مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (33) العدد (1) 2011
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (33) No. (1) 2011

التوازن الحراري بين جسم الإنسان والوسط المحيط

الدكتور أيوب عيسى حسن*

(تاريخ الإيداع 18 / 10 / 2010. قُبِل للنشر في 22/ 2 / 2011)

□ ملخّص □

منذ بداية ظهور الإنسان على كوكب الأرض كان من صلب اهتماماته الحفاظ على جسمه، ووقايته من تأثير الوسط المحيط، وضمان توازنه الحراري المتمثل في التبادل الحراري بين جسمه والوسط المحيط، والذي تختلف قيمته باختلاف فصول السنة. يتركّز اهتمام الكثير من الباحثين في الوقت الراهن وبمختلف اختصاصاتهم، على تأمين الشروط المريحة لحياة الإنسان.

سندرس في هذا البحث التبادل الحراري بين جسم الإنسان والوسط المحيط بغية معرفة احتياجاته المولِّدة للطاقة، كالطعام والشراب والتنفس، وذلك لضمان استمرار حياته الطبيعية وتمتعه بقدرته الكاملة، وبأفضل حالات نشاطه. يعتمد ذلك على تحليل التبادل الحراري بين جسم الإنسان والوسط المحيط، والطرق التي يتم فيها هذا التبادل ووضع البرنامج الحاسوبي الملائم.

الكلمات المفتاحية: جسم الإنسان، كمية الطاقة الحرارية، الوسط المحيط، الشروط المريحة.

* أستاذ مساعد – قسم هندسة القوى الميكانيكية –كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية –جامعة تشرين–اللاذقية– سورية.

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (33) العدد (1) 2011
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (33) No. (1) 2011

The Heating Balance between Human Body and Surroundings

Dr. Ayuob Hasan*

(Received 18 / 10 / 2010. Accepted 22 / 2 / 2011)

□ ABSTRACT □

Since their first days on Earth, the greatest interest of humans has been to take care of their bodies and protect them from the effects of surroundings as well as maintaining the heating balance represented in the heat transfer between their bodies and surroundings, with seasonal variance. The interests of many researchers, with their various specializations, currently focus on providing people with good living conditions.

In this paper we will study the balance between the human body and the surroundings to know a human's energy-producing needs, such as food, water and breathing, needed for the continuation of his normal life, securing an energetic and fully active life. That depends on the analysis of heat transfer between the human body and the surroundings, knowing the heat transfer methods, and using a suitable computer program.

Key words: Human Body; quantity of heating energy; the surrounding, anemometry condition`s.

***Associate Professor, Power Mechanical Engineering Department, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**

مقدمة:

سعى الإنسان ومنذ تاريخ ظهوره على سطح الكرة الأرضية إلى التأقلم مع الوسط المحيط، انطلاقا من استخدامه لأوراق الأشجار لتغطية جسمه، واستخدامه الكهوف، وحتى استخدامه احدث التقنيات المعاصرة لتوفير أفضل الشروط المريحة. ولتحقيق هذا الهدف استخدم الباحثون مختلف الطرق والوسائل المتاحة، آخذين بالاعتبار مراعاة الخصوصية والاعتبارات الشخصية.

أهمية البحث وأهدافه:

سيتناول هذا البحث دراسة التبادل الحراري بين جسم الإنسان والوسط المحيط بالأخذ بالاعتبار شكل جسم الإنسان، واعتباره مجموعة من الأشكال الهندسية المألوفة والتي تشكل بمجموعها الشكل الخارجي الإجمالي لهذا الجسم.

يعتبر جسم الإنسان مصدراً حرارياً أو جملة ترموديناميكية، تملك منبعاً حرارياً داخلياً يحافظ على درجة حرارة ثابتة في الشروط الصحية الطبيعية وقدرها $T_B = 37°C$ ،[1] وتنتشر الحرارة المتولدة من هذا المنبع عن طريق:

- مختلف أنحاء الجسم التي تتبادل الحرارة مع الوسط المحيط عبر المساحة الخارجية لجلد كافة أعضاء الجسم.
- طرد الحرارة إلى الوسط المحيط عبر عملية التنفس.
- طرد الحرارة عبر الفضلات بأنواعها.
- طرد الحرارة عن طريق التعرق.

سنتناول في هذا البحث دراسة التبادل الحراري بالحمل الحر بين جسم الإنسان والوسط المحيط فقط، بالاعتماد على المعادلات الرياضية والقوانين المستخدمة في انتقال الحرارة وبناءً على نظريات التشابه. والمقاربة بين أعضاء جسم الإنسان والأشكال الهندسية المناسبة.

طرائق البحث ومواده:

التبادل الحراري بين جسم الإنسان والوسط المحيط

يمكن دراسة التبادل الحراري بالحمل بين جسم الإنسان والوسط المحيط بعد تقسيمه إلى عدد من الأقسام التي سنأتي على تحليلها بالتفصيل.

1- التبادل الحراري من الساقين:

يمكن اعتبار الساقين كأنبوبين مخروطيين وتكون مساحة كل منهما معطاة بالعلاقة:[4]

$$A_1 = 2\pi \frac{(R_1 + r_1)}{2} x_1$$

حيث: x_1(m) طول الساق.

R_1 ,r_1 نصف قطري القاعدة الصغرى والكبرى للمخروط على التوالي، وتكون كمية الحرارة المنتقلة من الساقين إلى الوسط المحيط Q_1 مقدرة بالواط (W)معطاة بالعلاقة التالية:

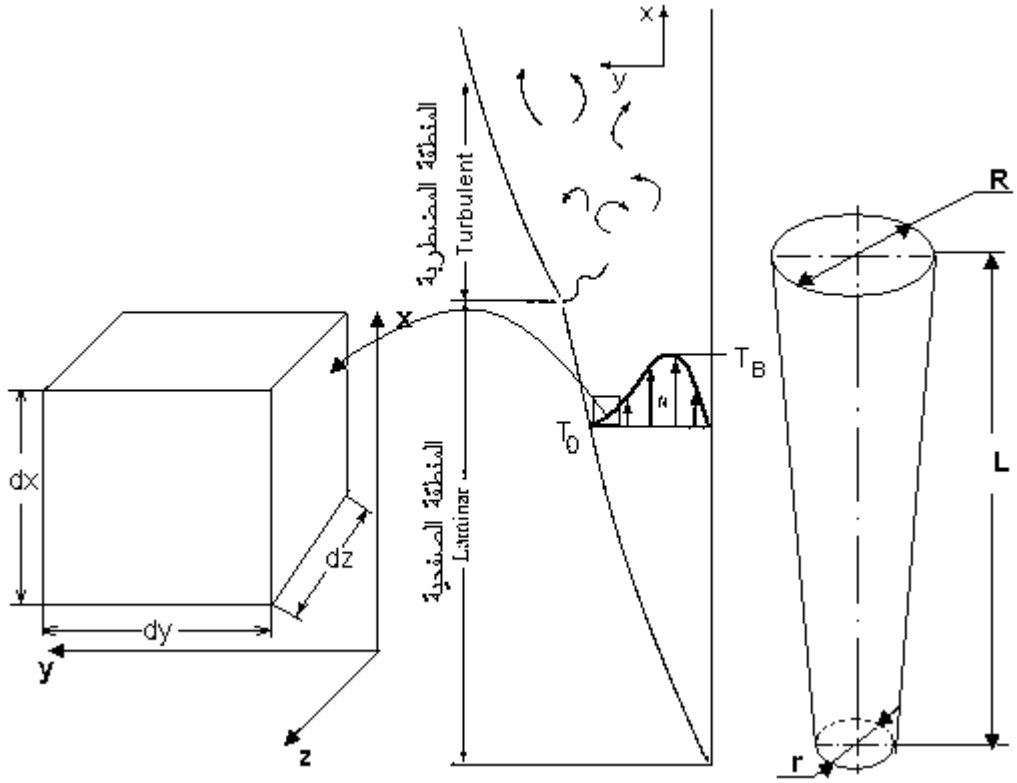
$$Q_1 = 2K_1 A_1 \Delta T = 2K_1 \pi (R_1 + r_1) x_1 (T_B - T_O) \qquad (1)$$

حيث: T_B درجة حرارة السطح الخارجي لجسم الإنسان، T_O درجة حرارة الهواء المحيط بالجسم.

K_1 $(W/m^2.K)$: معامل انتقال الحرارة الإجمالي بين تيار الهواء الخارجي والسطح الخارجي للساق، $\Delta T = (T_B - T_O)$ (K) فرق درجات الحرارة بين جسم الإنسان والهواء المحيط، x_1 طول الساق (ارتفاع المخروط).

يتم تحديد معامل انتقال الحرارة الإجمالي بين الساقين والوسط المحيط، بناءً على اعتبار أن التبادل الحراري يتم بالحمل الحر بين جسم مخروطي شاقولي والهواء الجوي المحيط الشكل (1).

لدراسة هذه الحالة يجب أولاً الحصول على المعادلة التفاضلية للحركة في الطبقة الحدية المتشكلة حول الساقين، ولتحقيق ذلك نعتمد الطريقة المعتمدة في المراجع.[2] , [3].



الشكل (1) تدرج السرعة ودرجة حرارة الهواء الخارجي المجاور لساق الإنسان باعتبارها كجدار مخروطي.

تكون القوة الوحيدة التي يجب أخذها بعين الاعتبار أثناء الاشتقاق هي وزن الهواء ضمن الحجم العنصري المأخوذ من الطبقة الحدية المتشكلة، وبمساواة مجموعة القوى الخارجية في الاتجاه X مع التغير في كمية الحركة عبر الحجم العنصري $dx \cdot dy.dz$ ينتج:

$$\rho\left(w_x \frac{\partial w_x}{\partial x} + w_y \frac{\partial w_x}{\partial y}\right) = -\frac{\partial p}{\partial x} - \rho g + \mu \frac{\partial^2 w_x}{\partial y^2} \qquad (2)$$

حيث يمثل الحد $-\rho g$ قوة الوزن المطبقة على واحدة الحجم من العنصر، وينتج تدرج الضغط في الاتجاه x عن التغير في ارتفاع الساق وبالتالي:

$$\frac{\partial p}{\partial x} = -\rho_0 g \qquad (3)$$

يمكن وبكلمات أخرى القول:

إن التغير في الضغط عند الارتفاع dx يساوي وزن واحدة الحجوم (m^3) على واحدة المساحة العنصرية للمائع (m^2) .

وبالتعويض من المعادلة (3) في المعادلة (2) ينتج:

$$\rho\left(w_x \frac{\partial w_x}{\partial x} + w_y \frac{\partial w_x}{\partial y} \right) = g(\rho_0 - \rho) + \mu \frac{\partial^2 w_x}{\partial y^2} \qquad (4)$$

يمكن التعبير عن فرق الكثافة $\rho_0 - \rho$ بدلالة معامل التمدد الحجمي β المحدد بالعلاقة:

$$\beta = \frac{1}{V}\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_\rho = \frac{1}{V_0}\frac{V - V_0}{T - T_0} = \frac{\rho_0 - \rho}{\rho(T - T_0)}$$

وبالتالي:

$$\rho\left(w_x \frac{\partial w_x}{\partial x} + w_y \frac{\partial w_x}{\partial y} \right) = g\rho\beta(T - T_0) + \mu \frac{\partial^2 w_x}{\partial y^2} \qquad (5)$$

وهي معادلة الحركة للحمل الحراري الحر ضمن الطبقة الحدية، نلاحظ أن حل هذه المعادلة بالنسبة لمخطط السرعة، يتطلب معرفة توزع درجة الحرارة. [2]

تعطى معادلة الطاقة لنظام الحمل الحراري الحر عند السرعات الصغيرة بالعلاقة:

$$\rho.c_p\left(w_x \frac{\partial T}{\partial x} + w_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) = \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \qquad (6)$$

ويمكن تحديد معامل التمدد الحجمي β من جداول الخواص الفيزيائية للهواء، أو يمكن حسابه من اجل الغازات المثالية من العلاقة:

$$\beta = \frac{1}{T_0}$$

حيث: T_0 (K) هي درجة الحرارة الخارجية المطلقة للهواء، باعتباره غازاً مثالياً. حتى ولو كانت حركة الهواء كنتيجة لتغير الكثافة، فان هذه التغيرات تكون صغيرة وبشكل كافٍ، بحيث يمكن الحصول على حل مرضٍ للمشكلة، بافتراض أن الجريان غير قابل للانضغاط أي يمكن اعتبار أن الكثافة ثابتة $\rho = const$ ، ضمن مجال التغير الحراري الصغير نسبياً والطول القصير نسبياً للساق أيضاً.

