

УДК 622.232.83.054

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОДОЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ПРОХОДЧЕСКОГО КОМБАЙНА С ДВУХКОРОНЧАТЫМ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫМ ОРГАНОМ В ВОСХОДЯЩЕЙ ВЫРАБОТКЕ

Никитин М.С., студент гр. ГЭс-141, IV курс

Научные руководители: Маметьев Л.Е., д.т.н., проф., Борисов А.Ю., к.т.н., доцент  
 Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева  
 г. Кемерово

Устойчивость проходческого комбайна (ПК) с двухкорончатым исполнительным органом, включающий дисковый инструмент на многогранных призмах при проведения горизонтальных горных выработок рассмотрена в работах [1, 2]. При работе проходческого комбайна в условиях восстающих горных выработок [3, 4] требуются другие технические решения. По этой причине рассмотрен вариант для обеспечения устойчивости проходческого комбайна с учетом опоры на гусеничную тележку и распором двумя гидростойками в кровлю, которые расположены в передней части гусеничной тележки комбайна (рис. 1, а). Следует также отметить, что компоновка породоразрушающего инструмента различного типа и назначения на исполнительном органе позволит повысить эффективность процесса проходки и расширить области применения горной машины на более крепкие породы [5–17].

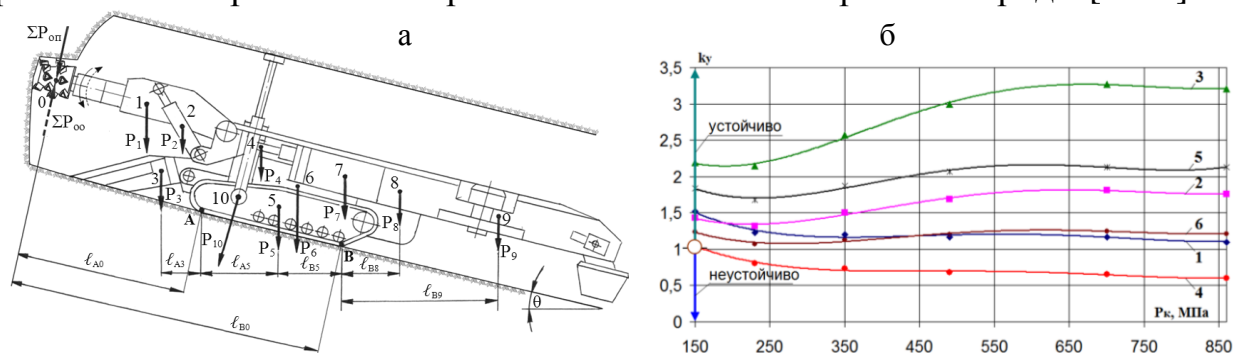


Рис. 1. Определение устойчивости: а – расположение сил для расчета на продольную устойчивость проходческого комбайна в восходящей выработке ( $\theta = +12^\circ$ ) с распором в кровлю двумя гидростойками передней части гусеничной тележки; б – зависимости коэффициентов устойчивости  $k_y$  от контактной прочности  $P_k$

На рис. 1,б представлены зависимости коэффициентов устойчивости  $k_y$  комбайна в восходящей выработке ( $\theta = +12^\circ$ ) от контактной прочности  $P_k$  пород относительно осей, проходящих через точки А или В: 1 – ось через точку А, 2 – ось через точку В (распор гусеничной тележки в передней части); 3 – ось через точку А, 4 – ось через точку В (распор гусеничной тележки в задней ча-

сти); 5 – ось через точку А, 6 – ось через точку В (распор гусеничной тележки в средней части).

При расчете на устойчивость получены зависимости (рис. 1, б, табл. 1).

