

ЗАЩИТА ШАХТНОЙ ПОДЪЕМНОЙ УСТАНОВКИ ОТ ОБРЫВА КАНАТА ЭКСТРЕННЫМИ НАГРУЗКАМИ

В. Ф. КУЦЕПАЛЕНКО

(Представлено научным семинаром кафедры горной механики)

Шахтные подъемные канаты в период эксплуатации нередко испытывают экстренные нагрузки. Эти нагрузки вызывают повреждения и обрывы канатов, перебои в работе подъемной установки и несчастные случаи с людьми.

Длительное наблюдение за работой подъемных канатов в Кузбассе показывает, что экстренные нагрузки могут быть как безопасными, так и опасными для каната. Безопасные нагрузки возникают при ударах о подъемный сосуд падающих тел. Сила удара в этих случаях прилагается на некотором расстоянии от оси каната. Момент силы вызывает поворачивание и заклинивание сосуда в проводниках. Следовательно, удар воспринимается, главным образом, сосудом и проводниками, канат же не получает опасной нагрузки.

Опасные нагрузки возникают: 1) при застревании опускающегося сосуда в разгрузочных кривых или в стволе шахты с последующим падением его на канат; 2) в случае заклинивания поднимающегося сосуда в проводниках или ударов об элементы крепления и армировки ствола.

В обоих случаях на канат действует ударная (экстренная) нагрузка, стремящаяся разорвать его. Для разрыва необходимо, чтобы работа растягивающих сил была больше внутренней потенциальной энергии каната.

Найдем условие разрыва каната на примере работы вертикальной подъемной установки с приводом от асинхронного двигателя. На рис. 1 положения сосудов I и II соответствуют появлению экстренной нагрузки в опускающейся и поднимающейся ветвях каната.

Экстренная нагрузка в опускающейся ветви каната возникает при падении застрявшего сосуда с высоты, равной длине образовавшегося напуска. Удар на канат в этом случае будет наиболее опасным при застревании сосуда в начале пути, когда длина каната минимальная. Условие обрыва каната

$$\frac{m_c v_{нк}^2 - v_{вк}^2}{2} \geq A, \quad (1)$$

где m_c — масса застрявшего сосуда;

$v_{нк}, v_{вк}$ — скорости на нижнем и верхнем концах каната в момент ударного приложения нагрузки;

A — потенциальная энергия, равная работе разрыва каната.

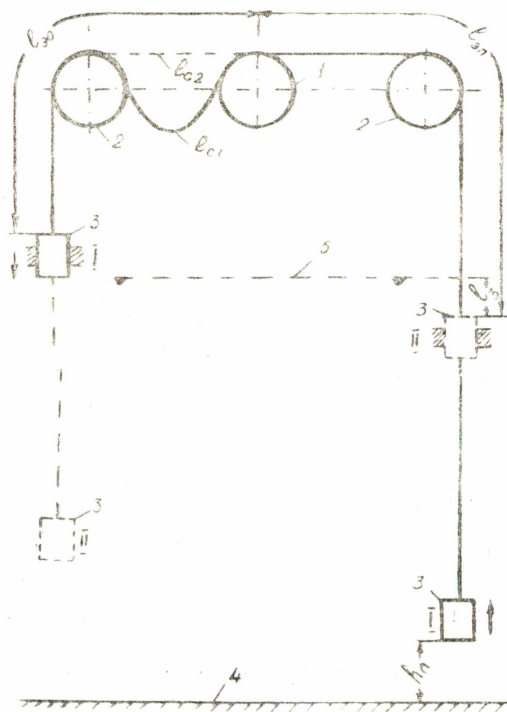


Рис. 1. Принципиальная механическая схема подъемной установки: 1 — органы навивки; 2 — направляющие шкивы; $l_{с0}, l_{сн}$ — длина каната, воспринимающая экстренную нагрузку со стороны опускающегося и поднимающегося сосудов.

