ठ अथवा पृष्ठ के भाग को पूर्णतः काट दीजिए।

MECHANICAL ENGINEERING (PAPER–II)

Time Allowed : Three Hours | Maximum Marks : 250

QUESTION PAPER SPECIFIC INSTRUCTIONS

(Please read each of the following instructions carefully before attempting questions)

There are EIGHT questions divided in two Sections and printed both in HINDI and in ENGLISH.

Candidate has to attempt FIVE questions in all.

Question Nos. **1** and **5** are compulsory and out of the remaining, THREE are to be attempted choosing at least ONE question from each Section.

The number of marks carried by a question/part is indicated against it.

Answers must be written in the medium authorized in the Admission Certificate which must be stated clearly on the cover of this Question-cum-Answer (QCA) Booklet in the space provided. No marks will be given for answers written in medium other than the authorized one.

Wherever any assumptions are made for answering a question, they must be clearly indicated.

Diagrams/figures, wherever required, shall be drawn in the space provided for answering the question itself.

Unless otherwise mentioned, symbols and notations carry their usual standard meanings.

Attempts of questions shall be counted in chronological order. Unless struck off, attempt of a question shall be counted even if attempted partly. Any page or portion of the page left blank in the Question-cum-Answer Booklet must be clearly struck off.

खण्ड—A / SECTION—A

1. *(a)* एक कार्नो चक्र में ऊष्मा 480 °C पर प्राप्त होती है और 40 °C पर बाहर आती है। प्रति चक्र सिंक की एंट्रॉपी 0·0785 kJ/kg K बढ़ जाती है। प्रति चक्र किए जाने वाले कार्य का निर्धारण कीजिए।

In a Carnot cycle, heat is received at 480 °C and rejected at 40 °C. The entropy of the sink increases by 0·0785 kJ/kg K per cycle. Determine the work done per cycle. 10

(b) टरबाइन दक्षता η_t वाले एक विवृत-चक्र गैस टरबाइन संयंत्र की कम्प्रेसर दक्षता η_c है। न्यूनतम गैस ताप $T_{\min}$ है और दहन कक्ष में गर्म करने पर उसका ताप $T_{\max}$ है। यदि संपीडन और प्रसरण के लिए दाब अनुपात r_p हो, तो गुणनफल $\eta_c \cdot \eta_t \cdot \frac{T_{\max}}{T_{\min}}$ के लिए सीमा क्या होनी चाहिए?

दाब हानियों को नज़रअंदाज़ कीजिए और कल्पना कीजिए कि कार्यशील वस्तु एक आदर्श गैस है।

An open-cycle gas turbine plant with turbine efficiency η_t has a compressor of efficiency η_c. The minimum gas temperature is $T_{\min}$ and after heating in the combustion chamber, its temperature is $T_{\max}$. If the pressure ratio for compression and expansion is r_p, what should be the limit for the product $\eta_c \cdot \eta_t \cdot \frac{T_{\max}}{T_{\min}}$?

Neglect pressure losses and assume that working substance is a perfect gas. 10

(c) एक आदर्श गैस में, प्रसामान्य शॉक के लिए निम्नलिखित व्यंजक व्युत्पन्न कीजिए :

$$\frac{p_y}{p_x} = \frac{2\gamma}{\gamma+1} M_x^2 - \frac{\gamma-1}{\gamma+1}$$

जहाँ x और y शॉक से पहले और बाद की अवस्थाएँ हैं, γ विशिष्ट ऊष्माओं का अनुपात है और M मैक संख्या है।

Derive the following expression for normal shock in an ideal gas :

$$\frac{p_y}{p_x} = \frac{2\gamma}{\gamma+1} M_x^2 - \frac{\gamma-1}{\gamma+1}$$

where x and y are conditions before and after the shock, γ is ratio of specific heats and M is Mach number. 10

(d) दोनों तरफ़ बराबर की उत्सर्जकता (एमिसिविटी) वाला एक पतला विकिरण परिरक्षक (रेडिएशन शील्ड) उत्सर्जकताएँ 0·8 और 0·5 वाले दो बड़े समतलों के बीच और उनके समान्तर रख दिया जाता है। मूल के 92% तक ऊष्मा अन्तरण दर को कम करने के लिए विकिरण परिरक्षक की उत्सर्जकता का निर्धारण कीजिए।

A thin radiation shield having equal emissivities on both sides is introduced parallel to and in between two large planes with emissivities 0·8 and 0·5 respectively. Determine the emissivity of the radiation shield to reduce the heat transfer rate by 92% of the original. 10

(e) एक मोटे खोखले सिलिंडर के बाहरी और भीतरी पृष्ठों के क्षेत्रफल क्रमशः 1·25 m^2 और 0·25 m^2 हैं। सिलिंडर की मोटाई 10 cm और सिलिंडर वस्तु की ऊष्मा चालकता 50 W/m K है। पृष्ठों पर 100 °C ताप अन्तर के लिए, सिलिंडर में से त्रिज्य ऊष्मा अन्तरण मालूम कीजिए। प्रयुक्त फॉर्मूले को व्युत्पन्न कीजिए।

