

## تأثير معامل الانعكاس الديناميكي على تبادل طاقة الأمواج الصدمية ومتانة الناقل.

د. حسين حمزة<sup>(1)</sup>

### الملخص

إن الأساس العلمي لتطوير وتحسين فعالية الآلات العاملة بالصدمة للحصول على أكبر كمية من المواد الخام وبأقل زمن ممكن يتوقف على ثلاثة أمور أساسية تتعلق ببنية آلة الحفر بالصدمة : أولاً كتلة الصادم ومواصفاته الهندسية وسرعته، ثانياً ناقل الأمواج متعدد الوصلات، وثالثاً أداة الحفر في نهاية ناقل الأمواج ومواصفاتها.

أثناء عملية الصدم في بداية ناقل الأمواج تتشكل موجة انفجالات داخلية (إجهادات ضغط) على جزء محدد من الناقل وتنتشر بسرعة الصوت في ناقل الأمواج [1] عبر أجزائه المتكررة والمتصلة فيما بينها حاملاً معها الطاقة الحركية للصادم إلى المكان المراد استثمارها فيه حيث يتم تبادل الطاقة مع المواد الخام.

عند مرور موجة الانفجالات (الإجهادات) بين الناقل المتكررة ورأس أداة الحفر وصولاً إلى المواد الخام فإن جزء من الطاقة المحملة في موجة الانفجالات يتشتت أثناء الانتقال، وجزء يتم استثماره في عملية الحفر، وجزء ينعكس ويعود إلى آلة الحفر دون القيام بعمل مفيد وعلى العكس يكون له تأثير سلبي على مردود ومتانة الآلة وهذا يتوقف على جودة الاتصال بين الناقل وعلى معامل الانعكاس الديناميكي بين رأس أداة الحفر والمواد الخام والمقاومة الديناميكية لها [1,2].

جرى توضيح ذلك من خلال دراسة وتحليل المعادلات الرياضية التي تبين تأثير الخلوصات ومعامل الانعكاس الديناميكي، خلال عبور الوصلات في الناقل وتبادل الطاقة مع المواد الخام، على الانفجالات الموجية وبالتالي فعالية ومردود الآلة. بين هذا البحث ضرورة الأخذ بعين الاعتبار معامل الانعكاس الديناميكي وتأثيره على متانة ومردود الآلة بغية تلافي الجوانب السلبية المذكورة آنفاً.

**كلمات مفتاحية:** الصدم الطولي، انتشار الأمواج الطولية، طاقة الانفجالات الصدمية، ديناميك الآلات، مقاومة المواد.

<sup>(1)</sup> قسم القوى الميكانيكية كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة دمشق

## Dynamic reflection coefficient Effect on the impact wave energy exchange and the strength of carriers

<sup>(1)</sup>Hossen Hamza, Dr. Eng.

### ABSTRACT

The scientific basis for developing and improving the efficiency of impact machines to get the greatest amount of raw materials in the shortest time depends on three fundamental things related to the structure of the impact drill machine: First, the mass of the impactor, its engineering specifications and speed. Secondly, the multi-link wave carrier, and thirdly, the drill tool at the end of the wave carrier and its specifications.

During the impact process at the onset of the wave carrier, an internal deformation wave (pressure stresses) is formed on a specific part of the carrier and propagates at the speed of sound in the wave carrier [1] through its repetitive and connected parts, taking with it the kinetic energy of the impactor to the place where it is to be invested, where the energy is exchanged with the raw materials.

When the deformation (stress) wave passes between the sequential carriers, and the drilling tool head to the raw materials, part of the loaded energy in the deformation wave is dispersed during the transition, a part is invested in the drilling process and a part is reflected back to the drilling machine, without doing any useful work, this has a negative effect on the efficiency and durability of the machine, depending on the quality of the contact between carriers and the dynamic reflection coefficient between the drilling tool head, the raw materials and its dynamic resistance [1,2].

This has been clarified by the study and analysis of mathematical equations which show the effect of clearances and dynamic reflection coefficient, when crossing bonds in carriers and exchanging energy with raw materials, on the wave's deformation, and the machine efficiency.

This research has shown the need to take into consideration the dynamic reflection coefficient and its effect on the durability and efficiency of the machine in order to avoid the aforementioned negative aspects.

