

*д.т.н. Корнєєв С.В.,
Доброногова В.Ю.
(ДонДТУ, м. Алчевськ, Україна)*

ЗАКОНИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ НАТЯГОМ ТЯГОВОГО ОРГАНУ ПІДЗЕМНИХ СТРІЧКОВИХ КОНВЕЙЕРІВ

Наведені закони керування натягом тягового органу стрічкових конвеєрів з автоматичним натяжним пристроєм і їх аналіз.

Ключові слова: *стрічковий конвеєр, тяговий орган, керування натягом, закон керування.*

Приведены законы управления натяжением тягового органа ленточных конвейеров с автоматическим натяжным устройством и их анализ.

Ключевые слова: *ленточный конвейер, тяговый орган, управление натяжением, закон управления.*

Функціонування сучасних підземних стрічкових конвеєрів з синтетичними стрічками і жорсткими натяжними пристроями (НП) залишається украй незадовільним. Це проявляється в пробуксовках стрічки на приводних барабанах, в її сходженні з роликоопор і барабанів, в надмірному провисанні між роликоопорами і поривах. Перераховані негативні явища, що так або інакше пов'язані з невідповідністю рівня натягу стрічки поточним значенням тягового зусилля на приводних барабанах і умовам експлуатації, призводять до зниження довговічності стрічки і при зносі бортів – приймальної здатності ТО, до виникнення при пробуксовці пожежонебезпечних ситуацій, до підвищення опорів руху ТО по конвеєрному поставу і т.ін.

Застосування для керування натягом ТО при сталому режимі роботи конвеєра автоматичних натяжних пристроїв (АНП) [1], здатних працювати в стабілізуючому, слідкувальному або комбінованому режимі, стримується недостатнім розвитком електронної і інформаційної компонент конвеєра. В даний час з'явилася елементна і інформаційна база для створення адаптивної системи керування, за наявності якої можуть установлюватися параметри регулятора натягнення, адекватні реальним умовам навантаження приводу і технічному стану конвеєра (рівню навантажень в приводі, натягам і витягненню стрічки, коефіцієнту зчеплення стрічки з барабаном і ін.). Таким чином, з'явилася можливість

реалізації за участю АНП ідеї створення сучасних конвеєрів як адаптивних систем мехатронного класу.

У роботах [2, 3] запропоновані закони регулювання натягу ТО за допомогою АНП і критерії їх оцінки, а саме, абсолютні і відносні значення зниження середнього рівня натягів, визначуваних при відомому спектрі навантажень, тобто за заданих умов експлуатації, порівняно до натягів, що виникають в разі правильно налагодженого жорсткого натяжного пристрою. Таким чином, створені передумови до побудови адаптивної САУ. В той же час, в алгоритмі побудови системи регулювання натягу відсутні ознаки режиму роботи конвеєра (гальмівного або рухового) і можливості його змінення, а також інформація про число натяжних кареток (одну або дві) і їх розташування відносно приводу (на нижній гілці ТО, верхній або на обох гілках).

Метою даної роботи є уточнення відомих законів і алгоритму керування натягом тягового органу підземних стрічкових конвеєрів з врахуванням, структури АНП, типу і режимів роботи конвеєра для створення адаптивної системи керування АНП.

При сталому русі конвеєра для визначення натягу ТО в будь-якій точці тягового контуру достатньо знати натяг хоча би в одній з цих точок і встановлюване з тягового розрахунку тягове зусилля приводу W . Рівень натягів, окрім іншого, визначається в разі застосування жорсткого НП попереднім натягом, який налаштовується в режимі холостого ходу конвеєра, а в разі застосування АНП – режимом роботи конвеєра і відповідним йому заданим законом керування.

Режим роботи конвеєра відображає знак величини W , а тенденції до його змінення – перша похідна від W по ρ (ρ – лінійна маса вантажу на ТО)

$$\Pi = \frac{dW}{d\rho} = Lg(w\cos\beta + \sin\beta),$$

де L – довжина конвеєра;

g – прискорення вільного падіння;

β – середнє значення кута установки конвеєра, якщо транспортування відбувається угору, то $\beta > 0$, якщо донизу, то $\beta < 0$.