نستخدم طريقة التكامل لحل معادلة الحركة ومن أجل منظومة حمل حراري حر تصبح معادلة التدفق التكاملية من الشكل:

$$\frac{d}{dx}\left(\int_0^{\delta_h} \rho w^2 dy \right) = -\tau_B + \int_0^{\delta_h} \rho g\beta(T - T_0) d = -\mu \frac{\partial w}{\partial y}\Big]_{y=0} + \int_0^{\delta_h} \rho g\beta(T - T_0) dy \qquad (7)$$

من أجل الحل يجب أن يكون معلوماً شكل القطع المكافئ لتوزع كل من السرعة ودرجة الحرارة، وللوصول إلى الحل نطبق الشروط الحدية التالية لكل من السرعة ودرجة الحرارة:

– فبالنسبة لتوزع درجة الحرارة:

عندما $y = 0$ فإن $T = T_B$ وعندما $y = \delta_h$ فإن $T = T_0$ و $\dfrac{\partial T}{\partial y} = 0$ عندما $y = \delta_h$.

نحصل من أجل توزع درجة الحرارة على ما يلي:

$$\frac{T-T_0}{T_B-T_0}=\left(1-\frac{y}{\delta_h}\right)^2 \qquad (8)$$

- وبالنسبة لمخطط السرعة:

$w_x=0$ عندما $y=0$ و $w_x=0$ عندما $y=\delta_h$ و $\frac{\partial T}{\partial y}=0$ عندما $y=\delta_h$ ، ويمكن الحصول على شرط إضافي من المعادلة (5) بملاحظة أن:

$$\frac{d^2w_x}{dy^2}=-g\beta\frac{T_B-T_0}{v} \qquad at \quad y=0$$

نفترض أن مخطط السرعة يملك شكلاً هندسيا متشابهاً عند المسافات المختلفة لـ x وعلى طول الجزع المخروطي. ومن أجل مسألة الحمل الحر، يمكن تمثيل تغير السرعة بتابع عشوائي متعدد الحدود ومن مضاعفات y وكدالة لـ y من الشكل:

$$\frac{w}{w_x}=A+By+Cy^2+Dy^3$$

حيث w_X هي السرعة الافتراضية بالاتجاه x وتمثل الحدود A,B,C,D ثوابت المعادلة وتتحدد بالطرق التجريبية، أما $w\ (m/s)$ فهي قيمة السرعة بالاتجاه x عند القيمة y والتي يمكن أن تأخذ أية قيمة.[3]

تم اختيار صيغة متعددة الحدود من الدرجة الثالثة، لأنه يجب أن تتحقق أربعة شروط، وهذه الصيغة هي ابسط صيغة لتابع قد يستخدم. وبتطبيق الشروط الأربعة على المخطط المذكور سابقاً للسرعة نجد أن:

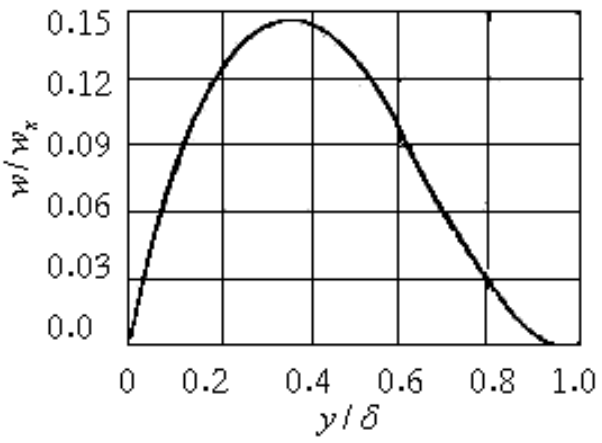
$$\frac{w}{w_X}=\frac{\beta\delta^2 g(T_B-T_0)}{4w_X v}\frac{y}{\delta_h}\left(1-\frac{y}{\delta_h}\right)^2$$

يمكن دمج الحدود التي تتضمن فرق درجة الحرارة مثل $\delta_h^{\,2}$ و w_x كتابع لـ w_x فتكون العلاقة النهائية المفترضة لمخطط السرعة هي من الشكل:

$$\frac{w}{w_X}=\frac{y}{\delta_h}(1-\frac{y}{\delta_h})^2 \qquad (9)$$

يبين الشكل(2) رسماً بيانياً للمعادلة (9) وبتعويض المعادلتين (8)، (9) في المعادلة (6) وإجراء عملية التكامل نحصل على الشكل التكاملي لمعادلة الطاقة لمنظومة حمل حراري حر من الشكل:

$$\frac{d}{dx}\left[\int_0^{\delta} w(T-T_0)dy\right]=-\alpha\frac{dT}{dy}\Big]_{y=0} \qquad (10)$$



الشكل(2) مخطط السرعة للحمل الحراري الحر وفقاً للمعادلة(9)

عند إدخال توزع درجة الحرارة والسرعة المفترضة في هذه المعادلة وتنفيذ العمليات ينتج:

$$\frac{1}{30}\left(T_B - T_0\right)\frac{d}{dx}\left(w_x \delta_h\right) = 2\alpha\,\frac{T_B - T_0}{\delta_h} \qquad (11)$$

من الواضح واعتماداً على الفرضيات التي قادت إلى المعادلة (9) أن:

$$w_x \sim \delta_h^{\,2} \qquad (12)$$

حيث w_x : مركبة سرعة الهواء باتجاه المحور الشاقولي X؛ δ_h : سماكة الطبقة الحدية الهيدروليكية، وبإدخال العلاقة بين w_x, δ_h من العلاقة (12) في العلاقة (10) نحصل على العلاقة:

$$\delta_h \sim \mathrm{x}^{\frac{1}{4}} \qquad (13)$$

بالنتيجة تكون العلاقة بين سماكة الطبقة الحدية وارتفاع الساق من الشكل:

$$\frac{\delta_h}{X} = 3.93\,\mathrm{Pr}^{-1/2}\left(0.952+\mathrm{Pr}\right)^{1/4} Gr_x^{\,-1/4} \qquad (14)$$

