

виникають автоколивання. Після досягнення критичної мінімальної подачі система автоматичного поділу припуску поступово виводить інструмент із зони різання, зменшуючи глибину різання, аж до моменту, коли сила різання зменшиться до значення, меншого за критичну величину.

Висновки. Наведені у цій роботі відомості лише частково охоплюють досягнення у створенні сучасних інструментальних систем та лише ті з них, які використовуються у найпоширеніших типах верстатів і набули якнайширшого застосування. Загалом, як свідчать результати експлуатації, впровадження в промислове виробництво, машино- та приладобудування широкої гами сучасних верстатів з ЧПК, передусім багатоцільового призначення та автоматизованих комплексів і систем, споряджених сучасними уніфікованими комплексами технологічного спорядження та інструментальних систем з орієнтацією на гнучке виробництво багатократно, підвищує ефективність виробництва та якість продукції.

УДК 666. 9.83

І.А. ЄМЕЛЬЯНОВА, А.М. БАРАНОВ, О.С. НЕПОРОЖНЄВ

Харківський державний технічний університет будівництва і архітектури

ОСОБЛИВОСТІ ПРИМУСОВОГО ЗАВАНТАЖЕННЯ БЕТОННОЮ СУМІШШЮ ПОРШНЕВИХ НАСОСІВ

© Ємельянова І.А., Баранов А.М., Непорожнєв О.С., 2007

Розглядаються особливості примусового завантаження бетонною сумішшю поршневиx насосів.

The features of the forced load by concrete mixture of pumps of pistons are examined.

Вступ. Одним з насосів, які створені в Харківському державному технічному університеті будівництва і архітектури, є двопоршневий розчинобетононасос з примусовим завантаженням і кулачковим приводом [1]. Такий насос дає змогу працювати на малорухливих сумішах ($\Pi=5-6$ см) за істотного збільшення ККД насоса і його продуктивності. Примусове завантаження забезпечується горизонтальним шнеком, розташованим внизу завантажувального бункера, в корпусі якого є кишеня, що забезпечує відносну рухливість частинок суміші під час їх подачі до всмоктувального клапана насоса (див. рисунок).

Постановка проблеми. Шнек в корпусі насоса розташований консольно, на його кінці закріплено зворушувач.

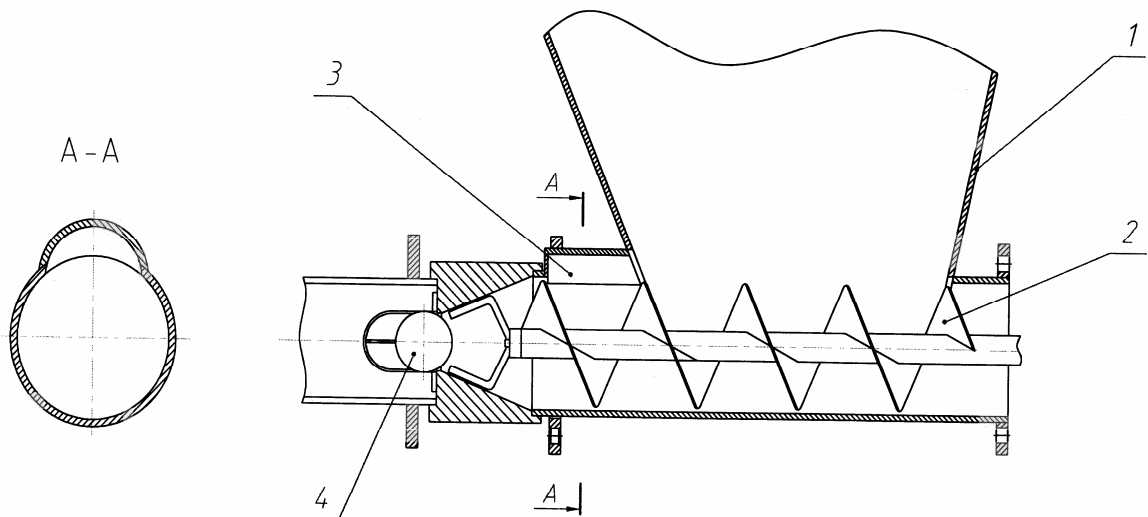
Примусове завантаження здійснюється шнеком, який виконує дві функції:

- створює додатковий рух на вході у всмоктувальний клапан, сприяючи збільшенню швидкості заповнення циліндра;
- створює циркуляційний рух бетонної суміші, запобігаючи її розшаруванню в період нагнітання поршнем, і підтримує суміш в стані тиксотропного розрідження.

Необхідною умовою для цього є резонанс коагуляційної структури бетонної суміші, тобто збіг частот власних коливань з частотами вимушених коливань частинок цементного гелю. Коливання відбуваються за синусоїдальним законом з однаковим періодом поступового загасання.