**Keywords:** Longitudinal impact, propagation of longitudinal waves, energy of shock waves, Dynamic machines, resistance of materials.

---

<sup>(1)</sup> Department of General mechanics, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Damascus University

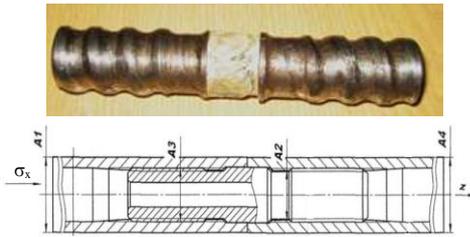
## 1-مقدمة:

إن عملية الحفر بالصدم وانتقال طاقة الصدم عبر الناقل تتصف بخواص انتشار الأمواج، فعندما تتعرض بداية الناقل للصدمات المتتالية من الصادم تنتشر موجات الانفعالات والاجهادات في الناقل بكل ما تحمله من مواصفات الموجة [1,6] بسرعة الصوت في معدن الناقل:

$$a = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (1)$$

حيث: E- عامل يونغ .  $\rho$  - الكتلة النوعية لمعدن الناقل .

إن عملية نقل طاقة الصادم وموجة الانفعالات واجهادات الضغط عبر نواقل الأمواج المتتالية إلى أداة الحفر يتطلب اتصال جيد بين النواقل المتتالية لتفادي أي ضياعات في بارامتراتهما وذلك باستخدام أدوات وصل مختلفة كما هو مبين في الشكلين (3) و (4)، مستعملة لهذه الوظيفة والتي تعمل على تحقيق الاتصال التام والمحكم فيما بينها دون أي خلوص وبأقل الضياعات [4,5].

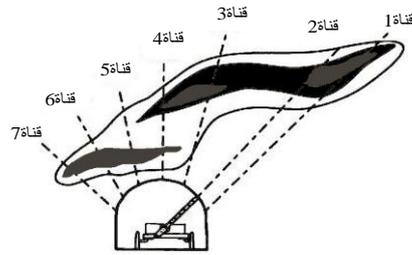


الشكل (3) صورة ومقطع طولي لأداة وصل حقيقية بين نواقل الأمواج.



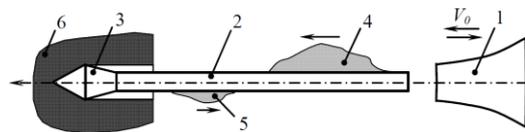
الشكل (4) مقطع طولي لأداة وصل بطريقة مختلفة بين نواقل الأمواج.

إن إحدى الطرق المستخدمة للحصول على المواد الخام يتم عن طريق حفر قنوات لأطوال تصل حتى 50m وبأقطار صغيرة تتراوح بين 40 mm إلى 70 mm باستخدام آلات الحفر بالصدم شكل (1) إلى أماكن تواجد الفلزات بهدف استكشافها والتحقق من مناطق تواجدها، وكذلك تستخدم هذه القنوات لوضع مواد متفجرة في نهايتها ثم يقوم الفنيون بتفجيرها للحصول على الفلزات الصناعية، في الحقول الجيولوجية المدروسة سابقاً [3,4,5] بغية استثمارها.



الشكل (1) آلة لحفر القنوات داخل المناجم لاستكشاف تواجد الفلزات واستثمارها.

إن تصميم وتحسين مردود آلات الحفر العاملة على مبدأ الصدم شكل (2) يتطلب حل بعض المشاكل الهندسية الأساسية التالية: أحداث موجة صدمية 4 في الناقل 2 ذات بارامترات محددة يتم من خلالها نقل الطاقة الحركية للصادم 1 عبر ناقل الأمواج 2 وبأقل الضياعات مع المحافظة على بارامترات موجة الانفعالات المرنة إلى أداة الحفر 3 في نهاية الناقل ومنها إلى المواد الخام 6، والعمل على الحد من الأمواج المنعكسة 5 وتأثير على مردود الآلة ومثانة عناصرها.



الشكل (2) مقطع طولي رمزي لآلة الحفر بالصدم.