حيث: Pr=ν/a يمثل عدد برانتل و $Gr = \dfrac{g\beta\, x^3 \Delta T}{\nu^2}$ عدد كريشوف ويمكن حساب معامل انتقال الحرارة من العلاقة:

$$Q_w = -\lambda A_1 \left.\frac{dT}{dy}\right| = \alpha_1 A_1 (T_B - T_0) \quad (W)$$

حيث $(W/m^2.K)$ α_1 معامل انتقال الحرارة بالحمل الحر؛ $(W/m.K)$ λ معامل التوصيل الحراري لجسم الإنسان، وباستخدام توزع درجة الحرارة من المعادلة (8) نحصل على العلاقة:

$$\alpha_1 = \frac{2\lambda}{\delta_h}$$

أو بالشكل:

$$\frac{\alpha_1 . x}{\lambda} = Nu_x = 2\frac{x}{\delta_h}$$

وتصبح المعادلة اللابعدية لمعامل انتقال الحرارة بالحمل الحراري الحر بين الهواء المحيط والساقين من الشكل:

$$Nu_X = 0.508\,\mathrm{Pr}^{1/2}\left(0.952+\mathrm{Pr}\right)^{-1/4} Gr_x^{1/4} \qquad (15)$$

تعطي المعادلة (15) قيم معامل انتقال الحرارة المحلي (الموضعي) على طول الساق الشاقولية، ويمكن الحصول على معامل انتقال الحراري بالحمل الحر المتوسط بالعلاقة:

$$\overline{\alpha} = \frac{1}{L}\int_0^L h_x dx \qquad (16)$$

كما يعطى معامل الحمل الحراري الحر المتوسط كتابع لطول الساق بالشكل:

$$\overline{\alpha} = \frac{4}{3} h_{x=L} \qquad (17)$$

يبين الجدول (1) الخواص الحرارية للهواء الجوي عند مختلف درجات الحرارة المتوسطة ضمن الطبقة الحدية المتشكلة بين الهواء والساقين[3],[5]. إذ تعطى درجة الحرارة المتوسطة T_m بالعلاقة:

$$T_m = \frac{T_B + T_0}{2}$$

ويبين الجدول(2) معادلات حساب معامل انتقال الحرارة بين الهواء والساقين المحسوبة، باعتبار أن درجة حرارة الوسط المحيط تتراوح بين ^{0}C (21,30) صيفاً، و ^{0}C (17 +, 10-) شتاءً، أما الحالات التي تكون فيها درجة حرارة الوسط المحيط أعلى أو قريبة من درجة حرارة الجسم البشري

لن نتطرق إليها في هذا البحث، إذ ستتم دراستها لاحقاً.

الجدول(1) الخواص الفيزيائية والحرارية للهواء عند الضغط الجوي ودرجات حرارة مختلفة.

درجة الحرارة الخارجية ^{0}C	درجة الحرارة المتوسطة $T_m(k)$	ρ (kg/m^3)	C_p $(kJ/kg.°C)$	$\mu\times10^5$ $(kg/m.s)$	$\nu\times10^6$ (m^2/s)	λ $(W/m.°C)$	$a\times10^4$ (m^2/s)	Pr
-10	286.5	1.240	1.0054	1.779	14.507	0.0251	0,2040	0.710
00	291.5	1.217	1.00563	1.804	14.945	0.0246	0,2040	0.711
17	300	1.177	1.0057	1.846	15.69	0.02624	0.221	0.708
21	302	1.057	1.0059	1.999	17.06	0.02667		0.707
30	306.5	1.1537	1.0061	1.961	16.349	0.02673		0.709

2- التبادل الحراري من القدمين

يتم انتقال الحرارة بالتوصيل الحراري بين أسفل القدم والأرض وفقاً للعلاقة:

$$Q_{foot} = -A_2\lambda_2\frac{dT}{dx} \qquad (18)$$

حيث $A_2 = 2l_{m1}\times b_{m1}$ مساحة القدمين، l_{m1}, b_{m1} الطول والعرض المتوسطتان للقدم على التوالي، λ_2 معامل التوصل الحراري بين القدم والأرض.

يتم التبادل الحراري بين السطح العلوي للقدم والهواء المحيط بالحمل الحراري الحر، ويطبق عليه حالة الصفيحة الأفقية. [5],[2] ،[3] والمعادلة الأكثر ملاءمة للاستخدام ومن أجل مجال واسع لقيمة عدد ريلاي $Ra = Gr\,\mathrm{Pr}$ هي المعادلة التالية:

$$\left.\begin{aligned}\overline{Nu}^{\frac{1}{2}} &= 0.60 + 0.387\left\{\frac{Gr\,\mathrm{Pr}}{[1+(0.559/\mathrm{Pr})^{9/16}]^{16/9}}\right\}^{1/6}\\ for \quad 10^{-5} &< Gr\,\mathrm{Pr} < 10^{12}\end{aligned}\right\} \quad (19)$$

وتحسب خواص الهواء الممثل للمعادلة (19) عند درجة الحرارة المتوسطة للطبقة الحدية المتشكلة بين سطح القدم وتيار للهواء الحر وتتحدد كمية الحرارة المتبادلة بين سطح القدم والوسط المحيط بالعلاقة:

$$Q_3 = 2\alpha_3 A_3 (T_B - T_0) \quad (20)$$

حيث $A_3 = l_{m3} \times b_{m3}$ مساحة السطح العلوي للقدم.

الجدول(2) القيم المميزة لمعادلات انتقال الحرارة من الساقين تبعاً لتغير فصول السنة.