Якщо $\Pi > 0$, то завжди $W \geq W_{xx} > 0$, де W_{xx} – тягове зусилля у режимі холостого ходу, і конвеєри при будь-якому завантаженні працюють лише в руховому режимі. Для них найбільш важкою є робота в номінальному режимі, тобто при $W = W_{\max}$, де W_{\max} – тягове зусилля при максимальному завантаженні поставу. При цьому в разі розташування приводу в голові конвеєра завжди виконуються умови $W = S_4 - S_1 > 0$ і

$S_4 > S_1$, де S_4 і S_1 – натяги, відповідно, набігаючих на привід і збігаючих з нього гілок ТО (в точках 1 і 4 тягового контуру конвеєра).

Бремсбергові конвеєри, ознакою яких є виконання умови $\Pi < 0$, у режимі холостого ходу працюють у руховому режимі. В міру збільшення їх завантаження опір руху W зростає. Якщо при деякому завантаженні трапляється $W < 0$, то вони переходять в гальмівний режим роботи.

Якщо для бремсбергових конвеєрів $W_{x,x} > |W_{\max}|$, то найбільш важким і таким, що визначає вибір попереднього натягу, є режим холостого ходу.

Якщо ж $W_{x,x} < |W_{\max}|$, то найбільш важким виявляється гальмівний режим роботи конвеєра.

Жорсткий АНП. При $\Pi > 0$, щоб уникнути пробуксовування стрічки на приводному барабані у найбільш важкому режимі, попередній натяг повинен здійснюватися з деяким запасом так, щоб виконувалася умова $S_1 e^{\mu\alpha} / S_4 = \kappa_{3H} > 1$, де κ_{3H} – коефіцієнт запасу натягу.

При $\Pi < 0$ і $W < 0$ (гальмівний режим) для виключення пробуксовування природно вимагати виконання умови $S_4 e^{\mu\alpha} / S_1 = \kappa_{3H} > 1$.

Комбінований АНП. Найменші натяги ТО забезпечуються в разі роботи АНП в комбінованому режимі, що поєднує режими слідкування і стабілізації, в яких закони регулювання призначаються залежно від режиму роботи конвеєра (гальмівного або рухового), тобто від знаку величини W . Для цих цілей бремсбергові конвеєри, як правило, обладнуються двома натяжними каретками, а інші (горизонтальні, ухилові) – однією, встановленою на збіжній гілці. У слідкувальному режимі забезпечується умова відсутності пробуксовування при поточних значеннях W . У стабілізуючому режимі при $0 > W > W_{\min}^T$ підтримується постійне значення W_{\min}^T , яке відповідає умові $S_4 = S_{4\min}^{\text{пров}}$. При $W_{\min}^D > W > 0$ підтримується постійне значення W_{\min}^D , яке відповідає умові $S_1 = S_{1\min}^{\text{пров}}$. Тут $S_{1\min}^{\text{пров}}$ і $S_{4\min}^{\text{пров}}$ – мінімально допустимі натяги ТО в точках 1 і 4, визначені за умовою допустимого провисання стрічки між роликкооперами.

Слідкувальні АНП. Особливість слідкувальних АНП полягає в тому, що для спрощення САУ в комбінованих АНП виключається режим стабілізації.

Стабілізуючі АНП. У випадку $\Pi > 0$, а також при $\Pi < 0$ і $W_{\max} > 0$ застосовується одна натяжна каретка, встановлена на збіжній гілці. За-

кони регулювання натягу бремсбергових конвеєрів ($\Pi < 0$), що поперемінно працюють в руховому або гальмівному режимі ($W_{\max} < 0$), щонайкраще реалізуються за допомогою АНП з двома натяжними каретками, кожна з яких працює в зоні мінімальних натягів ТО. В принципі, регулювання може здійснюватися і однією натяжною кареткою, встановленою на будь-якій гілці, проте в одному з режимів роботи конвеєра їй доведеться працювати в області максимальних натягів.