The outer and inner surfaces of a thick hollow cylinder have areas 1·25 m^2 and 0·25 m^2 respectively. The thickness of the cylinder is 10 cm and the thermal conductivity of the cylinder material is 50 W/m K. Find the radial heat transfer through the cylinder for 100 °C temperature difference at the surfaces. Derive the formula used. 10

2. (a) एक प्रत्यागामी वायु संपीडक (रेसिप्रोकेटिंग एयर कम्प्रेसर) का 3 m^3 टैंक को 1 bar और 30 °C पर तेज़ी से भर देने के लिए इस्तेमाल किया जाता है। भरने का प्रक्रम $pv^{1.4}$ = const. के द्वारा नियंत्रित होता है। गतिज ऊर्जा के प्रभाव नज़रअंदाज़ किए जाने वाले हैं। टैंक में वायु के आरम्भिक द्रव्यमान पर अन्तिम द्रव्यमान का अनुपात 4 है। निम्नलिखित कार्य कीजिए :

A reciprocating air compressor is used to fill rapidly a 3 m^3 tank at 30 °C and 1 bar. The filling process is governed by $pv^{1.4}$ = const. The effects of kinetic energy are negligible. The ratio of the final to initial mass of air in the tank is 4. Work out the following :

(i) तंत्र का रेखाचित्र बनाइए और नियंत्रण आयतन दर्शाइए।

Draw the system and show the control volume.

(ii) की गई अभिगृहीतों की सूची बनाइए।

List the assumptions made.

(iii) यदि यांत्रिक दक्षता 90% हो, तो संपीडक का कार्य इनपुट कितना होगा?

What would be the work input to the compressor, if mechanical efficiency is 90%? 20

(b) 1200 r.p.m. पर चलता हुआ एक अपकेन्द्री संपीडक मुक्त वायु का 800 m^3/min प्रदान करता है। वायु 0·84 की समएंट्रॉपी दक्षता के साथ 1 bar, 30 °C से 4·8 bar तक संपीडित की जाती है। इम्पेलर के ब्लेड निर्गम (आउटलेट) पर त्रिज्य हैं और 80 m/s के प्रवाह वेग को पूरे काल अपरिवर्तित माना जा सकता है। इम्पेलर की बाहरी त्रिज्या उसकी भीतरी त्रिज्या से दोगुनी है। सर्पण गुणक (स्लिप फैक्टर) को 0·9 माना जा सकता है। ब्लेड क्षेत्रफल गुणांक प्रवेश पर 0·9 के बराबर है।

A centrifugal compressor running at 1200 r.p.m. delivers 800 m^3/min of free air. The air is compressed from 1 bar, 30 °C to 4·8 bar with isentropic efficiency of 0·84. The impeller blades are radial at outlet and the flow velocity of 80 m/s may be assumed constant throughout. The outer radius of the impeller is twice the inner. The slip factor may be assumed as 0·9. The blade area coefficient is equal to 0·9 at inlet.

(i) इम्पेलर के लिए प्रवेश और निर्गम वेग त्रिकोण बनाइए और प्रक्रम को एक T-s आरेख पर दर्शाइए।

Draw inlet and outlet velocity triangles for the impeller, and show the process on a T-s diagram.

(ii) यदि यांत्रिक दक्षता 95% हो, तो आवश्यक इनपुट शक्ति का परिकलन कीजिए।

Calculate the input power needed, if mechanical efficiency is 95%.

(iii) प्रवेश और निर्गम पर इम्पेलर व्यास का परिकलन कीजिए।

Calculate the impeller diameters at inlet and outlet.

(iv) प्रवेश पर इम्पेलर और विसारक (डिफ़्यूज़र) ब्लेड कोणों का परिकलन कीजिए।

Calculate the impeller and diffuser blade angles at inlet. 20

(c) 500 kg/min की दर से प्रवाहमान तेल के संतृप्त ताप पर, वाष्प एक ऊष्मा विनिमयित्र नली में 355 K पर प्रवेश करता है और वह द्रवित हो जाता है, जबकि वह 3600 kg/min की दर पर बहते जल से ठंडा हो जाता है जो 286 K पर समान्तर-प्रवाह ऊष्मा विनिमयित्र की संकेन्द्री नली में प्रवेश करता है। यह मानकर चलते हुए कि समग्र ऊष्मा अन्तरण गुणांक 475 W/m^2K है, तेल की गुप्त ऊष्मा (लेटेंट हीट) 600 kJ/kg K है, तो 25 mm बाहरी व्यास, 2 mm मोटी और लम्बाई 4·87 m की कितनी नलियों की जरूरत होगी? यदि शीतन जल वेग को 2 m/s से ज्यादा नहीं होना है, तो नली पासों की संख्या क्या होगी? जल के लिए C_p को 4·18 kJ/kg K और जल के घनत्व को 1000 kg/m^3 लीजिए।