Таблица 1

$1 - k_y = 2 \cdot 10^{-11} P_k^4 - 4 \cdot 10^{-8} P_k^3 + 4 \cdot 10^{-5} P_k^2 - 0,0128 P_k + 2,7361;$	$R^2 = 0,9707;$
$2 - k_y = 2 \cdot 10^{-11} P_k^4 - 5 \cdot 10^{-8} P_k^3 + 4 \cdot 10^{-5} P_k^2 - 0,0114 P_k + 2,3749;$	$R^2 = 0,9922;$
$3 - k_y = 4 \cdot 10^{-11} P_k^4 - 8 \cdot 10^{-8} P_k^3 + 6 \cdot 10^{-5} P_k^2 - 0,0157 P_k + 3,3879;$	$R^2 = 0,9979;$
$4 - k_y = 1 \cdot 10^{-11} P_k^4 - 3 \cdot 10^{-8} P_k^3 + 3 \cdot 10^{-5} P_k^2 - 0,0104 P_k + 2,0595;$	$R^2 = 0,9894;$
$5 - k_y = 4 \cdot 10^{-11} P_k^4 - 8 \cdot 10^{-8} P_k^3 + 6 \cdot 10^{-5} P_k^2 - 0,016 P_k + 3,1779;$	$R^2 = 0,99;$
$6 - k_y = 2 \cdot 10^{-11} P_k^4 - 4 \cdot 10^{-8} P_k^3 + 3 \cdot 10^{-5} P_k^2 - 0,0104 P_k + 2,1703$	$R^2 = 0,9401$

Расчеты на продольную устойчивость проходческого комбайна в условиях восходящей горной выработки ( $\theta = +12^\circ$ ) проводились по трем направлениям: при распоре в кровлю двумя гидростойками передней, задней и средней частей гусеничной тележки (см. формулы 1–4).

При расчете на продольную устойчивость комбайна относительно поперечной оси, проходящей через точку А передней кромки опорной поверхности гусеничной тележки (рис. 1, а) с учетом подъема исполнительного органа, момент восстанавливающий определится из формулы:

$$M_{\text{восст}} = (P_4 l_{A4} + P_5 l_{A5} + P_6 l_{A6} + P_7 l_{A7} + P_8 l_{A8} + P_9 l_{A9}) \cos \theta + P_{10} l_{A10}, \text{ кН} \cdot \text{м} \quad (1)$$

где  $P_4, P_5, P_6, P_7, P_8, P_9$ , – силы веса (кН), соответственно: турели; гусеничной тележки; рамы; блока электрооборудования; блока гидрооборудования; конвейера;  $P_{10}$  – усилия в двух распорных стойках, кН;  $l_{A4} - l_{A9}$  – плечи соответствующих сил веса относительно точки А, м;  $l_{A10}$  – плечо распорного усилия  $P_{10}$  относительно точки А, м;  $\cos \theta = \cos 12^\circ = 0,978$ .

С учетом наклонного положения комбайна усилия веса  $P_4 - P_9$  составных узлов уменьшаются пропорционально углу наклона выработки  $\theta$ .

Момент опрокидывающий относительно поперечной оси, проходящей через точку А передней кромки опорной поверхности гусеничной тележки комбайна определялся из формулы:

$$M_{\text{опр.}} = \Sigma P_{\text{оп}} l_{A0} + (P_1 l_{A1} + P_2 l_{A2} + P_3 l_{A3}) \cos \theta, \text{ кН} \cdot \text{м}, \quad (2)$$

где  $\Sigma P_{\text{оп}}$  – внешняя нагрузка на двух коронках при подъеме исполнительного органа, кН;  $P_1, P_2, P_3$  – силы веса (кН) исполнительного органа, двух домкратов подъема, питателя;  $l_{A1}, l_{A2}, l_{A3}$  – плечи соответствующих сил веса относительно точки А, м;  $l_{A0}$  – плечо внешней нагрузки относительно точки А, м;  $\cos \theta = \cos 12^\circ = 0,978$ .

В процессе расчета продольной устойчивости комбайна относительно поперечной оси проходящей через точку А передней кромки опорной поверхности гусеничной тележки определялись распорные усилия  $P_{10}$  двух стоек диаметром  $D$ , включая их собственный вес, обеспечивающие устойчивость комбайна с учетом контактной прочности  $P_k$  породы.

В процессе расчета продольной устойчивости комбайна относительно поперечной оси проходящей через точку В задней кромки опорной поверхно-

сти гусеничной тележки (рис. 1, а) с учетом опускания исполнительного органа, момент восстанавливающий определится из формулы:

$$M_{\text{восст}} = (P_1 l_{B1} + P_2 l_{B2} + P_3 l_{B3} + P_4 l_{B4} + P_5 l_{B5} + P_6 l_{B6} + P_7 l_{B7}) \cos \theta + P_{10} l_{B10}, \text{ кН}\cdot\text{м}, \quad (3)$$