жущейся массы подъемной системы и усилия двигателя, возрастающего до критического значения (точка 2 на рис. 2). Условие обрыва каната

$$A_1 + A_2 + \frac{v^2 \Sigma m_s}{2} \geq A, \quad (3)$$

где A_1 — работа статического растяжения каната концевой нагрузкой;

A_2 — работа растяжения каната усилием двигателя;

v — скорость на окружности органа навивки в рассматриваемый момент действия экстренной нагрузки;

Σm_s — движущаяся масса, участвующая в создании экстренной нагрузки, равная суммарной приведенной массе системы за вычетом массы заклиненного концевой груза.

После замены в формуле (1) массы сосуда его весом и скоростей — ускорениями и пройденными путями, получим

$$h_n \geq \frac{A}{Q_c} + h, \quad (2)$$

где h_n — длина напуска каната;

Q_c — вес застрявшего сосуда;

h — путь, на котором падающий сосуд достигает скорости движения подъемной системы.

Экстренная нагрузка в поднимающейся ветви каната будет максимальной при резкой остановке сосуда в конце периода равномерного движения, так как в этот момент скорость движения максимальная, а длина каната небольшая. До остановки сосуда подъемный двигатель работает на естественной характеристике в точке 1 (рис. 2), развивая усилие, соответствующее статической нагрузке каната. При заклинивании сосуда канат дополнительно нагружается за счет энергии дви-

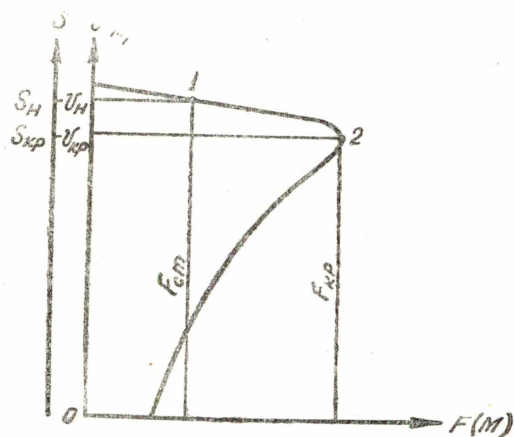


Рис. 2. Естественная механическая характеристика асинхронного подъемного двигателя.

Наиболее опасное состояние каната будет при работе двигателя в точке 1 или 2 (рис. 2).

Для практического использования выражений (2) и (3) необходимо знать зависимость деформации растяжения каната от нагрузки. Изучение этой зависимости проводилось нами в лаборатории Восточного научно-исследовательского института по безопасности горных работ (ВостНИИ) на канатах типа ТК конструкции $6 \times 19 + 1$ с диаметром 31 и 34 мм. Средние результаты испытания 20 образцов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Испытанные канаты		Относительная деформация растяжения при разрыве, %		
		общая	упругая	пластическая
Канаты новые	$d=31 \text{ мм}$	2,68	1,08	1,60
	$d=34 \text{ мм}$	2,70	1,20	1,50
Канаты, снятые с работы после обрыва 5% проволок на шаге свивки (срок службы 14—20 месяцев)	$d=31 \text{ мм}$	1,76	0,90	0,86
	$d=34 \text{ мм}$	1,80	0,99	0,81

На рис. 3 показана в осях нагрузка—относительная деформация диаграмма растяжения канатов диаметром 31 мм. Величина площади всей диаграммы выражает потенциальную энергию разрушения каната. Отметив на диаграмме точки 1 и 2, соответствующие нагрузкам каната при работе двигателя в одноименных точках своей характеристики и, проведя через данные точки ординаты, получим (рис. 3) площадки 0—1—3 и 0—2—4 для нового каната, 0—1'—3' и 0—2'—4' для каната, снятого с эксплуатации. Величина этих площадок дает работу A_1 и A_2 .

Работа растяжения каната за счет энергии движущейся массы системы определяется расчетом. Скорость движения масс, отнесенная к окружности навивки каната, в точке 1 характеристики двигателя равна номинальной, и в точке 2—критической величине.