АНП, що працює в стабілізуючому режимі, підтримує постійний рівень натягу, що забезпечує відсутність пробуксування в найбільш важких режимах роботи конвеєра, для бремсбергових конвеєрів – окремо на двох рівнях в руховому і гальмівному режимах роботи конвеєра (дворівневе регулювання) або на одному рівні, що задовольняє як руховому, так і гальмівному режимам (однорівневе регулювання). При всіх значеннях W , окрім W_{\max} або $W_{x.x}$, особливо бремсбергових конвеєрів при однорівневому регулюванні з однією натяжною кареткою, тяговий орган надмірно натягнутий.

В табл. 1 приведені раціональні значення параметрів налаштування жорстких НП з контрольованим натягом ТО S_{1H} в режимі холостого ходу, а також закони керування АНП, для ідентифікації яких прийняті позначення: К – комбінований, СЛ – слідкувальний, СТ – стабілізуючий з двома натяжними каретками, СТЗ – стабілізуючий з однією кареткою на збіжній гілці, СТН – стабілізуючий з однією кареткою на набіжній гілці.

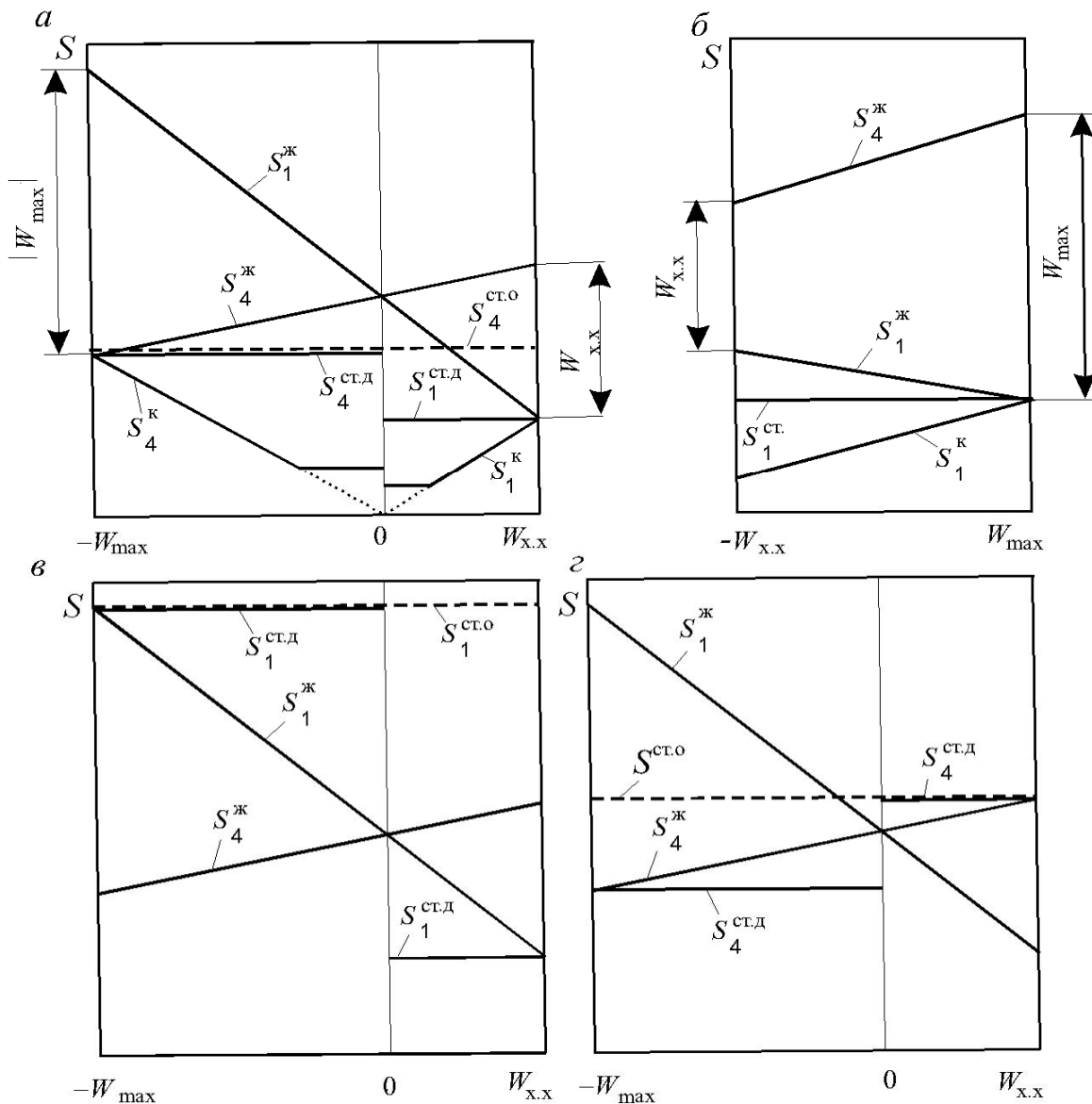
Таблиця 1 – Закони регулювання натягу ТО стрічкових конвеєрів