Як відомо, в традиційних конструкціях насоса вібрація негативно позначається на властивостях бетонної суміші, що знаходиться в бункері. Крупні фракції, що мають більшу кінетичну енергію, осідають, що призводить до розшарування сумішей. В умовах роботи розчинобетононасоса з примусовим завантаженням вібрація робить позитивний вплив у зв'язку з наявністю кишені, в якій відбувається циркуляція суміші, а саме – примусовий зворотний хід частинок. Появі

коливань конструкції розчинобетононасоса, окрім консольного шнека, сприяють працюючий двигун, динамічні навантаження, що виникають під час руху поршнів в циліндрах насоса, а також рух бетонної суміші, що долає місцеві гідравлічні опори. Вказані коливання мають деяку частоту. Найбільші вимушені коливання за амплітудою, що виникають в масі бетонної суміші, викликані діями на неї елементів примусового завантаження, тобто шнеком. Шнек, виконуючи дві функції, працює в різних режимах і за перехідних режимів сприймає ударні навантаження. Перехідні режими виникають 180 разів на хвилину, тобто частота вимушених коливань $\omega_b=3 \text{ c}^{-1}$. У результаті отримуємо резонанс для бетонних сумішей, раніше вказаної рухливості ($\tau_0=200 \text{ МПа}$).



Завантажувальний бункер двопоршневого розчинобетононасоса:

1 – корпус бункерів; 2 – горизонтальний шнек; 3 – кишеня; 4 – всмоктувальний клапан

Явище резонансу покладене в основу механізму оборотної тиксотропії цементного гелю, який із заповнювачами становить єдину систему з погляду фізико-механічних властивостей.

Слід так само зазначити, що за вібрації в бункері частинки суміші набувають рухливості, а зерна крупного заповнювача краще обволікаються цементним гелем, що підвищує ефект перемішування частинок суміші шнеком на дні бункера [2]. Підвищує якість бетонної суміші також її циркуляція в кишені корпусу насоса. Утворюватися пробкам в сидлі всмоктувального клапана не дає зворушувач, що знаходиться на консольному кінці шнека. Такі ефекти дають змогу транспортувати малорухливі бетонні суміші.

Постановка проблеми. У зв'язку з коливаннями, що виникають, стає актуальним питання надійності роботи шнека. Питання розрахунку на міцність шнекових елементів висвітлені в літературі недостатньо. Відомі аналітичні залежності носять переважно дуже наближений характер, обмежені громіздкими рівняннями, застосування яких для практичних цілей у край ускладнено.

Розглянемо шнек, що здійснює коливання уздовж своєї осі. Необхідно дослідити напруження, що виникають в лопатях шнека. В межах лінійного розгляду задачі у вираз для тензора деформації U_{ik} через вектор зсуву U_i нехтуємо величинами $\frac{\delta U_e}{\delta x_i} \frac{\delta U_e}{\delta x_k}$:

$$U_{ik} = \frac{1}{2} \left(\frac{\delta U_i}{\delta x_k} + \frac{\delta U_k}{\delta x_i} + \frac{\delta U_e}{\delta x_i} \cdot \frac{\delta U_e}{\delta x_k} \right). \quad (1)$$

Оскільки товщина лопаті шнека надзвичайно мала порівняно з її діаметром, то її можна розглядати як тонку пластину.

Розглянемо сили, що діють в довільно вибраній точці $a(r)$ шнека. Сила тяжіння P розкладається на нормальну N і тангенціальну T .

Задача зводиться до знаходження тензора напруги σ_{ik}^P в лопатях шнека. В межах лінійного розгляду задачі ці сили дадуть адитивний внесок в шуканий тензор, що дає змогу розглядати їх незалежно:

$$\sigma_{ik}^P = \sigma_{ik}^N + \sigma_{ik}^T. \quad (2)$$

Розглянемо силу $N = P \cos \alpha$ і пов'язані з нею тензор напруги σ_{ik}^N і тензор деформацій U_{ik}^N . Останні при виразі тензора напруги через тензор деформацій дають змогу подати їх такою залежністю:

$$\sigma_{ik} = \frac{E}{1+\sigma} \left(U_{ik}^N + \frac{\sigma}{1-2\sigma} \sigma_{ik} U_{ee}^N \right), \quad (3)$$

де E – модуль Юнга; σ – коефіцієнт Пуассона.

Зв'язок U_{ik} зі U_k встановлюється формулою (1).

У циліндрових координатах рівняння, якому підкоряється z -компонента вектора зсуву $U_z^N(r) = \xi(r)$, залежна від радіуса r :

$$\Delta^2 \xi = 64\beta; \quad \Delta = \frac{1}{2} \frac{d}{dr} \left(r \frac{d}{dr} \right) - \text{оператор Лапласа};$$

$$\beta = \frac{3\rho g_{\varphi} (1-\sigma^2)}{16hE} \cos \alpha; \quad g_{\varphi} = g + Af^2, \quad (5)$$

де ρ – густина металу; g – пришвидження сили тяжіння; h – товщина лопаті шнека; A – амплітуда коливань шнека; f – частота коливань шнека вздовж осі.