Выразив критическую скорость через синхронную, а последнюю через номинальную скорость, получим

$$v_{кр} = \frac{v_n(1 - s_{кр})}{1 - s_n}, \quad (4)$$

где $v_{кр}$ — критическая скорость движения;
 v_n — номинальная скорость движения;

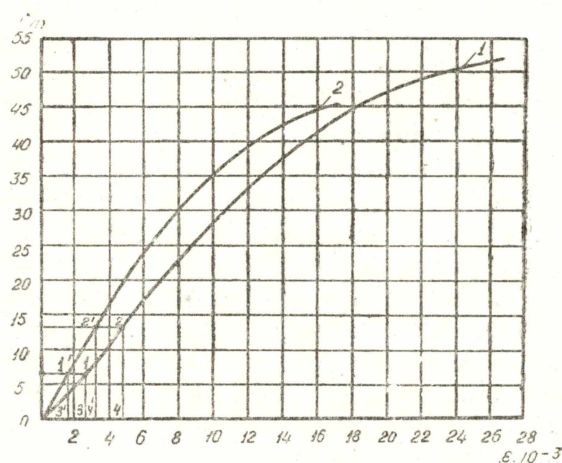


Рис. 3. Диаграмма испытания каната на разрыв: 1—канат новый (до навески); 2—канат, снятый с эксплуатации по признаку обрыва 5% проволок на шаге свивки (проработал 16,5 мес.).

$s_{кр}$ — критическое скольжение двигателя на естественной характеристике, равное 10—15 %;

s_n — номинальное скольжение двигателя.

Суммарная разрывная прочность всех проволок испытанного каната диаметром 31 мм равна 57086 кг. Согласно расчетам, этот канат может работать на грузовом подъеме, оборудованном машиной 2БМ—2×3×1,5 и скипами с полезной емкостью 4000 кг и мертвым весом 4100 кг. При высоте подъема 200 м запас прочности каната составляет 6,5.

Определив с помощью планиметра необходимые площадки на диаграмме растяжения каната и рассчитав другие величины, входящие в формулы (2), (3) и (4), получим: 1) для нового каната $A = 88100$ кгм, $h_n = 22,9$ м, работа разрывающих усилий в точке 1 характеристики двигателя равна 56680 кгм, в точке 2—50160 кгм;

2) для каната, снятого с эксплуатации, $A = 50070$ кгм, $h_n = 13,6$ м; в поднимающейся ветви энергия разрывающих усилий оказывается больше потенциальной энергии каната ¹⁾.

В глубоких шахтах для тех же условий появления экстренной нагрузки энергия, разрушающая канат, увеличивается за счет большей массивности и скорости движения подъемной системы, но в то же время увеличивается и потенциальная энергия благодаря более высокому запасу прочности и большей длины каната.

Из вышеизложенного следует.

1. Канат обрывается свободно падающим сосудом, если путь падения от верхней приемной площадки, обусловленный напуском каната, превышает, в зависимости от срока службы каната, 12—22 м.

2. С увеличением длины каната и скорости подъема безопасный путь падения сосуда увеличивается.

3. В глубокой шахте экстренные нагрузки, связанные с заклиниванием поднимающегося сосуда, могут вызвать обрыв каната; в неглубокой шахте обрыв может произойти только в последний период службы каната.

Для повышения надежности эксплуатации подъемных канатов необходимо систематически устранять причины появления экстренных нагрузок и создавать технические средства, позволяющие предотвращать условия, при которых обрываются канаты.

С целью предупреждения экстренных нагрузок применяется сигнализация о напуске каната. Однако эта сигнализация реагирует на появление напуска только в пределах струны каната, не предупреждает о возможном обрыве поднимающейся ветви каната и непригодна для подъемных установок с автоматическим управлением.