Режим роботи АНП	Параметри налаштування жорсткого НП і закони керування АНП	Умови застосування закону регулювання
Жорсткий НП	$S_{1H} = \kappa_{3H} W_{\max} / (e^{\mu\alpha} - \kappa_{3H}) + 0,25(W_{\max} - W_{x.x})$	$\Pi > 0$
	$S_{1H} = W_{\max} e^{\mu\alpha} / (e^{\mu\alpha} - \kappa_{3H}) + 0,25(W_{\max} - W_{x.x})$	$\Pi < 0,$ $ W_{\max} > W_{xx}$
	$S_{1H} = \kappa_{3H} W_{xx} / (e^{\mu\alpha} - \kappa_{3H})$	$\Pi < 0,$ $ W_{\max} < W_{xx}$
К	$S_1^K = \kappa_{3H} W / (e^{\mu\alpha} - \kappa_{3H})$	$W > 0, W > W_{\min}^D$
	$S_1^K = \kappa_{3H} W_{\min}^D / (e^{\mu\alpha} - \kappa_{3H})$	$W > 0, W < W_{\min}^D$
	$S_4^K = \kappa_{3H} W_{\min}^T / (e^{\mu\alpha} - \kappa_{3H})$	$W < 0, W > W_{\min}^T$

Продовження таблиці 1

Режим роботи АНП	Параметри налаштування жорсткого НП і закони керування АНП	Умови застосування закону регулювання
	$S_4^k = \kappa_{3H} W / (e^{\mu\alpha} - \kappa_{3H})$	$W < 0, W < W_{\min}^T$
СЛ	$S_1^{cl} = \kappa_{3H} W / (e^{\mu\alpha} - \kappa_{3H})$	$\Pi > 0, W > 0, W_{xx} > W_{\min}^d$
	$S_1^{cl} = \kappa_{3H} (W + W_{\min}^d) / (e^{\mu\alpha} - \kappa_{3H})$	$\Pi < 0, W > 0$
	$S_4^{cl} = \kappa_{3H} (W + W_{\min}^T) / (e^{\mu\alpha} - \kappa_{3H})$	$\Pi < 0, W < 0$
СТ	два рівні регулювання	
	$S_1^{ct.d} = \kappa_{3H} W_{x,x} / (e^{\mu\alpha} - \kappa_{3H})$	$\Pi < 0, W > 0$
	$S_4^{ct} = \kappa_{3H} W_{\max} / (e^{\mu\alpha} - \kappa_{3H})$	$\Pi < 0, W < 0$
	один рівень регулювання	
	$S^{ct} = \max \{ \kappa_{3H} W_{x,x} / (e^{\mu\alpha} - \kappa_{3H}); \kappa_{3H} W_{\max} / (e^{\mu\alpha} - \kappa_{3H}) \}$	$\Pi < 0, W_{\max} < 0$
	$S_1^{ct} = \kappa_{3H} W_{x,x} / (e^{\mu\alpha} - \kappa_{3H})$	$\Pi < 0, W_{\max} > 0$
СТЗ	два рівні регулювання	
	$S_1^{ct.d} = \kappa_{3H} W_{x,x} / (e^{\mu\alpha} - \kappa_{3H})$	$\Pi < 0, W > 0$
	$S_1^{ct.d} = W_{\max} e^{\mu\alpha} / (e^{\mu\alpha} - \kappa_{3H})$	$\Pi < 0, W < 0$
	один рівень регулювання	
	$S_1^{ct.o} = \max \{ \kappa_{3H} W_{x,x} / (e^{\mu\alpha} - \kappa_{3H}); W_{\max} e^{\mu\alpha} / (e^{\mu\alpha} - \kappa_{3H}) \}$	$\Pi < 0, W_{\max} < 0$
	$S_1^{ct.o} = \kappa_{3H} W_{x,x} / (e^{\mu\alpha} - \kappa_{3H})$	$\Pi < 0, W_{\max} > 0,$
	$S_1^{ct.o} = \kappa_{3H} W_{\max} / (e^{\mu\alpha} - \kappa_{3H})$	$\Pi > 0$
СТН	два рівні регулювання	
	$S_4^{ct.d} = W_{x,x} e^{\mu\alpha} / (e^{\mu\alpha} - \kappa_{3H})$	$\Pi < 0, W > 0$
	$S_4^{ct.d} = \kappa_{3H} W_{\max} / (e^{\mu\alpha} - \kappa_{3H})$	$\Pi < 0, W < 0$
	один рівень регулювання	
	$S_4^{ct.o} = \max \{ W_{x,x} e^{\mu\alpha} / (e^{\mu\alpha} - \kappa_{3H}); \kappa_{3H} W_{\max} / (e^{\mu\alpha} - \kappa_{3H}) \}$	$\Pi < 0, W_{\max} < 0$
	$S_4^{ct.o} = e^{\mu\alpha} W_{x,x} / (e^{\mu\alpha} - \kappa_{3H})$	$\Pi < 0, W_{\max} > 0$