تنتشر موجة اجهادات وانفعالات مرنة بسرعة محدودة تساوي سرعة الصوت (a) في معدن الأجسام المتصادمة وليس أنياً، وكما أن الاجهادات ( $\sigma_x$ ) في المقاطع العرضية للنقل خلال عبور الموجة تكون متساوية في جميع نقاطه، وتخضع للمعادلة الموجية التفاضلية التالية [6,7]:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} a^2 = \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \quad (2)$$

حيث :

$u$  - الانزياح الطولي للمقطع العرضي x للنقل.

$\varepsilon = \partial u / \partial x$  - الانفعال الطولي النسبي في المقطع العرضي.

$\partial u / \partial t$  - سرعة الانفعال الطولي في المقطع العرضي.

$\partial^2 u / \partial t^2$  - تسارع الانفعال الطولي في المقطع العرضي.

### 3-1 استنتاج معادلات الانفعالات الموجية الطولية:

بناءً على فرضية الباحث Sain-Venan تنتشر موجة الانفعالات واجهادات الضغط الطولية  $\sigma_x$  بسرعة الصوت (a) في معدن الناقل، خلال الفترة  $dt_w$  من زمن الصدمة تتحرك جبهة الموجة (مقدمتها) لمسافة محدودة تحسب بالعلاقة:

$$dx = a dt_w \quad (3)$$

ويكون طول الموجة المنتشرة خلال فترة الصدمة  $t_w$ :

$$L_w = \int_0^{t_w} a dt_w = a t_w \quad (4)$$

$t_w$  - زمن استمرارية الصدمة (استمرارية الموجة).

عندئذ تحسب الكتلة الخاضعة للموجة (كتلة الجزء الذي انتشرت إليه الموجة من الناقل) بالعلاقة:

$$m_w = \rho A L_w = \rho a A t_w \quad (5)$$

A - مساحة المقطع العرضي للناقل.

إن أي خلل أثناء صيانة هذه الآلات أو أثناء إضافة نواقل جديدة بهدف زيادة طولها للوصول إلى مناطق تواجد الفلزات قد يؤدي إلى بقاء بعض الخلوصات  $\delta$  غير الملحوظة بين النواقل، وهذا ينعكس بشكل واضح على فعالية ومماناة الآلة وقد تطرقت عدة دراسات إلى تأثير الوصلات وأنواعها على نقل الطاقة ومماناة الآلات العاملة في الظروف الديناميكية [3,5].

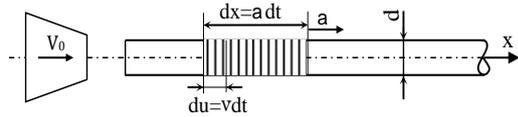
### 2-الهدف من البحث:

هو إجراء دراسة تحليلية للانفعالات الموجية الصدمية الطولية لآلة الحفر بالصدم خلال عبورها الوصلات بين النواقل ومن ثم للمواد الخام والتي تبين تأثير معامل الانعكاس الديناميكي q على انتقال الطاقة ومماناة النواقل وتحديد المكان الأكثر خطورة في الناقل.

### 3-منهجية البحث:

من المعلوم أن الهدف الأساسي من عملية الوصل بين النواقل هو نقل طاقة الصادم إلى مكان استثمارها وقد تصل المسافة إلى 50m عبر النواقل المتتالية وبأقل ما يمكن من الضياعات.

بما أننا نتكلم عن الحفر بالصدم لقنوات طويلة ذات أقطار صغيرة (40-70mm) حسب الشكل (1) وبشكل عام تكون الأبعاد الطولية لنواقل الأمواج تفوق الأبعاد العرضية مما يمكننا من استخدام النظرية الموجية أحادية البعد التي صاغها الباحث الفرنسي Sain-Venan والتي استندت على مبدأ أساسي وهو أنه في لحظة التلامس بين الأجسام المتصادمة شكل (5)



الشكل (5) مخطط رمزي يبين انتشار الانفعالات الموجية المرنة في ناقل الأمواج.