где  $P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6, P_7$  – силы веса исполнительного органа, двух домкратов подъема, питателя, турели, гусеничной тележки, рамы, блока электрооборудования, кН;  $(l_{B1}-l_{B7})$  – плечи соответствующих сил веса относительно точки  $B$ , м;  $l_{B1} = l_{B5} + l_{A5} + l_{A1}$ ;  $l_{B2} = l_{B5} + l_{A5} + l_{A2}$ ;  $l_{B3} = l_{B5} + l_{A5} + l_{A3}$ ;  $l_{B4} = l_{B5} + l_{A5} - l_{A4}$ ;  $l_{B6} = l_{B5} + l_{A5} - l_{A6}$ ;  $l_{B7} = l_{B5} + l_{A5} - l_{A7}$ ;  $l_{B10} = l_{B0} - l_{A0} - l_{10}$ ;  $P_{10}$  – усилия в двух распорных стойках, кН;  $l_{B10}$  – плечо распорного усилия  $P_{10}$  относительно точки  $B$ , м;  $\cos \theta = \cos 12^\circ = 0,978$ . При наклонном положении комбайна усилия веса  $P_1-P_7$  составных узлов уменьшаются пропорционально углу наклона выработки  $\theta$ .

Опрокидывающий момент определится из формулы:

$$M_{\text{опр.}} = \Sigma P_{00} l_{B0} + (P_8 l_{B8} + P_9 l_{B9}) \cos \theta, \text{ кН}\cdot\text{м}, \quad (4)$$

где  $\Sigma P_{00}$  – внешняя нагрузка на двух коронках при опускании исполнительного органа, кН;  $P_8, P_9$  – силы веса блока гидрооборудования, конвейера, кН;  $l_{B8}, l_{B9}$  – плечи соответствующих сил веса относительно точки  $B$ , м;  $l_{B0}$  – плечо внешней нагрузки относительно точки  $B$ , м.

Результаты расчетов представлены на рис. 1, б и табл. 1.

Из расчетов следует, что комбайн работает устойчиво при  $P_k$  от 150 до 860 МПа в наклонной горной выработке ( $\theta = +12^\circ$ ) при подъеме и опускании исполнительного органа с опорой на гусеничную тележку и установкой в ее передней части двух, соответствующих расчету распорных стоек.

### Выводы

Проведены три этапа расчетов проходческого комбайна в восходящей горной выработке ( $\theta = +12^\circ$ ) на продольную устойчивость: с опорой на гусеничную тележку и распором двумя гидростойками в кровлю, расположенными в передней, задней и средней частях гусеничной тележки.

При наклонном положении проходческого комбайна ( $\theta = +12^\circ$ ) продольная устойчивость соблюдается как при распоре двумя гидростойками передней части гусеничной тележки (для подъема  $k_y = 1,1-1,52$  и опускания  $k_y = 1,43-1,76$ ), так и при распоре двумя гидростойками средней части гусеничной тележки (для подъема  $k_y = 1,84-2,13$  и опускания  $k_y = 1,21-1,24$ ).

### Список литературы:

1. Хорешок, А.А. Обеспечение устойчивости проходческого комбайна с двухкорончатым реверсивным рабочим органом / А.А. Хорешок, Л.Е. Маметьев, А.М. Цехин, А.Ю. Борисов // Горное оборудование и электромеханика. – 2016. – № 6. – С. 3–7.
2. Маметьев, Л.Е. Устойчивость проходческого комбайна при разрушении забоев двухкорончатым исполнительным органом / Л.Е. Маметьев, А.А. Хорешок, А.М. Цехин, А.Ю. Борисов // Фундаментальные научные исследования: теоретические и практические аспекты: сборник материалов II Международной научно-практической конференции (29 сентября 2016 года), Том I – Кемерово: ЗапСибНЦ, 2016 – С. 22–26.

3. Маметьев, Л.Е. Устойчивость проходческого комбайна с двухкорончатый исполнительным органом при проходке восстающих выработок / Л.Е. Маметьев, А.А. Хорешок, А.М. Цехин, А.Ю. Борисов // Современные тенденции развития науки и производства: сборник материалов V Международной научно-практической конференции (28 февраля 2017 года), Том I – Кемерово: ЗапСибНЦ, 2017 – С. 16–19.

4. Маметьев, Л.Е. Влияние условий эксплуатации на устойчивость проходческого комбайна с двухкорончатым реверсивным стреловидным исполнительным органом / Л.Е. Маметьев, А.А. Хорешок, А.М. Цехин, А.Ю. Борисов // Вестник КузГТУ. – 2017. – № 3. – С. 103–109.