Характер змінення сил натягу ТО конвеєрів (для бремсбергового, як приклад, для типового випадку, коли $W_{\max} < 0$ і $|W_{\max}| > W_{x,x}$), обладнаних жорстким НП або АНП, залежно від W відображений на рис. 1.



— — один рівень регулювання натягу,

- - - — два рівня регулювання натягу,

a — дві натяжні каретки,

a, в — одна натяжна каретка на збіжній гілці ТО,

г — одна натяжна каретка на набіжній гілці ТО,

б — $\Pi > 0$ (ухилкові конвеєри),

в — $\Pi < 0$ (бремсбергові конвеєри)

Рисунок 1 – Залежності натягів тягового органу стрічкових конвеєрів з АНП від тягового зусилля

Для всіх режимів роботи АНП характерне те, що налаштовувані і регульовані сили натягу при максимальних навантаженнях, тобто при $W_{x.x}$ або W_{max} , збігаються. Графіки залежностей $S_1(W)$ і $S_4(W)$ перетинаються при $W=0$.

З аналізу наведених залежностей виходить, що на бремсбергових конвеєрах при $W_{max}<0$ доцільно застосовувати дві натяжні каретки. На конвеєрах з однією натяжною кареткою її необхідно встановлювати: у випадку $|W_{max}|>W_{xx}$ на набіжній гілці ТО, у випадку ж $|W_{max}|<W_{xx}$ – на збіжній гілці.

Таким чином, проведено уточнення законів керування натягом тягового органу стрічкових конвеєрів з врахуванням режиму роботи конвеєра, числа і розташування натяжних кареток. Отримані результати, необхідні при розробці адаптивної САУ автоматичними натяжними пристроями конвеєра.

Бібліографічний список

1. Василенко В.И. Классификация автоматических натяжных устройств ленточных конвейеров // Василенко В.И., Котов М.А., Сб. Автоматизация и вычислительная техники в угольной промышленности. – 1970. – Вып. 10. – С. 261-269.

2. Сигалов Л.Н. Методика оценки эффективности действия натяжных устройств ленточных конвейеров / Сигалов Л.Н., Корнеев С.В. – Сб. Шахтный и карьерный транспорт. Вып. 7 – М: Недра, 1981. – С. 79-87.

3. Сигалов Л.Н. О рациональном способе регулирования первоначального натяжения тягового органа ленточных конвейеров / Сигалов Л.Н., Корнеев С.В., Припотень В.К. – Изв. Вузов. Горный журн. – 1978. – №12. – С. 56-61.