بما أن عملية الحفر تتطلب موجة ضغط ويتم الحصول عليها عن طريق الصادم، فإن الاجهادات  $\sigma_x$  تتمتع بإشارة سالبة وتعمل على تقليص طول الموجة  $L_w$  حسب العلاقة (1) والتي تدعى بخطوة الانزياح  $\Delta L$ ، أما بالنسبة لاتجاه سرعة الانفعالات الطولية  $V$  تكون بجهة انتشار موجة الضغط إلى أن تصل جبهة الموجة إلى نهاية الناقل 1 ومكان الخلوص  $\delta$  بين الناقلين شكل (6) في حال لم يتم الوصل بشكل جيد فتنعكس موجة الضغط  $\sigma_x$  بالكامل تدريجياً إلى موجة شد تتمتع بإجهادات ذات إشارة موجبة  $\sigma_{Re}$  وتعطى بالعلاقة (13) [7]:

$$\sigma_{Re} = q \sigma_x = \frac{1-r}{1+r} \sigma_x \quad (13)$$

حيث:  $q$  - معامل الانعكاس الديناميكي.

$$r = \frac{C_1}{C_2} = \frac{A_1 \rho_1 a_1}{A_2 \rho_2 a_2}$$

$C_{1,2}$  - معامل المرونة (الصلابة) الموجية للناقل المتتالية.

في حال كان الناقلين من نفس المعدن:

$$q = \left| \frac{1-r}{1+r} \right| = \left| \frac{A_2 - A_1}{A_2 + A_1} \right| \quad (14)$$

وخلال زمن  $dt$  من انعكاسها تنتشر بالاتجاه المعاكس إلى مسافة  $dx$  حسب العلاقة (3) أما اتجاه سرعة الانفعالات  $V$  تكون بعكس انتشار موجة التمدد مما يؤدي إلى حركة نهاية الناقل باتجاه انتشار موجة الضغط المباشرة أي باتجاه الناقل 2 كما هو مبين في الشكل (6) لمسافة تحسب كما يلي:

$$du = v dt \quad (15)$$

وخلال الزمن  $dt$  من انعكاس الموجة وطالما بقي  $\delta < du$  لا يحصل التلامس بين الناقلين 1 و 2 مما يؤدي إلى انعكاس جزء من طاقة الموجة إلى أن يصبح الانفعال  $du$  بعد مرور زمن محدد يحقق العلاقة:

وتحسب سرعة جزيئات الناقل الخاضعة للموجة (سرعة الانفعالات الطولية) بالعلاقة:

$$v = \frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial u}{\partial t} \frac{\partial x}{\partial x} = a \varepsilon \quad (6)$$

وبناءً على ذلك وحسب قانون مصونيه كمية الحركة لكتلة الموجة المنتشرة  $m_w$  شكل (4) [8]:

$$\int_0^{t_w} N dt = \int_0^v m_w dv \quad (7)$$

وبالتالي:

$$\int_0^{t_w} \sigma_x A dt = \int_0^v (\rho A a t_w) dv = \rho A a v t_w \quad (8)$$

وبالتالي يكون اجهادات الضغط في داخل الكتلة الخاضعة للموجة:

$$\sigma_x = \rho a v \quad (9)$$

وحسب قانون هوك [9,10]:

$$\sigma_x(x,t) = E \frac{du(x,t)}{dx} \quad (10)$$

$$\sigma_x = \rho a v = E \frac{du}{dx} \quad (10)$$

ويكون مقدار الانفعال الطولي للناقل (خطوة الانزياح):

$$\Delta L = \int_0^{L_w} du = \int_0^{L_w} \frac{\sigma_x}{E} dx = \frac{\sigma_x}{E} L_w \quad (11)$$

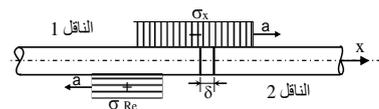
أو حسب العلاقة (6):

$$\Delta L = \varepsilon L_w = \frac{v}{a} L_w \quad (12)$$

يترافق هذا الانفعال الطولي للناقل مع انتشار الموجة الطولية والمرتبب بزمن استمرارية الموجة  $t_w$ .

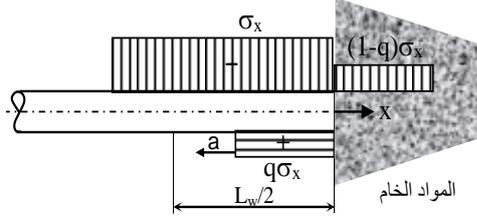
3-2 حساب الاجهادات وتبادل الطاقة في منطقة

وصل النواقل.



الشكل (6) مقطع طولي يبين تبادل الطاقة وانعكاس موجة الضغط ( $\sigma_x$ ) بين النواقل المتتالية.