5. Khoreshok A, Mametyev L, Borisov A, Vorobiev A. Stress-deformed state knots fastening of a disk tool on the crowns of roadheaders // Taishan academic forum-project on mine disaster prevention and control. Chinese coal in the XXI century: Mining, green and safety. – Qingdao, China, October 17-20, 2014, Atlantis press, Amsterdam-Paris-Beijing, 2014. p. 177–183.

6. Khoreshok A.A., Mametev L.E., Borisov A.Yu., Vorobev A.V. Finite element models of disk tools with attachment points on triangular prisms // Applied Mechanics and Materials. 2015. V. 770. p. 429–433.

7. Khoreshok A.A., Mametev L.E., Borisov A.Yu., Vorobev A.V. Stress state of disk tool attachment points on tetrahedral prisms between axial bits // Applied Mechanics and Materials. 2015. V. 770. p. 434–438.

8. Khoreshok A.A., Mametyev L.E., Borisov A.Yu., Vorobyev A.V. Influence of the rigid connection between discs in the tetrahedral prisms on equivalent stresses when cutting work faces // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2016. V. 127. p. 012039.

9. Проходческие комбайны со стреловидным исполнительным органом. Часть 1. Опыт производства и развития : монография / А.А. Хорешок, Л.Е. Маметьев, А.М. Цехин, Б.Л. Герике, Г.Д. Буялич, А.Б. Ефременков, А.Ю. Борисов; Юргинский технологический институт, Кузбасский государственный технический университет. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – 213 с.

10. Проходческие комбайны со стреловидным исполнительным органом. Часть 2. Эксплуатация и диагностика : монография / А.А. Хорешок, Л.Е. Маметьев, А.М. Цехин, Б.Л. Герике, Г.Д. Буялич, А.Б. Ефременков, А.Ю. Борисов; Юргинский технологический институт, Кузбасский государственный технический университет. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – 281 с.

11. Проходческие комбайны со стреловидным исполнительным органом. Часть 3. Выбор и обоснование рабочих параметров двухкорончатых реверсивных исполнительных органов : монография / А.А. Хорешок, Л.Е. Маметьев, А.М. Цехин и др. ; Кузбасский государственный технический университет, Юргинский технологический институт. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2016. – 136 с.

12. Хорешок, А.А. Формирование нагруженности реверсивных коронок с дисковым инструментом на трехгранных призмах / А.А. Хорешок, Л.Е. Маметьев, А.М. Цехин, А.Ю. Борисов // Горное оборудование и электромеханика. – 2016. – № 4. – С. 3–10.

13. Борисов, А.Ю. Влияние формы корпуса рабочего органа горного комбайна на нагруженность дискового инструмента / А.Ю. Борисов, А.А. Хорешок, Л.Е. Маметьев, А.М. Цехин // Горное оборудование и электромеханика. – 2016. – № 6. – С. 30–37.

14. Маметьев, Л.Е. Конструктивно-кинематическая схема реверсивного двухкорончатого исполнительного органа с дисковым инструментом на трехгранных призмах / Л.Е. Маметьев, А.М. Цехин, А.Ю. Борисов // Современная наука: проблемы и пути их решения: сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф., Кемерово, 10-11 декабря 2015 г. Т.1 / КузГТУ. – Кемерово, 2015. – С. 21–24.

15. Горные машины и оборудование подземных горных работ. Режущий инструмент горных машин : учеб. пособие / А. А. Хорешок, Л. Е. Маметьев, А. М. Цехин, А. Ю. Борисов ; КузГТУ. – Кемерово, 2012. – 288 с.

16. Хорешок, А.А. Влияние условий эксплуатации горных комбайнов на конструкцию их исполнительных органов / А.А. Хорешок, А.М. Цехин, А.Ю. Борисов // Горное оборудование и электромеханика. – 2012. – № 6. – С. 2–5.

17. Расширитель скважин обратного хода : пат. 160664 РФ на полезную модель: МПК Е 21 В 7/28, Е 21 D 3/00 (2006.01). / Цехин А.М., Маметьев Л.Е, Хорешок А.А., Борисов А.Ю; патентообладатель Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. профессион. образования «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева» (КузГТУ). – № 2015135343/03 ; заявл. 20.08.2015 ; опубл. 27.03.2016, Бюл. № 9. – 2 с.