В данной работе предлагается более совершенная и надежная защита от обрыва каната (рис. 4). При построении защиты учитывалось, что действию опасной нагрузки предшествует остановка опускающегося сосуда или понижение скорости поднимающегося сосуда. В результате этого наступает чрезмерное или неожиданное замедление, пониженное ускорение, перегружается подъемный двигатель и увеличивается потребляемый им из сети ток.

Защита контролирует работу подъема по перегрузке двигателя и подает импульс на предохранительное торможение подъемной машины. Для общей защиты обеих ветвей каната устанавливается оп-

¹⁾ Потенциальная энергия каната определялась для длины 100 м, близкой к действительному значению ее при падении опускающегося сосуда из разгрузочных кривых или остановке сосуда, поднимавшегося со скоростью 5—6 м/сек., в начале пути замедления.

ределенная контролируемая перегрузка. Учитывая динамику подъема, величина этой перегрузки не будет одинаковой для разных периодов движения подъемной системы. Защита предусматривает контроль движения при трогании сосудов с места, в периоды ускорения, равномерного хода, замедления и осуществляется быстродействующими токовыми реле.

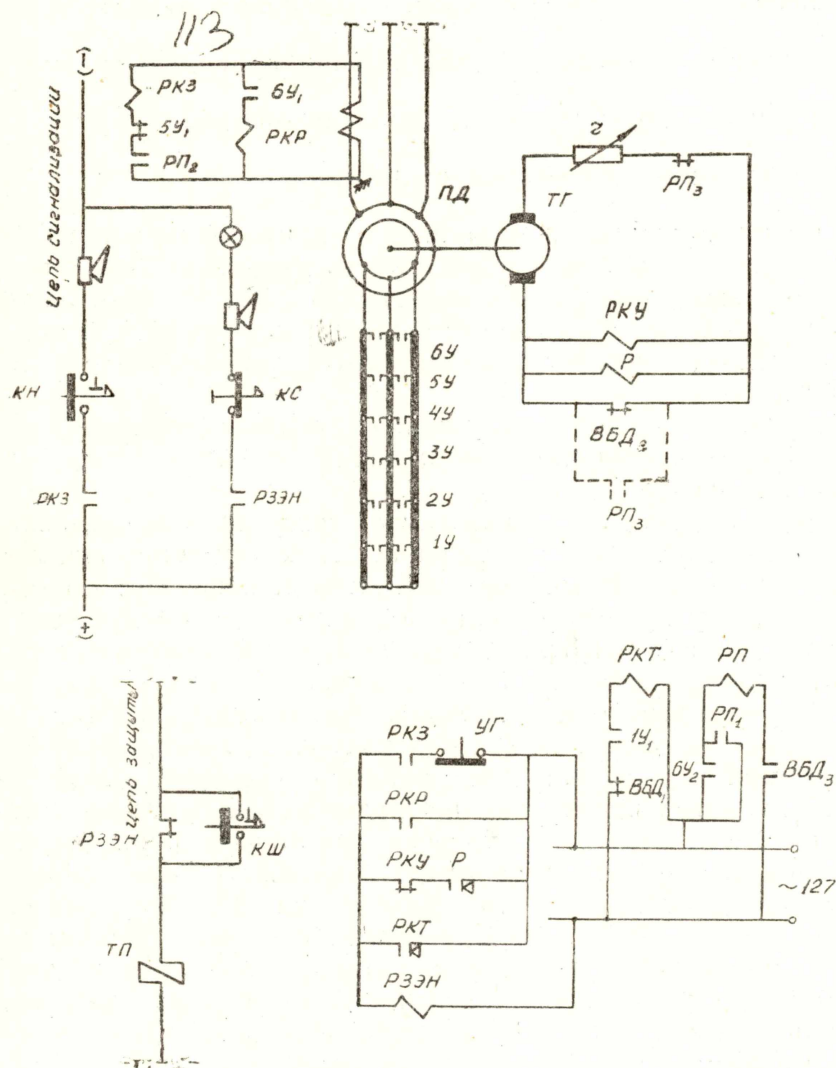


Рис. 4. Принципиальная схема защиты от обрыва подъемного каната экстренными нагрузками: ПД—подъемный двигатель; ТГ—тахогенератор; ВБД₁, ВБД₂, ВБД₃—контакты индуктивного выключателя; ТП—контактор предохранительного тормоза; КС—кнопка сброса сигнала.