The vapour, at the saturation temperature of an oil flowing at the rate of 500 kg/min, enters a heat exchanger tube, at 355 K and condenses while it is cooled by water flowing at the rate of 3600 kg/min entering the concentric tube of a parallel-flow heat exchanger at 286 K. Assuming overall heat transfer coefficient of 475 W/m^2K, latent heat of oil as 600 kJ/kg K, calculate the number of tubes required of 25 mm outer diameter and 2 mm thick with a length of 4·87 m. What will be the number of tube passes, if cooling water velocity should not exceed 2 m/s? Take C_p for water as 4·18 kJ/kg K and density of water as 1000 kg/m^3. 10

3. (a) बकिंघम की π थियोरम विधि का इस्तेमाल करते हुए निम्नलिखित प्राचलों पर निर्भर पंखे की दक्षता η के लिए एक सम्बन्ध व्युत्पन्न कीजिए :

द्रव्यमान घनत्व ρ, गतिक श्यानता μ, कोणीय वेग ω, रोटर का व्यास D, विसर्जन Q

Using Buckingham's π theorem method, derive a relation for the efficiency η of a fan which depends on the following parameters : 20

Mass density ρ, Dynamic viscosity μ, Angular velocity ω, Diameter of the rotor D, Discharge Q

(b) दो लम्बी पतली छड़ें A और B, अलग-अलग सामग्रियों की बनी हुई, बराबर के व्यास 12 mm और लम्बाई 1 m की, एक ऐसे पृष्ठ के साथ जुड़ी हुई हैं, जिसका ताप 100 °C पर बनाए रखा गया है। छड़ों के पृष्ठ 20 °C पर परिवेशी अचल वायु से घिरे हुए हैं। ताप सेंसर के साथ छड़ों की लम्बाई के साथ-साथ चलने पर पाया गया कि आधार पृष्ठ से दूर क्रमशः 15 cm और 7·5 cm स्थितियों पर छड़ों A और B के पृष्ठ ताप बराबर थे। यदि A की सामग्री कार्बन इस्पात है जिसकी ऊष्मा चालकता 60 W/m K हो, तो छड़ B की ऊष्मा चालकता क्या होगी? अभिगृहीतों की सूची बनाइए। मानिए कि वायु के लिए औसत संवहन गुणांक (कन्वेक्शन कोएफिशिएंट) 5 W/m^2K है। छड़ों A और B के लिए ऊष्मा अंतरण की दर का अनुपात मालूम कीजिए।

Two long slender rods A and B, made of different materials having same diameter of 12 mm and length 1 m, are attached to a surface maintained at a temperature of 100 °C. The surfaces of the rods are exposed to ambient still air at 20 °C. By traversing along the length of the rods with a temperature sensor, it is found that the surface temperatures of rods A and B are equal at positions 15 cm and 7·5 cm respectively away from the base surface. If material of A is carbon steel with thermal conductivity 60 W/m K, what is the thermal conductivity of rod B? List the assumptions made. Assume that the average convection coefficient for air is 5 W/m^2K. Find the ratio of rate of heat transfer for rods A and B. 20

(c) एक टैंक X के अन्दर गैस की एक विशेष मात्रा भर दी जाती है, जब तक कि दाब 100 kPa और ताप 330 K न हो जाय। एक अन्य टैंक Y में टैंक X में भरी गैस के भार का 5 गुना भर दिया जाता है, जिससे दाब बढ़कर 500 kPa हो जाता है और ताप बढ़कर 900 K हो जाता है। अब दोनों टैंकों X और Y को एक बंद वाल्व वाली नली के द्वारा जोड़ दिया जाता है। यह मानकर चलते हुए कि गैस आदर्श है और यदि वाल्व को तब तक खोल दिया जाता है जब तक कि साम्यावस्था नहीं प्राप्त होती है, दोनों टैंकों के आयतनों का अनुपात, साम्यावस्था ताप और दाब मालूम कीजिए। टैंक ऊष्मारोधित हैं। गैस के लिए, लीजिए R = 0·296 kJ/kg K और C_v = 0·75 kJ/kg K.