عند وصول جبهة موجة الضغط إلى نهاية الناقل (أداة الحفر) شكل (7) مكان تواجد المواد الخام يبدأ جزء من موجة الضغط  $\sigma_x$  بالانعكاس تدريجياً إلى موجة تمدد  $\sigma_{Re}$  وتعطى بالعلاقة (13).



الشكل (7) مقطع طولي عندما  $r > 1$  يبين تبادل الطاقة وانعكاس موجة الضغط ( $\sigma_x$ ) في نهاية الناقل.

بينما يستمر انتشار الجزء الآخر من الموجة في المواد الخام خلال زمن استمرارية الموجة  $t_w$ ، وفي نفس الوقت يستمر انتشار الجزء المنعكس إلى مسافة  $L_w$  من نهاية الناقل حسب العلاقة (4) وتتابع هذه الموجة انتشارها بكل ما تحمله من بارامترات حاملة معها جزءاً من طاقة الموجة حسب العلاقة (19):

$$E_{Re} = \frac{(q\sigma A)^2 t_w}{(\rho a A)_1} \quad (22)$$

ويمكن إيجاد نسبة الطاقة المنعكسة إلى الطاقة الكلية بالعلاقة:

$$\frac{E_{Re}}{E_{Tot}} = q^2 \quad (23)$$

تحسب الطاقة المتبقية التي يتم استثمارها في عملية الحفر بالعلاقة (20):

$$E = (1 - q^2) E_{Tot} \quad (24)$$

بالنسبة للإجهادات في نهاية الناقل وعلى مسافة تساوي نصف طول الموجة ( $L_w/2$ ) من نهايته سوف تتراكب مع بعضها البعض لذلك تحسب في هذه الحالة الإجهادات في هذه المنطقة بالعلاقة:

$$\sigma_{eq} = \sigma_x - \sigma_{Re} = \sigma_x (1 - q) \quad (25)$$

$$\Delta L = \int_0^{t_w} du \geq \delta \quad (16)$$

عندئذ يحصل التلامس بين الناقلين وبما أن  $C_1 = C_2 = C$  بالتالي:  $r = 1$  و  $q = 0$  يتابع الجزء المتبقي من الموجة استمراريته في الناقل التالي حاملاً معه ما تبقى من طاقة الموجة شكل (6) في هذه الحالة قوة الموجة  $N$  وبالتالي الإجهادات  $\sigma_x$  لا تتأثر وإنما تنقص كمية الطاقة المنقولة في الموجة بقدر الطاقة المنعكسة خلال فترة عدم التلامس بين الناقلين والمحدد بالعلاقة:

$$t = \frac{\delta}{v} \quad (17)$$

تحسب الطاقة المنعكسة خلال الفترة  $t$  بالعلاقة:

$$E_{Re} = N\delta = Nvt \quad (18)$$

حيث:  $N$  - القوة في الموجة.

وبتعويض العلاقة (9) في العلاقة (18) نحصل على:

$$E_{Re} = N \frac{Nt}{\rho A a} = \frac{N^2 t}{C} \quad (19)$$

وتحسب الطاقة المتبقية في الموجة والمنتقلة للناقل

التالي بالعلاقة:

$$E = E_{Tot} - E_{Re} \quad (20)$$

أو

$$E = \frac{N^2 t_w}{C} - \frac{N^2 t}{C} = \frac{N^2}{C} (t_w - t) \quad (21)$$

### 3-3 حساب الإجهادات وتبادل الطاقة في منطقة

الحفر.

عند وصول الموجة إلى نهاية الناقل تتبادل الطاقة مع المواد الخام، في هذه الحالة نواجه نوعين من المواد الخام [7]:

1- الحالة الأولى: مواد ضعيفة ومتوسطة الصلابة يكون عندها  $r > 1$  ويكون معامل الانعكاس الديناميكي  $0 > q > -1$  وتعتمد عادة القيم (-0.3~-0.7) والتي تحدد تجريبياً.