التوقيت	درجة حرارة الوسط الخارجي	درجة الحرارة المتوسطة $T.k$	عدد كريشوف Gr	عدد برانتل $\mathrm{Pr} = \frac{\nu}{a}$	عدد نوسلت Nu	معامل الحمل الحراري $\alpha = \frac{Nu.\lambda}{x}\ W/m^2.K$
صيفاً	$30°C$	33.5^0C (306.5K)	$5.897\times10^8 x^3$	0.706	$75.478\sqrt[4]{x^3}$	$2.017\sqrt[4]{\frac{1}{x}}$
	$21°C$	32^0C (302K)	$6.297\times10^8 x^3$	0. 707	$76.792\sqrt[4]{x^3}$	$2.047\sqrt[4]{\frac{1}{x}}$
شتاءً	$-10°C$	$13.5°C$ $286.5K$	$3.63\times10^7 x^3$	0.718	$53.19\sqrt[4]{x^3}$	$1.33\sqrt[4]{\frac{1}{x}}$
	$0°C$	$18.5°C$ $291.5K$	$2.938\times10^7 x^3$	0.710	$35.78\sqrt[4]{x^3}$	$0.88\sqrt[4]{\frac{1}{x}}$

3- الحمل الحراري من الجزع

يمكن حساب الحمل الحراري بين جزع الإنسان والوسط المحيط باعتباره جزءاً اسطوانياً ذا توضع شاقولي ويملك درجة حرارة ثابتة، ويتم انتقال الحرارة بالحمل الحراري الحر وفقاً للجدول(3) الذي يعطي المعادلات المبسطة لحساب معامل الحمل الحراري الحر من سطوح مختلفة إلى الهواء عند الضغط الجوي، وتعطى كمية الحرارة المتبادلة مع الوسط المحيط بالعلاقة:

$$Q_4 = \alpha_4 \times A_4 \Delta T$$

حيث $A_4 = \pi d_4 l_4 \quad (m^2)$ مساحة الجزع.

الجدول (3) معادلات الحمل الحراري الحر من الجزع

الشكل الهندسي للسطح Geometric of surface	الجريان الصفائحي Laminar $10^4 < Gr.\Pr < 10^9$	الجريان المضطرب Turbulent $Gr.\Pr > 10^9$
الصفائح والاسطوانات الشاقولية	$\alpha_4 = 1.42(\frac{\Delta T}{l_4})^{1/4}$	$\alpha_4 = 1.31(\Delta T)^{1/3}$

4- الحمل الحراري من الذراعين

يمكن حساب انتقال الحرارة بالحمل الحر من الذراعين بالطريقة المعتمدة نفسها لحساب انتقال الحرارة من الساقين باعتبارهما جزعين مخروطيين، حيث مساحة كل زراع A_5 تعطى بالعلاقة:

$$A_5 = \frac{2\pi(R_5 + r_5)}{2} x_5$$

حيث x_5 طول الزراع، ويكون انتقال الحرارة من الذراعين :

$$Q_5 = 2\alpha_5 A_5 \Delta T = 2h_5 \pi(R_5 + r_5)x_5(T_B - T_O) \qquad (25)$$

ومن الكتفين:

$$Q_6 = 2\alpha_6 A_6 \Delta T = 4h_6 \pi b_6 l_6 (T_B - T_O) \qquad (26)$$

حيث: $A_6 = 4\pi b_6 l_6$ مساحة سطح الكفين، و l_{m6} , b_{m6} طول وعرض الكفين المتوسط.

5- الحمل الحراري من الرقبة

يمكن حساب انتقال الحرارة من الرقبة اعتماداً على الجدول (3) مع اعتماد الأبعاد الملائمة التي تأخذ الشكل التالي:

$$A_7 = 2\pi(R_7)x_7$$

$$Q_7 = \alpha_7 A_7 \Delta T = 2\pi(R_7)x_7\alpha_7(T_B - T_O) \qquad (27)$$

6- الحمل الحراري من الرأس

يمكن حساب التبادل الحراري بين الرأس والوسط المحيط، باعتبار الرأس هنا وكأنه قبة كروية نصف قطرها R_h ، ويحسب انتقال الحرارة بالحمل الحر من الأجسام الكروية إلى الهواء بالعلاقة التجريبية التالية:[4]

$$Nu_f = \frac{\bar{\alpha} d}{\lambda_f} = 2 + 0.392 Gr_f^{1/4}; \quad for \ \ 1 < Gu_f < 10^5 \qquad (28)$$

ويمكن تعديل المعادلة السابقة بإدخال عدد برانتل لتصبح من الشكل:

$$Nu_f = 2 + 0.43(Gr_f \Pr_f)^{1/4} \qquad (29)$$

تقدر الخواص الفيزيائية عند درجة الحرارة الوسطية للطبقة الحدية، وتوجد علاقة أكثر تعميما بالنسبة للكرات وقابلة للتطبيق من أجل مجال أوسع لقيم عدد ريلاي.

$$Nu = \frac{0.589 R a_d^{1/4}}{\left[1 + (0.469/\Pr)^{9/16}\right]^{4/9}} \qquad (30)$$

وذلك من اجل $\Pr > 0.5$, $Ra_d < 10^{11}$ [3]. وتكون كمية الحرارة المتبادلة من الرأس :

$$Q_8 = \alpha_8 A_8 \Delta T = [\frac{4}{3}\pi(R_8^2) - \pi R_7^2]\alpha_7 (T_B - T_0) \qquad (31)$$

حيث: $A_8 = \frac{4}{3}\pi(R_8^2) - \pi R_7^2$ المساحة المشاركة بالتبادل الحراري من الرأس.

النتائج والمناقشة:

يمكن وضع نتائج حساب التبادل الحراري من جسم الإنسان في الجدول (4)، حيث نلاحظ من خلال هذا الجدول أن انتقال الحرارة من جسم الإنسان، يمكن حسابه وبشكل تقريبي بمساعدة نظريات التشابه في انتقال الحرارة، ومن ثم الحصول على كمية الحرارة الكلية المتسربة من الجسم إلى الوسط المحيط بالتبادل الحراري بالحمل الحر.

وبالنتيجة يتبين إن أهم البارامترات التي تؤثر في التبادل الحراري بين جسم الإنسان والوسط المحيط هو فرق درجات الحرارة Δt بين الجسم والوسط المحيط، وأبعاد الجسم نفسه.

من الجدير ملاحظته هنا أنه في الدراسة الحالية اعتبرنا أن الجسم عارياً كما إننا لم نأخذ في دراستنا هذه كمية الحرارة المطروحة عن طريق التنفس والتعرق والفضلات، والتي هي قيد الدراسة.