A certain amount of gas is filled in a tank X until its pressure is 100 kPa and temperature is 330 K. In another tank Y, 5 times the weight of gas in X is filled raising the pressure to 500 kPa and temperature 900 K. Both the tanks X and Y are now connected through a tube having a valve which is closed. Assuming the gas is ideal and if the valve is opened till equilibrium state is achieved, find the ratio of the volumes of both tanks, equilibrium temperature and pressure. The tanks are insulated. For the gas, take R = 0·296 kJ/kg K and C_v = 0·75 kJ/kg K. 10

4. (a) द्रव N_2 एक पतली दीवार वाली 20 mm व्यास की नली में 77 K पर प्रवेश करती है और अपरिवर्तित रूप से बहती है। नली के बाहरी पृष्ठ की उत्सर्जकता 0·02 है। इस नली को 50 mm भीतरी व्यास की एक अन्य नली, जिसकी भीतरी पृष्ठ की उत्सर्जकता 0·05 है, के अन्दर संकेन्द्रतः (कॉन्सेंट्रिकली) रख दिया जाता है। बाहरी नली के भीतरी पृष्ठ को 300 K पर बनाए रखा जाता है और नलियों के बीच के अवकाश को खाली कर दिया जाता है। नली की प्रति इकाई लम्बाई पर द्रव N_2 द्वारा प्राप्त ऊष्मा का निर्धारण कीजिए।

यदि दोनों पृष्ठों पर उत्सर्जकता 0·02 वाली पतली दीवार की एक विकिरण शील्ड को भीतरी और बाहरी नलियों के बीचोबीच संकेन्द्रतः डाल दिया जाय, तो नली की प्रति इकाई लम्बाई पर द्रव N_2 द्वारा प्राप्त ऊष्मा में प्रतिशत परिवर्तन का परिकलन कीजिए।

Liquid N_2 enters a thin-walled 20 mm diameter tube at 77 K and flows steadily. The outer surface of the tube has an emissivity of 0·02. This tube is placed concentrically in another tube of 50 mm inner diameter, whose inner surface emissivity is 0·05. The inner surface of the outer tube is maintained at 300 K and the space in between the tubes is evacuated. Determine the heat gained by the liquid N_2 per unit length of the tube.

If a thin-walled radiation shield with emissivity 0·02 on both sides is inserted midway concentrically between inner and outer tubes, calculate the % change in heat gained by liquid N_2 per unit length of the tube. 20

(b) एक नली के अन्दर 0·5 kg/s की दर से बहते हुए एक तरल को, 180 °C के ताप पर प्रवेश करने और 80 °C के ताप पर बाहर निकलने वाली गर्म गैसों द्वारा, 30 °C से 60 °C तक गर्म किया जाता है। तरल और गैसों की विशिष्ट ऊष्माएँ (स्पेसिफिक हीट्स) 4·186 kJ/kg K और 1·08 kJ/kg K हैं। एंट्रॉपी में परिवर्तन और 20 °C के परिवेश के परिवेशी ताप के लिए अनुपलभ्य ऊर्जा में वृद्धि का परिकलन कीजिए।

A fluid flowing in a tube at the rate of 0·5 kg/s is heated from 30 °C to 60 °C by hot gases entering at a temperature of 180 °C and leaving at 80 °C. The specific heats of the fluid and gases are 4·186 kJ/kg K and 1·08 kJ/kg K. Calculate the change in entropy and increase in unavailable energy for ambient temperature of surrounding of 20 °C. 20

(c) एक सरल विवृत-चक्र गैस टरबाइन संयंत्र में वायु 1 bar, 288 K पर प्रवेश करती है और उसको 2 bar तक संपीडित किया जाता है। इसके बाद उसको दहन कक्ष में प्रवेश करने से पूर्व पुनर्जनक में गर्म किया जाता है, जहाँ उसको 1700 K के ताप तक गर्म किया जाता है और फिर वह टरबाइन में प्रवेश करती है और वायुमंडलीय दाब तक विस्तारित होती है। कम्प्रेसर और टरबाइन की समएंट्रॉपिक दक्षताएँ क्रमशः 87% और 88% हैं। दहन कक्ष (कम्बस्टर) और ऊष्मा विनिमयित्र, प्रत्येक की दक्षता 0·97 है। दहन कक्ष में दाब हानि 0·4 bar है। टरबाइन द्वारा विकसित विद्युत् 350 MW है। ईंधन का कैलोरी मान 42 MJ/kg है। मान लीजिए $C_{p_{air}} = C_{p_{gas}} = 1{\cdot}005$ kJ/kg K और $\gamma = 1{\cdot}4$ हैं।

In a simple open-cycle gas turbine plant, air enters at 1 bar, 288 K and is compressed to 2 bar. It is then heated in the regenerator before entering the combustion chamber where it is heated to a temperature of 1700 K and then enters a turbine and expands to atmospheric pressure. The isentropic efficiencies of compressor and turbine are 87% and 88% respectively. The combustor and heat exchanger efficiencies are 0·97 each. Pressure loss in the combustor is 0·4 bar. Power developed by the turbine is 350 MW. Calorific value of fuel is 42 MJ/kg. Assume $C_{p_{air}} = C_{p_{gas}} = 1{\cdot}005$ kJ/kg K and $\gamma = 1{\cdot}4$.

(i) तंत्र का क्रमदर्शी आरेख (फ्लो डायग्राम) बनाइए और T-s आरेख पर प्रक्रमों को दर्शाइए।
Draw the system flow diagram and show the processes on a T-s diagram.

(ii) वायु और ईंधन की द्रव्यमान प्रवाह दर मालूम कीजिए।
Find out the mass flow rate of air and fuel.