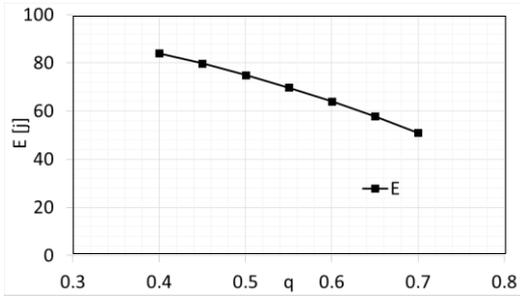
واهترائها بزمن اقل وبنفس الوقت ينعكس على مردود الآلة حسب العلاقة:

$$\eta = \frac{E_{Tot} - E_{Re}}{E_{Tot}} = 1 - q^2 \quad (27)$$

برسم المخطط البياني باستخدام العلاقة (24) الذي يوضح العلاقة بين تغير الطاقة المستثمرة E في عملية الحفر بتغير معامل الانعكاس الديناميكي q. كما هو مبين في الشكل(8).

بفرض  $E_{Tot}=100$  [j] الطاقة المحمولة في موجة الصدم المباشرة عندئذ:

يتبين من خلال المخطط البياني في الشكل (9) أنه كلما ازداد معامل الانعكاس الديناميكي q كلما نقصت الطاقة الفعالة المنتقلة E إلى المواد الخام وبالتالي ينقص مردود الآلة، وفي حال عدم تلامس أداة الحفر مع المواد الخام، يصبح معامل الانعكاس الديناميكي  $q=1$  ، عند ذلك تنعكس كل طاقة الموجة على شكل موجة تمتد إلى آلة الحفر.



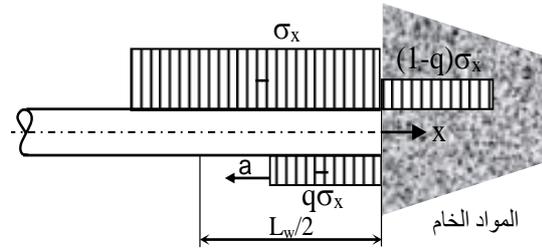
الشكل (9) العلاقة بين معامل الانعكاس الديناميكي q والطاقة الفعالة في عملية الحفر E.

برسم المخطط البياني باستخدام العلاقتين (25،26) الذي يوضح العلاقة بين تغير الاجهادات  $\sigma_{eq}$  في نهاية الناقل في كلا الحالتين السابقتين بتغير معامل الانعكاس الديناميكي |q|. كما هو مبين في الشكل(10).

بفرض  $\sigma_x=200$  [MPa] الاجهادات في موجة الصدم المباشرة عندئذ:

2- الحالة الثانية: المواد الخام أو الفلزات عالية الصلابة يكون عندها  $r > 1$  ومعامل الانعكاس الديناميكي  $1 > q > 0$  وتعتمد عادة القيم (0.4~0.7) والتي تحدد تجريبياً أيضاً.

تصل جبهة موجة الضغط إلى أداة الحفر فينعكس خلال زمن استمرارية الموجة  $t_w$  جزء من الموجة  $\sigma_x$  تدريجياً إلى موجة ضغط  $\sigma_{Re}$  والتي تتمتع في هذه الحالة حسب العلاقة (13) بإجهادات ذات إشارة سالبة أيضاً بينما يستمر الجزء الآخر من الموجة انتشاره كما هو مبين في الشكل(8)



الشكل (8) مقطع طولي عندما  $1 > r$  يبين تبادل الطاقة و انعكاس موجة الضغط ( $\sigma_x$ ) في نهاية الناقل.

وخلال الزمن  $t_w$  من انعكاسها تنتشر إلى مسافة  $L_w$  حسب العلاقة (4) حاملة معها جزء من طاقة الموجة المباشرة حسب العلاقة (22) أما الجزء الآخر فإنه يتابع انتشاره أيضاً في المادة الخام لكن بإجهاد وطاقة أقل تحسب بالعلاقة (24).