يعطى المجموع النهائي لتبادل الحرارة بالحمل الحر بين جسم الإنسان والوسط المحيط بالعلاقة التالية:

$$Q_{tot} = \sum Q_i = \sum_{i=1}^{7} \alpha_i A_i \Delta T \qquad (32)$$

تم وضع برنامج حاسوبي باستخدام برنامج EES (Engineering Equation Solver)، لحل المعادلات الجزئية للحصول على معامل الحمل الحراري بين مختلف أعضاء الجسم والوسط المحيط ومن تم وضع الحل من خلال المعادلة (32) بوصفها تمثل النموذج العام للتبادل الحراري من جسم الإنسان بالحمل الحر وتم حلها عبر هذا البرنامج، على نحو يمكن الحصول على كمية الحرارة المتبادلة بإدخال شروط الوسط الخارجي المحيط وأبعاد الجسم. وتكون نتائج البرنامج وفقاً للجدول (5) الذي يظهر القيم من أجل حالة واحدة من أبعاد جسم الإنسان، واعتماد على هذا البرنامج يكون بمقدورنا الحصول على كمية الحرارة المتبادلة بين جسم أي شخص والوسط المحيط، فيما إذا تم تزويد البرنامج بأبعاد الجسم ومعرفة درجة حرارة الوسط الخارجي.

الجدول (4) المعادلات العامة لحساب التبادل الحراري بين جسم الإنسان والوسط المحيط

تسلسل	العضو	المساحة	معادلة التشابه الملائمة	معامل الحمل الحراري
1	الساقان	$A_1 = 2\pi(R_3 + r_3)x_3$	المعادلة(15)	$\alpha_1 = \frac{Nu_x \lambda}{x_1}$
2	القدمان	$A_2 = 2l_{m1} \times b_{m1}$	بالتوصيل المعادلة (18)	$Q_{feet} = A_2 \lambda \frac{dT}{dx}$
3	الذراعان	$A_3 = 2\pi(R_3 + r_3)x_3$	المعادلة(15)	$\alpha_3 = \frac{Nu_x \lambda}{x_3}$
4	الكفان	$A_4 = 2l_{m2} \times b_{m2}$	حالة الصفيحة المسخنة من الوجهين المعادلة (26)	الجدول(3)
5	الجذع	$A_5 = \pi d_5 l_5$	حالة الأسطوانة الشاقولية المعادلة(20)	الجدول(3)

6	الرقبة	$A_6 = 2\pi(R_6)x_6$	حالة الأسطوانة الشاقولية المعادلة (20)	$\alpha_6 = \frac{Nu_x \lambda}{x_6}$
7	الرأس	$A_7 = [\frac{4}{3}\pi(R_7^2) - \pi R_6^2]$	المعادلة(31)	$\alpha_7 = \frac{Nu_x \lambda}{x_7}$

تشير الرموز المستخدمة في الجدول (5) إلى: Run الاحتمالات المدروسة وفقاً لتغير درجة الحرارة الخارجية. وتشير الرموز: $\alpha_1, \alpha_2 ... \alpha_7$ إلى معاملات الحمل الحراري الحر لمختلف أعضاء الجسم، وفقاً للعلاقات المبينة في الجدول (4).

الجدول (5) البارامترات المحسوبة بواسطة البرنامج الحاسوبي EES.

To

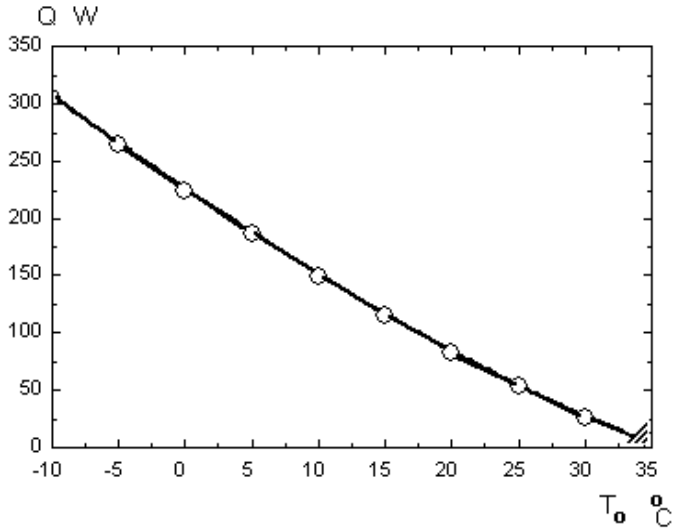
2..10	1 T_o	2 α_1	3 α_2	4 α_3	5 α_4	6 α_5	7 α_6	8 α_7	9 Q
Run 1	-10	3.999	6.076	4.497	6.238	4.422	7.997	9.377	306.8
Run 2	-5	3.868	5.827	4.35	5.986	4.299	7.736	9.071	265.6
Run 3	0	3.728	5.565	4.193	5.721	4.165	7.456	8.744	226
Run 4	5	3.577	5.287	4.024	5.439	4.016	7.155	8.39	187.8
Run 5	10	3.412	4.986	3.837	5.135	3.849	6.824	8.003	151.4
Run 6	15	3.226	4.656	3.628	4.8	3.657	6.452	7.567	116.8
Run 7	20	3.01	4.28	3.386	4.419	3.429	6.021	7.061	84.35
Run 8	25	2.747	3.833	3.089	3.965	3.143	5.493	6.442	54.39
Run 9	30	2.389	3.249	2.687	3.371	2.747	4.779	5.605	27.62
Run 10	35	1.739	2.248	1.956	2.35	2.008	3.478	4.079	5.744

تابع الجدول (5)

To

1..10	7 10 Q_1	11 Q_2	12 Q_3	13 Q_4	14 Q_5	15 Q_6	16 Q_7
Run 1	103.9	9.139	46.48	6.157	130.6	5.904	4.615
Run 2	89.82	7.831	40.18	5.28	113.4	5.103	3.99
Run 3	76.27	6.589	34.12	4.445	96.82	4.334	3.388
Run 4	63.3	5.414	28.31	3.655	80.75	3.596	2.812
Run 5	50.94	4.308	22.78	2.912	65.3	2.894	2.263
Run 6	39.24	3.278	17.55	2.218	50.55	2.23	1.743
Run 7	28.3	2.329	12.66	1.578	36.63	1.608	1.257
Run 8	18.22	1.472	8.152	0.9993	23.7	1.035	0.8096
Run 9	9.248	0.7278	4.137	0.4956	12.08	0.5254	0.4108
Run 10	1.923	0.1439	0.8602	0.0987	2.524	0.1093	0.08544