(iii) कार्य अनुपात मालूम कीजिए।
Find out the work ratio.

(iv) ऊष्मीय दक्षता मालूम कीजिए।
Find out the thermal efficiency.

(v) विशिष्ट ईंधन खपत मालूम कीजिए।
Find out the specific fuel consumption. 10

खण्ड—B / SECTION—B

5. *(a)* एक अज्ञात ईंधन C_xH_y के दहन के उत्पादों का निम्नलिखित संघटन है जैसा कि एक ऑरसेट उपकरण द्वारा मापा गया है :

$$CO_2 = 8{\cdot}0\%,\ CO = 0{\cdot}9\%,\ O_2 = 8{\cdot}8\%,\ N_2 = 82{\cdot}3\%$$

x और y के मानों, वायु-ईंधन अनुपात और प्रयुक्त अतिरिक्त वायु की प्रतिशतता का निर्धारण कीजिए।

The products of combustion of an unknown fuel C_xH_y have the following composition as measured by an Orsat apparatus :

$$CO_2 = 8{\cdot}0\%,\ CO = 0{\cdot}9\%,\ O_2 = 8{\cdot}8\%,\ N_2 = 82{\cdot}3\%$$

Determine the values of x and y, the air-fuel ratio and % of excess air used. 10

(b) चिमनी गैस ताप के बाहरी वायु ताप पर अनुपात के व्यंजक का निर्धारण, द्रव्यमान प्रवाह दर के रूप में, कीजिए।

Determine the expression for the ratio of chimney gas temperature to outside air temperature in terms of mass flow rate. 10

(c) प्रतिक्रिया टरबाइन में एक अवस्था में, भाप का दाब 34 kPa (v_g = 4·65 m^3/kg) है और शुष्कता अंश (ड्राइनेस फ्रैक्शन) 0·95 है। 36000 kg/hr की प्रवाह दर के लिए, अवस्था 950 kW विकसित करती है। टरबाइन 3600 r.p.m. पर चलता है और प्रवाह का वेग, ब्लेड वेग का 0·72 गुना है। स्टेटर और रोटर दोनों ब्लेडों के निर्गम कोण 20° हैं। इस अवस्था पर माध्य रोटर व्यास और ब्लेडों की ऊँचाई मालूम कीजिए।

At a stage in a reaction turbine, the pressure of steam is 34 kPa (v_g = 4·65 m^3/kg) and dryness fraction is 0·95. For a flow rate of 36000 kg/hr, the stage develops 950 kW. The turbine runs at 3600 r.p.m. and velocity of flow is 0·72 times the blade velocity. The outlet angles of both stator and rotor blades are 20°. Determine at this stage the mean rotor diameter and height of blades. 10

(d) यांत्रिक वातानुकूलन सभी भौगोलिक स्थानों पर इस्तेमाल किया जा सकता है, जबकि डेज़र्ट वायु शीतक (कूलर) केवल कुछ भौगोलिक स्थानों में इस्तेमाल किए जा सकते हैं। समझाइए, क्यों। इन दोनों उपकरणों में शामिल प्रक्रमों को दर्शाइए।

Mechanical air-conditioning can be used in all geographical locations, whereas desert air-coolers can be used only in some geographical locations. Explain why. Show the processes involved in both these equipments. 10

(e) कमरा वायु तापन अनुप्रयोग के लिए सीधे वैद्युत प्रतिरोध तापक के इस्तेमाल के बजाय ऊष्मा पम्प (हीट पम्प) का इस्तेमाल करना ऊष्मागतिकतः (थर्मोडाइनैमिकली) लाभप्रद है। समझाइए, क्यों।

It is thermodynamically advantageous to employ a heat pump rather than employing a direct electrical resistance heater for a room air heating application. Explain why. 10

6. *(a)* एक 2-स्ट्रोक तेल इंजन का कैलोरी मान 44000 kJ/kg के ईंधन तेल के साथ 20 °C के सामान्य ताप (रूम टेम्परेचर) पर परीक्षण किया गया। निम्नलिखित आँकड़ों का इस्तेमाल करते हुए सूचित और ब्रेक शक्ति, यांत्रिक और ब्रेक ऊष्मीय दक्षता का परिकलन कीजिए तथा ऊष्मा तुलन-पत्र बनाइए :

सिलिंडर बोर = 20 cm; स्ट्रोक-बोर अनुपात = 1·3 : 1; रफ़्तार = 500 r.p.m.; ब्रेक ड्रम व्यास = 120 cm; रज्जु व्यास = 3 cm; निवल ब्रेक भार = 460 N; सूचित MEP = 2·8 bar; तेल खपत = 3·7 kg/hr; जैकेट शीतन जल दर = 456 kg/hr, 27 °C के ताप आरोह के साथ; कैलोरीमीटर में प्रवेश करती हुई इग्ज़ॉस्ट गैस का ताप 320 °C और बाहर निकलती हुई गैस का ताप 220 °C; प्रवाह दर 8 kg/min के साथ कैलोरीमीटर जल में ताप वृद्धि 8 °C है