أما بالنسبة للإجهادات على مسافة تساوي نصف طول الموجة ( $L_w/2$ ) من نهاية الناقل فسوف تتراكب الأمواج المباشرة والمنعكسة مع بعضها البعض وتحسب الاجهادات بالعلاقة:

$$\sigma_{eq} = \sigma_x + \sigma_{Re} = \sigma_x(1+q) \quad (26)$$

من الواضح في كلا الحالتين أن جزءاً من طاقة الموجة سوف ينعكس باتجاه آلة الحفر ويعمل على اهتزازها

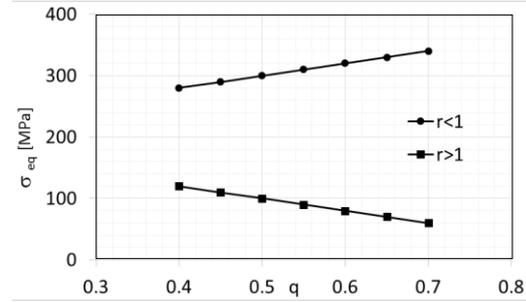
2- في حال كان  $r < 1$ ، عند نهاية الناقل ينعكس جزء من الطاقة إلى جسم الآلة بينما اجهادات الضغط في الموجة المباشرة تتراكم مع اجهادات الشد المنعكسة وتكون أقل على مسافة تساوي نصف طول الموجة من نهاية الناقل.

3- في حال كان  $r < 1$ ، عند نهاية الناقل ينعكس أيضاً جزء من الطاقة إلى جسم الآلة، وتتراكب اجهادات الضغط في الموجة المباشرة مع اجهادات الضغط المنعكسة وتكون محصلة الاجهادات في هذه الحالة أكبر من اجهادات الضغط المباشرة وقد تصل إلى ضعفي القيمة في الموجة المباشرة، وعلى مسافة تساوي نصف طول الموجة من نهاية الناقل.

4- في كلا الحالتين عندما  $r < 1$  و  $r > 1$  تصل الأمواج المنعكسة لطرف الناقل الذي يتلقى الصدم عندئذ تنعكس أمواج التمدد من جديد إلى لتصبح أمواج ضغط، وتعود من جديد إلى أداة الحفر دون أن تعبر إلى جسم الآلة وذلك بسبب حركة الانفعالات التي تتوافق مع اتجاه انتشار أمواج الضغط المنعكسة، بينما تتابع أمواج الضغط عبورها إلى جسم الآلة أو الصادم وهذا يفسر اهتراء الآلات التي تعمل في حفر المواد عالية الصلابة بالمقارنة مع المواد الضعيفة.

5- يجب أخذ ظاهرتي انعكاس الأمواج، في بداية الناقل ونهايته، بعين الاعتبار أثناء تصميم آلات الحفر ونواقل الأمواج العاملة بالصدم والذي يشكل خطراً على متانة النواقل، وكذلك تأثيرهما على تبادل الطاقة وبالتالي مردود الآلة.

من المخطط (10) يتضح عندما  $r > 1$  الإجهادات المترابكة في نهاية الناقل وعلى بعد يساوي نصف طول الموجة تكون أقل من الإجهادات في الموجة المباشرة حسب العلاقة (25) وتتناقص مع ازدياد  $q$ .



الشكل (10) العلاقة بين الاجهاد المكافئ  $\sigma_{eq}$  ومعامل الانعكاس الديناميكي  $q$ .

أما بالنسبة للإجهادات عندما  $r > 1$  تكون في نهاية الناقل وعلى بعد يساوي نصف طول الموجة أكبر من الإجهادات في الموجة المباشرة حسب العلاقة (26) ويمكن أن تصل تقريباً إلى ضعفي الإجهادات في الموجة المباشرة في حال كان معامل الانعكاس الديناميكي يساوي الواحد وهذا يتوافق في حال كانت المواد الخام عالية الصلابة جداً وهذا ما يفسر الحالة الشائعة لتلف أدوات الحفر عند نهاياتها.

لذلك أثناء تصميم النواقل يجب أخذ ذلك بعين الاعتبار على مسافة تساوي نصف طول الموجة من نهاية الناقل للحفاظ على متانتها وتحمل الإجهادات المترابكة في هذه المنطقة.

#### 4- الخاتمة:

1- يؤدي انتشار أمواج الضغط الطولية وبالتالي الطاقة المحمولة فيها إلى منطقة الوصل غير المحكمة بشكل جيد إلى انعكاس جزء من الطاقة إلى جسم الآلة والعمل على اهتزازها واهترائها بالإضافة لخفض مردودها خلال فترة عدم التلامس  $t$ .