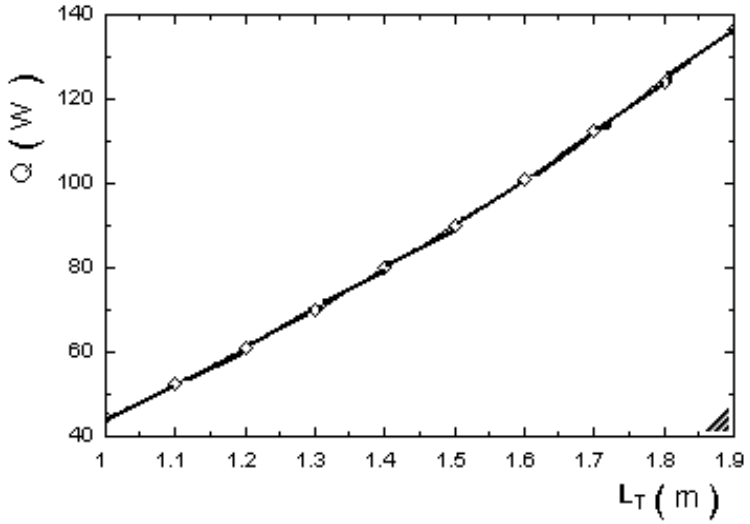
وتشير القيم $Q_1, Q_2 ... Q_7$ إلى كميات الحرارة المطروحة من أعضاء الجسم مقدرة بالـ W، وتشير Q إلى كمية الحرارة الكلية المطروحة من كافة أعضاء الجسم خلال واحدة الزمن. تم رسم المنحني الذي يعطي تغير كمية الحرارة الكلية المطروحة من جسم الإنسان إلى الوسط الخارجي تبعاً لتغير قيمة درجة الحرارة الخارجية بين $(-10)°C$ و $(35)°C$ كما هو مبين في الشكل (3).



الشكل(3) علاقة التبادل الحراري بالحمل الحراري بين جسم الإنسان والوسط المحيط بدرجة الحرارة الخارجية

ويمثل المنحني المبين في الشكل(4) علاقة التبادل الحراري من الجسم كتابع لطوله .

يظهر الجدول(6) تغير معاملات انتقال الحرارة الجزئية من جسم الإنسان إلى الوسط المحيط ومعامل انتقال الحرارة الكلي بدلالة تغير درجة حرارة الوسط المحيط، وكذلك معامل انتقال الحرارة الكلي، من أجل درجة حرارة الجسم مساوية لـ $T_B = (40)°C$ (حالة المرض)، كما يعطي هذا الجدول أيضاً كميات الحرارة الجزئية والكلية تبعا لتغير أبعاد الجسم L_T ، حيث تم اعتماد نسب محددة لأبعاد أعضاء الجسم كتابع لطوله. كما يظهر الشكل (5) تغير كمية الحرارة المتبادلة بالحمل بين الجسم والوسط المحيط في حالة المرض أي عندما $T_B = (40)°C$.



الشكل(4) علاقة التبادل الحراري بالحمل بين جسم الإنسان والوسط المحيط بطول الجسم في الحالة الطبيعية

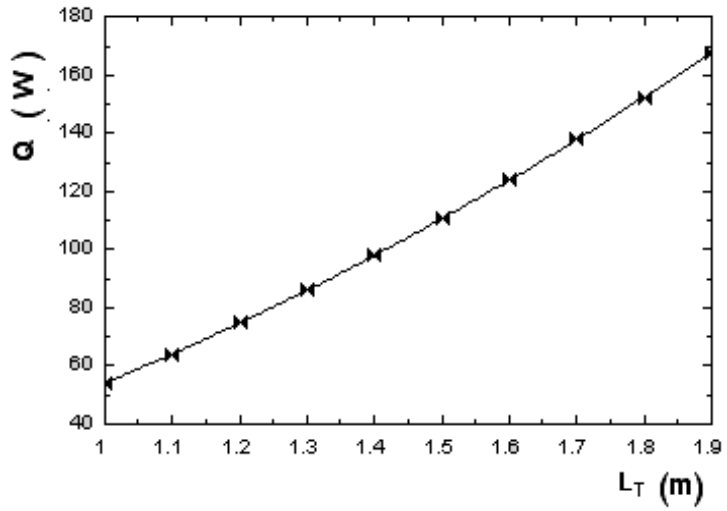
الجدول(6) تغير معاملات انتقال الحرارة الجزئية والكلية من جسم الإنسان إلى الوسط المحيط تبعاً لتغير درجة حرارة الوسط لمحيط في حالة المرض $T_B = (40)°C$.

To | L_T

1..10	T_o	α_1	α_2	α_3	α_4	α_5	α_6	α_7
Run 1	-10	4.391	6.355	5.11	10.22	5.024	9.087	10.55
Run 2	-5	4.248	6.1	4.943	9.91	4.885	8.789	10.2
Run 3	0	4.094	5.833	4.764	9.585	4.732	8.472	9.834
Run 4	5	3.929	5.549	4.572	9.235	4.563	8.13	9.437
Run 5	10	3.747	5.243	4.36	8.853	4.374	7.754	9
Run 6	15	3.543	4.904	4.123	8.426	4.155	7.331	8.51
Run 7	20	3.306	4.52	3.847	7.934	3.896	6.841	7.942
Run 8	25	3.016	4.061	3.51	7.335	3.571	6.241	7.246
Run 9	30	2.624	3.46	3.053	6.532	3.121	5.43	6.303
Run 10	35	1.91	2.424	2.222	5.086	2.282	3.952	4.588