A 2-stroke oil engine was subjected to a test at room temperature of 20 °C with fuel oil of calorific value 44000 kJ/kg. Calculate the indicated and brake power, mechanical and brake thermal efficiency, and draw the heat balance sheet using the following data : 20

Cylinder bore = 20 cm; Stroke-bore ratio = 1·3 : 1; Speed = 500 r.p.m.; Brake drum diameter = 120 cm; Rope diameter = 3 cm; Net brake load = 460 N; Indicated MEP = 2·8 bar; Oil consumption = 3·7 kg/hr; Jacket cooling water rate = 456 kg/hr with a rise in temperature of 27 °C; Exhaust gas temperature entering calorimeter is 320 °C and leaving 220 °C; Temperature rise in calorimeter water is 8 °C with a rate of flow 8 kg/min

(b) एक संयुक्त गैस टरबाइन (GT)-भाप टरबाइन (ST) संयंत्र में, गैस टरबाइन (GT) से निकास का बॉयलर में भाप को गर्म करने में इस्तेमाल किया जाता है, जहाँ पर गैस में ईंधन की आगे की पूर्ति जलाई जाती है। GT का दाब अनुपात 8 है, अन्तर्गम (इनलेट) वायु ताप 15 °C है, अधिकतम चक्र ताप 800 °C है। बॉयलर में दहन गैस ताप को बढ़ाकर 800 °C कर देता है और गैस बॉयलर से 100 °C पर बाहर निकलती है। भाप टरबाइन (ST) में भाप अन्तर्गम 60 bar और 600 °C पर है (h = 3656·2 kJ/kg, s = 7·166 kJ/kg K) और कंडेंसर दाब 0·05 bar है (h_f = 137·8 kJ/kg, h_{fg} = 2423·8 kJ/kg, s_f = 0·476 kJ/kg K, s_{fg} = 7·92 kJ/kg K)। कुल शक्ति आउटपुट 190 MW के लिए वायु और भाप की आवश्यक प्रवाह दर तथा संयुक्त संयंत्र की समग्र η का परिकलन कीजिए। कल्पना कीजिए कि सभी प्रक्रम आदर्श हैं। समग्र वायु-ईंधन अनुपात क्या है? मान लीजिए $C_{p_{gas}}$ = 1·11 kJ/kg K और $C_{p_{air}}$ = 1·05 kJ/kg K तथा गैस और वायु के लिए γ क्रमशः 1·33 और 1·4 है। वायु प्रवाह पर ईंधन की द्रव्यमान प्रवाह दर को नज़रअंदाज़ कीजिए। ईंधन का कैलोरी मान 43·3 MJ/kg है।

In a combined gas turbine (GT)-steam turbine (ST) plant, the exhaust from GT is used to heat steam in boiler at which a further supply of fuel is burned in the gas. Pressure ratio of GT is 8, inlet air temperature is 15 °C, maximum cycle temperature is 800 °C. Combustion in boiler increases the gas temperature to 800 °C and gas leaves the boiler at 100 °C. The steam inlet in ST is at 60 bar and 600 °C (h = 3656·2 kJ/kg, s = 7·166 kJ/kg K) and condenser pressure

is 0·05 bar (h_f = 137·8 kJ/kg, h_{fg} = 2423·8 kJ/kg, s_f = 0·476 kJ/kg K, s_{fg} = 7·92 kJ/kg K). Calculate flow rate of air and steam required for a total power output of 190 MW and the overall η of the combined plant. Assume that all processes are ideal. What is overall air-fuel ratio? Assume $C_{p_{gas}}$ = 1·11 kJ/kg K and $C_{p_{air}}$ = 1·05 kJ/kg K, and γ for gas and air as 1·33 and 1·4 respectively. Neglect mass flow rate of fuel on the airflow. Calorific value of fuel is 43·3 MJ/kg. 20

(c) दर्शाइए कि आर्द्र वायु की शुष्क वायु के प्रति kg पर एंथैल्पी निम्नलिखित द्वारा प्रदत्त है :

$$h = C_{p_m} \times \text{DBT} + 2500\omega$$

जहाँ C_{p_m} = आर्द्र वायु विशिष्ट ऊष्मा = (1·005 + 1·88ω), ω = विशिष्ट आर्द्रता kg/kg शुष्क वायु, जल के लिए 0 °C पर h_{fg} = 2500 kJ/kg पर और DBT = शुष्क-बल्ब ताप।

Show that the enthalpy of humid air per kg of dry air is given by

$$h = C_{p_m} \times \text{DBT} + 2500\omega$$

where C_{p_m} = humid air specific heat = (1·005 + 1·88ω), ω = specific humidity kg/kg of dry air, h_{fg} = 2500 kJ/kg at 0 °C for water and DBT = dry-bulb temperature. 10