Загальний розв'язок рівняння (5) має такий вигляд:

$$\xi(r) = \beta r^4 + ar^2 + b + cr^2 \ln \frac{r}{r_0} + d \ln \frac{r}{r_0}. \quad (6)$$

Розв'язок рівняння (6) дає компоненту вектора зміщення $U_z^N(r)$, через яку виражається решта компонентів вектора $U_i^N(r)$ і компоненти тензорів σ_{ik}^N і U_{ik}^N .

Теорія тонких пластин припускає, що $\sigma_{rz}^N = \sigma_{\varphi z}^N = \sigma_{zz}^N = 0$.

Тензор деформації і тензор напруження через функцію $\xi(r)$ виглядає так:

$$U_{zz}^N = -z \frac{\delta^2 \xi}{\delta r^2}, \quad U_{zz}^N = 0;$$

$$U_{\varphi\varphi}^N = -\frac{z}{r} \frac{\delta \xi}{\delta r}, \quad U_{r\varphi}^N = 0;$$

$$U_{zz}^N = \frac{\sigma}{1-\sigma} z \left(\frac{\delta^2 \xi}{\delta r^2} + \frac{1}{2} \frac{\delta \xi}{\delta r} \right), \quad U_{\varphi z}^N = 0;$$

$$\sigma_{rr}^N = -\frac{Ez}{1-\sigma^2} \left[\frac{\delta^2 \xi}{\delta r^2} + \frac{\delta \xi}{r \delta r} \right]; \quad \sigma_{\varphi\varphi}^N = -\frac{Ez}{1-\sigma^2} \left[\sigma \frac{\delta^2 \xi}{\delta r^2} + \frac{1}{2} \frac{\delta \xi}{\delta r} \right];$$

$$\sigma_{rz}^N = \sigma_{z\varphi}^N = \sigma_{zz}^N = \sigma_{r\varphi}^N.$$

Оскільки сила T діє в площині, то напруження, що виникає в ній, очевидно, буде невеликим. Компоненти тензора напруження σ_{ik}^T будуть мати, як і слід чекати, набагато менше відмінних від нуля компонентів (r). Тому для оцінки, нехтуючи циліндричністю задачі, розглянемо плоский її аналог.

Тензор деформації U_{ik} має такий вигляд:

$$U_{xx}^T = \frac{\delta U_x^T}{\delta x} = 0; \quad U_{yy}^T = \frac{\delta U_y^T}{\delta y} = 0; \quad U_{xy}^T = \frac{1}{2} \left(\frac{\delta U_x^T}{\delta y} + \frac{\delta U_y^T}{\delta x} \right) = \frac{1}{2} (-\alpha x + a).$$

Тензор напруження σ_{ik}^T :

$$\sigma_{xy}^T = \frac{1}{2} \frac{E}{1 + \sigma} (a - \alpha x).$$

На вільному краю граничною умовою є $\sigma_{xy} = 0$ і, отже

$$\sigma_{xy}^T = \frac{E\alpha}{2(1 + \sigma)} (R - x).$$

Для шнека двопоршневого розчинобетононасоса з параметрами:

$r_0=0.01$ м; $R=0.05$ м; $H=0.05$ м; $h=0.003$ м; $A=0.0015$ м; $f=3$ сек⁻¹; $E=2.10^{11}$ Н/м²; $\sigma=0.3$
компоненти тензора деформацій в точці $r=r_0$ мають такі значення $\sigma_{rr}^N=433.10^4$ Н/м²; $\sigma_{\varphi\varphi}^N=13.10^5$ Н/м². Гранично допустиме напруження за згину і кручення для легованих конструкційних сталей становить $[\sigma_{из}]=570 \cdot 10^4$ Н/м² і $[\tau_{кр}]=36 \cdot 10^5$ Н/м². Помилка δ , розрахована за формулою, становить 2 %. Зіставлення отриманих σ_{rr}^N , $\sigma_{\varphi\varphi}^N$ с $[\sigma]_{из}$ і $[\tau]_{кр}$ свідчить про надійну роботу лопатей шнека за вказаних робочих параметрів напірного шнека.

Отже, запропоновано методику розрахунку надійності елементів шнека примусового завантаження розчинобетононасоса за умови, що його лопаті розглядаються як тонкі пластини в циліндричних координатах.

1. Емельянова И.А., Баранов А.М., Задорожний А.О., Непорожнев О.С. Деклараци́нный патент на винахід 52035А. Двоциліндри́вий розчинобетононасос з кулачковим приводом та зворотною кулісою. 16.12.2002 Україна. 2. Емельянова И.А., Баранов А.Н., Задорожний А.А., Непорожнев А.С. Теоретические исследования принудительной загрузки двухпоршневого растворобетононасоса при работе на малоподвижных смесях: Науковий вісник будівництва. – Харків, 2004. – Вип. 28.