## References

## المراجع

- [1] Бегагоен И.А., Дядора А.Г., Бажал А.И «Бурильные машины». М.: Недра, 1972.-368с.
- [2] Бегагоен И.А., Бойко А.И.Г. «Повышение точности и долговечности Бурильных машин». М.: Недра, 1985.-214с
- [3]-ШАДРИНА А. В., « ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ В КОЛОННЕ ТРУБ ПРИ БУРЕНИИ СКВАЖИН МАЛОГО ДИАМЕТРА ИЗ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК »диссертации на соискание ученой степени доктора технических наукТомск – 2014
- [4]- Шадрина А.В. Динамические процессы в колонне труб при вращательно-ударном бурении скважин малого диаметра из подземных горных выработок – Т.: ТПУ, 2009. – 175 с;
- [5]- Казанцев , А. А. « ПОВЫШЕНИЕ ФЭКТИВНОСТИ ПЕРЕДАЧИ ЭНЕРГИИ УДАРНЫХ ИМПУЛЬСОВ ПО СТАВУ ШТАНГ ПРИ БУРЕНИИ СКВАЖИН МАЛЫХ ДИАМЕТРОВ»Томского политехнического университета. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Кемерово 2009
- [6]Алимов О.Д., Манжосов В.К., Еремьянц В.Э «Удар. Распространение волн деформаций в ударных системах». -М.: наука, 1985.-358с.
- [7] Иванов к.и., Ермоленко М.М., Андреев В.И. «Техника Бурения». -М.: Недра., 1966.-370с.
- [8] J.L Meriam; L.G. Kraige., «Engineering Mechanics Dynamics». American Society for Testing and Materials International. (2015).
- [9] JOHN CASE, LORD CHILVER, CARL T.F. ROSS, "Strength of Materials and Structures" 4 edition ISBN 0 340 71920 6, 719 Pages·2006
- [10] Ямпольский Д.З. «ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОДОЛЬНОГО УДАРА. СРАВНЕНИЕ С ЭКСПЕРИМЕНТОМ». Bulletin of Science and Technical Development. DOI: 10.18411. № 9 (145), (2019)

## جدول الرموز والمصطلحات:

الرمز	الوصف
$m_w$	كتلة الجزء الذي انتشرت إليه الموجة [kg]
$E$	طاقة المتبقية للموجة (الفعالة للموجة) [j]
$E_{Tot}$	طاقة الموجة الكلية [j]
$E_{Re}$	الطاقة المنعكسة للموجة [j]
$\Delta L$	خطوة الانزياح [m]
$\delta$	الخلوص بين الناقلين [m]
$t_w$	زمن استمرارية الموجة [s]
$L_w$	طول الموجة [m]
$a_{1,2}$	سرعة الصوت في معدن الناقل المتتالية [m/s]
$a$	سرعة الصوت في المعدن [m/s]
$N$	القوة في داخل الموجة المنتشرة [N]
$\rho$	الكثافة النوعية [Kg/m <sup>3</sup> ]
$v$	سرعة الانفعالات داخل الموجة [m/s]
$A$	مساحة المقطع العرضي للناقل [m <sup>2</sup> ]
$A_{1,2}$	مساحة المقاطع العرضية للناقل [m <sup>2</sup> ]
$\sigma_x$	الاجهادات الطولية [N/m <sup>2</sup> ]
$\sigma_{eq}$	محصلة الاجهادات الطولية المباشرة والمنعكسة [N/m <sup>2</sup> ]
$\sigma_{Re}$	الاجهادات الطولية المنعكسة [N/m <sup>2</sup> ]
$E$	معامل المرونة (عامل يونغ) [N/m <sup>2</sup> ]
$\mathcal{E}$	الانفعال الطولي النسبي
$q$	معامل الانعكاس الديناميكي
$u$	الانزياح الطولي في المقطع العرضي للناقل [m]
$x$	الاحداثي على طول الناقل [m].
$\partial u / \partial x$	الانفعال الطولي النسبي في المقطع العرضي x.
$\partial u / \partial t$	سرعة الانفعال الطولي في المقطع العرضي [m/s]
$\partial^2 u / \partial t^2$	تسارع الانفعال الطولي في المقطع العرضي [m/s <sup>2</sup> ]
$C_{1,2}$	الصلابة الموجية للناقل المتتالية [kg/s]
$r$	نسبة عامل المرونة الموجي للناقل المتتالية
$\eta$	مردود الآلة

Received	2021/7/7	إيداع البحث
Accepted for Publ.	2021/10/3	قبول البحث للنشر