7. *(a)* *(i)* नॉज़ल के क्रांतिक दाब अनुपात (क्रिटिकल प्रेशर रेशिओ) के लिए एक व्यंजक व्युत्पन्न कीजिए। नॉज़ल में अवरोधन (चोकिंग) की प्रघटना को स्पष्ट कीजिए।

Derive an expression for critical pressure ratio of a nozzle. Explain the phenomenon of choking in the nozzle. 10

(ii) एक भाप विद्युत् स्टेशन निम्नलिखित चक्र का इस्तेमाल करता है :

भाप बॉयलर निर्गम 150 bar, 550 °C (h = 3450·4 kJ/kg, s = 6·523 kJ/kg K);
40 bar पर 550 °C तक पुनःताप (h = 3560·34 kJ/kg, s = 7·235 kJ/kg K);
0·1 bar पर कंडेंसर (h_f = 191·8 kJ/kg, h_{fg} = 2392·05 kJ/kg,
s_f = 0·649 kJ/kg K, s_{fg} = 7·5 kJ/kg K)
आदर्श प्रक्रमों को मानकर चलते हुए, टरबाइन निष्कासक पर भाप की गुणता, चक्र दक्षता और भाप प्रवाह दर प्रति kWh मालूम कीजिए।

A steam power station uses the following cycle :

Steam boiler outlet 150 bar, 550 °C (h = 3450·4 kJ/kg, s = 6·523 kJ/kg K);
Reheat at 40 bar to 550 °C (h = 3560·34 kJ/kg, s = 7·235 kJ/kg K);
Condenser at 0·1 bar (h_f = 191·8 kJ/kg, h_{fg} = 2392·05 kJ/kg,
s_f = 0·649 kJ/kg K, s_{fg} = 7·5 kJ/kg K)
Assuming ideal processes, find quality of steam at turbine exhaust, cycle efficiency and steam flow rate per kWh. 10

(b) एक वातानुकूलन संयंत्र में, वायु हैंडलिंग एकक कुल मिलाकर शुष्क वायु का 4500 cmm सप्लाई करता है, जो भार के अनुसार 40 °C DBT, 27 °C WBT पर 20% ताजी हवा तथा 25 °C DBT और 50% RH पर 80% पुनःपरिसंचरित हवा होता है। वायु शीतन कुंडली (कूलिंग कॉएल) से 13 °C पर संतृप्त बाहर निकलती है। कुल शीतन भार और कक्ष ऊष्मा लब्धि का परिकलन कीजिए :

दशा	DBT (°C)	WBT (°C)	RH (%)	*विशिष्ट आर्द्रता* (kg/kg शुष्क वायु)	*एंथैल्पी* (kJ/kg शुष्क वायु)
बाहरी वायु	40	27		17·2	85
कक्ष वायु	25		50	10·0	50·8
ADP	13		100	9·4	37·0

The air handling unit in an AC plant supplies a total of 4500 cmm of dry air which comprises by weight 20% fresh air at 40 °C DBT, 27 °C WBT and 80% recirculated air at 25 °C DBT and 50% RH. Air leaves the cooling coil at 13 °C saturated. Calculate total cooling load and room heat gain : 20

Condition	DBT (°C)	WBT (°C)	RH (%)	*Sp. humidity* (kg/kg of dry air)	*Enthalpy* (kJ/kg of dry air)
Outside air	40	27		17·2	85
Room air	25		50	10·0	50·8
ADP	13		100	9·4	37·0

(c) निम्नलिखित आँकड़ें एक 4-स्ट्रोक, 4-सिलिंडर डीज़ल इंजन के सम्बन्ध में हैं :

सिलिंडर व्यास = 36 cm; स्ट्रोक = 40 cm; रफ़्तार = 315 r.p.m.; सूचित MEP = 7 bar; ब्रेक शक्ति = 250 kW; ईंधन खपत = 80 kg/hr; कैलोरी मान = 44 MJ/kg; वायु खपत = 30 kg/min; ताप में 38 °C की बढ़त के साथ संचारित शीतन जल = 90 kg/min; निकास गैस ताप = 324 °C और सामान्य ताप (रूम टेम्परेचर) = 45 °C; $C_{p_{air}}$ = 1·005 kJ/kg K, $C_{p_{gas}}$ = 1·05 kJ/kg K, $C_{p_{steam}}$ = 2·093 kJ/kg K। निकास गैसों में भाप का आंशिक दाब 0·03 bar और ईंधन में है 13% H_2.