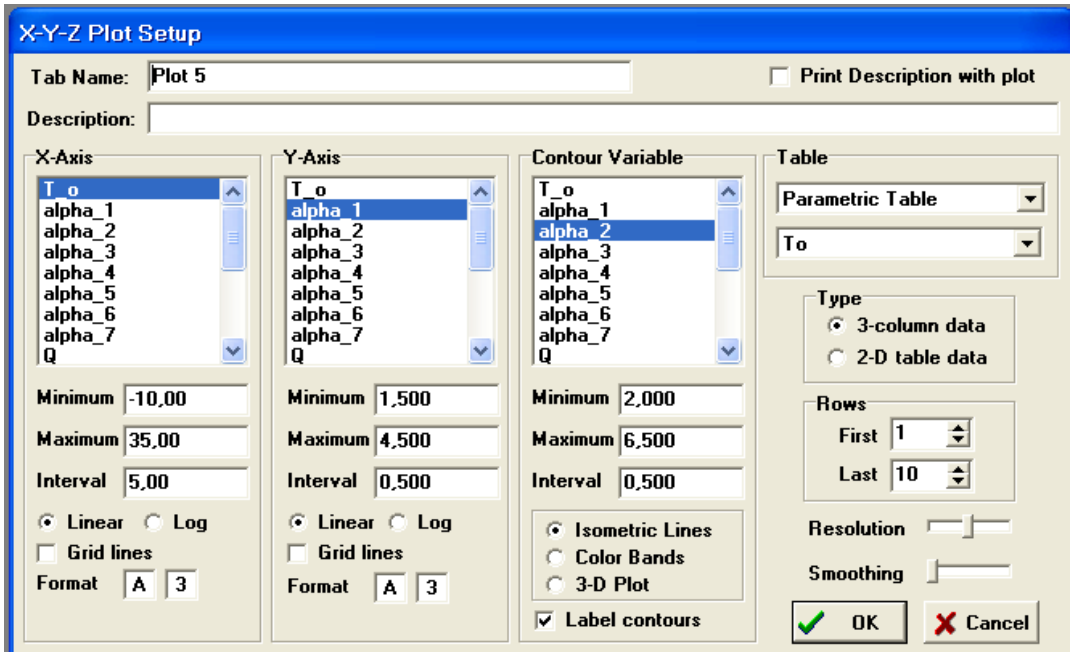
To | L_T

1..10	α_1	α_2	α_3	α_4	α_5	α_6	α_7	L_T	Q	Q_L
Run 1	3.442	4.735	4.005	4.876	4.058	7.123	8.269	1	54.24	15.46
Run 2	3.361	4.68	3.911	4.813	3.962	6.955	8.074	1.1	64.12	18.27
Run 3	3.289	4.632	3.827	4.759	3.877	6.805	7.9	1.2	74.69	21.28
Run 4	3.224	4.59	3.751	4.712	3.8	6.671	7.744	1.3	85.96	24.48
Run 5	3.165	4.553	3.682	4.669	3.73	6.548	7.602	1.4	97.91	27.86
Run 6	3.11	4.519	3.619	4.632	3.666	6.436	7.472	1.5	110.5	31.44
Run 7	3.061	4.489	3.561	4.598	3.608	6.333	7.352	1.6	123.8	35.2
Run 8	3.015	4.462	3.508	4.567	3.553	6.239	7.242	1.7	137.7	39.14
Run 9	2.972	4.437	3.458	4.539	3.503	6.149	7.139	1.8	152.2	43.26
Run 10	2.932	4.414	3.412	4.513	3.456	6.067	7.043	1.9	167.4	47.55



الشكل(5) علاقة كمية الحرارة الكلية المتبادلة بين جسم الإنسان والوسط الخارجي في حالة المرض $T_B = (40)°C$

أما الشكل (6) فيوضح نافذة البرنامج الذي تم من خلاله حل المعادلة (32).



الشكل (6) نافذة البرنامج الذي تم من خلاله حل المعادلة (32).

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

يمكن الخلوص من خلال هذا البحث إلى الاستنتاجات التالية:

1- تتعلق كمية الحرارة المطروحة من جسم الإنسان إلى الوسط المحيط بكل من أبعاد جسمه والشروط المناخية المحيطة به، ونوع الجهد الذي يمارسه، إذ تزداد هذه الكمية شتاءً وتنقص صيفاً.

2- يمكن إيجاد معامل انتقال الحرارة الكلي المتوسط بين جسم الإنسان والوسط المحيط من قسمة كمية الحرارة الكلية على حاصل ضرب فرق درجات الحرارة بالمساحة الكلية للجسم.

3- يمكن الاستفادة من هذا البحث في تحديد كمية الطاقة اللازمة لكل شخص من خلال معرفة أبعاد جسمه ونوعية عمله والوقت من السنة.

4- تعطي هذه الدراسة مقارنة بين كمية الحرارة التي يفقدها بالحمل الشخص في الحالة الطبيعية وحالة المرض.

التوصيات:

- متابعة الدراسة التحليلية لتحديد كمية الحرارة المنتقلة من جسم الإنسان عن طريق كل من التعرق والتنفس والفضلات، بالإضافة إلى نوع اللباس الذي يرتديه، إذ يمكن عندها تحديد كمية الحرارة الكلية المتبادلة بين الجسم والوسط المحيط.

الرموز المستخدمة في البحث:

- α $(W/m^2.K)$ معامل الحمل الحراري.
- λ $(W/m.K)$ معامل التوصيل الحراري.
- x_i (m) ارتفاع العضو i من جسم الإنسان.
- A_i (m^2) مساحة العضو i من جسم الإنسان.
- T_B (K) درجة حرارة الجسم.
- T_O (K) درجة حرارة الوسط المحيط.
- Q (W) كمية الحرارة المنتقلة من الجسم.
- L_T (m) طول جسم الإنسان.
- R_i (m) نصف قطر العضو i من جسم الإنسان.
- Gr عدد كريشوف.
- Pr عدد برانتل.
- Nu عدد نوسلت.
- Re عدد رينولدز.
- Ra=Gr.Pr عدد ريلاي.
- $T_m = \frac{T_B + T_0}{2}$ (K) درجة الحرارة المتوسطة.
- δ_h (m) سماكة الطبقة الحدية.
- w_x سرعة الهواء المحيط.
- β (1/K) معامل التمدد الحجمي.
- g تسارع الجاذبية الأرضية.

المراجع:

1. TULLIE CIRCLE,N.E. *ASHRAE Handbook Committee, Physiological principles for Comfort and Health*, Chapter 8, Atlanta, USA, 1985, (8.1-8.32).
2. HASAN ,A .*Mass and Heat Transfer*. Tischreen University, Syria, Lattakia, 2008,779.
3. HOLMAN,J.P. *Heat Transfer*. ninth Edition, Methodist University, USA, 2002, 655.
4. BRONCHTAEN,E.N, CEMUNAF, K. A. *Reference of Engineering Mathematics* , Science, Moscow, Russia, 1980,974.
5. TESKOFF, V.V, GREGOREEF, B.A. *Mass and Heat Transfer*, MEE, Moscow, Russia, 2006,545.