यांत्रिक दक्षता, सूचित ऊष्मीय η, ब्रेक स्पेसिफिक ईंधन खपत मालूम कीजिए। घंटा के आधार पर इंजन के लिए ऊष्मा तुलन-पत्र बनाइए।

The following data refer to a 4-stroke, 4-cylinder diesel engine :

Cylinder diameter = 36 cm; Stroke = 40 cm; Speed = 315 r.p.m.; Indicated MEP = 7 bar; Brake power = 250 kW; Fuel consumption = 80 kg/hr; Calorific value = 44 MJ/kg; Air consumption = 30 kg/min; Cooling water circulated = 90 kg/min with rise in temperature 38 °C; Exhaust gas temperature = 324 °C and Room temperature = 45 °C kJ/kg K; $C_{p_{air}}$ = 1·005 kJ/kg K, $C_{p_{gas}}$ = 1·05 kJ/kg K, $C_{p_{steam}}$ = 2·093 kJ/kg K. In exhaust gases, partial pressure of steam is 0·03 bar and fuel contains 13% H_2.

Find mechanical efficiency, indicated thermal η, brake specific fuel consumption. Draw heat balance sheet for the engine in hourly basis. 10

8. *(a)* *(i)* एक R_{12} सरल संतृप्त चक्र 35 °C और –15 °C के तापों पर संक्रिया करता है। तंत्र की COP और प्रति टन प्रशीतन (रेफ्रीजरेशन) के लिए HP का निर्धारण कीजिए :

				अतितप्त			
				20 K		40 K	
t (°C)	h_f (kJ/kg)	h_g (kJ/kg)	s_g (kJ/kg K)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg K)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg K)
35	69·5	201·5	0·6839	216·4	0·731	231·0	0·7741
–15		181·0	0·7052	193·2	0·751	205·7	0·7942

An R_{12} simple saturation cycle operates at temperatures of 35 °C and –15 °C. Determine the COP and HP per ton of refrigeration of the system : 10

				Superheated			
				20 K		40 K	
t (°C)	h_f (kJ/kg)	h_g (kJ/kg)	s_g (kJ/kg K)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg K)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg K)
35	69·5	201·5	0·6839	216·4	0·731	231·0	0·7741
–15		181·0	0·7052	193·2	0·751	205·7	0·7942

(ii) ग्रीष्म ऋतु और शीत ऋतु के वातानुकूलन प्रक्रमों के बीच विभेदन कीजिए।

Differentiate between summer and winter air-conditioning processes. 10

(b) यद्यपि वेग-संयोजित आवेग टरबाइन कम दक्ष (एफिशिएंट) होते हैं, उच्च दाब की आरम्भिक अवस्थाओं में टरबाइन सामान्यतः वेग-संयोजित होते हैं। ऐसा क्यों है? वेग-संयोजित और दाब-संयोजित आवेग टरबाइनों में दाब और वेगों के विचरण का आरेख बनाइए।

Even though velocity-compounded impulse turbines are less efficient, in the initial stages of high pressure turbines are normally velocity-compounded. Why? Plot the variation of pressure and velocities in velocity-compounded and pressure-compounded impulse turbines. 10

(c) एक भाप विद्युत् संयंत्र आदर्श पुनर्योजी रैन्किन चक्र पर चलता है। भाप टरबाइन में 6 MPa, 450 °C पर प्रवेश करती है (h = 3301·8 kJ/kg, s = 6·7193 kJ/kg K) और कंडेंसर में 20 kPa पर द्रवित हो जाती है (h_f = 251·4 kJ/kg, h_{fg} = 2358·3 kJ/kg, v_f = 0·001 m^3/kg, s_f = 0·832 kJ/kg K, s_{fg} = 7·0766 kJ/kg K)। भरण जल तापक (वाटर हीटर) को गर्म करने के लिए, भाप को टरबाइन से 0·4 MPa पर निष्कर्षित किया जाता है (h_f = 604·74 kJ/kg, v_f = 0·001 m^3/kg, h_{fg} = 2133·8 kJ/kg, s_f = 1·7766 kJ/kg K, s_{fg} = 5·1193 kJ/kg K)। पानी भरण जल तापक से संतृप्त द्रव के रूप में बाहर निकलता है। T-s आरेख पर चक्र को दर्शाइए और निवल कार्य आउटपुट/kg भाप, चक्र की बॉयलर और ऊष्मीय दक्षताएँ मालूम कीजिए।

A steam power plant operates on ideal regenerative Rankine cycle. Steam enters the turbine at 6 MPa, 450 °C (h = 3301·8 kJ/kg, s = 6·7193 kJ/kg K) and is condensed in the condenser at 20 kPa (h_f = 251·4 kJ/kg, h_{fg} = 2358·3 kJ/kg, v_f = 0·001 m^3/kg, s_f = 0·832 kJ/kg K, s_{fg} = 7·0766 kJ/kg K). Steam is extracted from the turbine at 0·4 MPa (h_f = 604·74 kJ/kg, v_f = 0·001 m^3/kg, h_{fg} = 2133·8 kJ/kg, s_f = 1·7766 kJ/kg K, s_{fg} = 5·1193 kJ/kg K) to heat feedwater heater. Water leaves feedwater heater as saturated liquid. Show the cycle on T-s diagram and find net work output/kg of steam, the boiler and thermal efficiencies of the cycle. 20

★★★