С целью исключения ложного действия защиты и предотвращения опасных экстренных нагрузок контролируемая перегрузка двигателя должна быть больше обычных перегрузок, обусловленных понижением напряжения на зажимах двигателя, превышением нормального веса груза и др., но меньше перегрузки двигателя при застревании опускающегося сосуда.

Допускаемое понижение напряжения на зажимах двигателя найдем из выражения

$$\gamma_n \left(\frac{U_n - u}{U_n} \right)^2 \geq \gamma_d$$

При равенстве левой и правой части в выражении (5) имеем

$$u = 100 \left(1 - \sqrt{\frac{\gamma_0}{\gamma_H}} \right), \quad (6)$$

где γ_H — номинальная перегрузочная способность двигателя;

U_H — величина нормального напряжения двигателя, равная 100%;

u — величина допускаемого понижения напряжения, %;

γ_0 — допускаемая перегрузка двигателя.

При проектировании асинхронного привода шахтного подъема максимальная перегрузочная способность двигателя принимается до 2,4, а минимальная допускаемая перегрузка — 1,6. В этом случае максимально допустимое падение напряжения равно 18% и ток двигателя, нагруженного нормальным моментом, увеличивается не более, чем на 18%.

Перегрузка вследствие нарушения весовой дозировки сосудов, как показывают контрольные взвешивания, не превосходит 25% веса нормального груза.

Перегрузка двигателя, вызываемая застреванием опускающегося сосуда, соответствует весу последнего. Поэтому при использовании стандартных сосудов повышение статической нагрузки, по сравнению с нормальной, в угольных шахтах происходит в следующих пределах: для скипов в 1,4—1,8 раза, для клетей обыкновенных в 2—3 раза, для клетей опрокидных в 3,7—5,3 раза.

Используя данные о перегрузках подъемного двигателя и уравнение динамики подъема, можно установить конкретную величину контролируемой перегрузки для каждого периода цикла подъема. Соответственно этой перегрузке выбирается ток уставки реле. Согласно нашим подсчетам, ток уставки в период равномерного хода и двигательного замедления следует принимать выше нормального рабочего тока двигателя в эти периоды на 40—80% на скиповых подъемах и на 80—100% — на клетевых. В период замедления, выполняемого нормально в режиме свободного выбега или динамического торможения, ток уставки выбирается по току двигателя, соответствующему нагрузке в 1,4 веса нормального груза сосуда на скиповых подъемах, и в 1,8 — на клетевых.

Защита от обрыва каната разработана применительно к подъемной установке, оборудованной асинхронным приводом с контакторным управлением. Контакторы имеют главные контакты 1У...6У в цепи ротора двигателя, из которых первый, пятый и шестой (последний) контакторы снабжены, кроме того, блок-контактами 1У₁, 5У₁, 6У₁, 6У₂, включенными в цепь контрольных аппаратов. Блок-контакты (рис. 4) показаны в положении, когда контакторы отключены.

Движение сосудов в период равномерного хода и замедления контролируется реле РКР, РКЗ. Оба реле включаются в цепь статора двигателя через общий трансформатор тока.

В период ускорения перегрузка двигателя будет вызывать не увеличение тока, а уменьшение ускорения, благодаря чему скорость движения будет меньше нормальной. Контроль движения в этот период осуществляется реле минимального тока РКУ, которое включается в цепь тахогенератора. В случае появления опасности обрыва каната ток тахогенератора уменьшится пропорционально величине

перегрузки двигателя. Выбор тока уставки реле производится по данным опыта: в период ускорения измеряется ток тахогенератора при нормальной нагрузке двигателя и при перегрузке, создаваемой путем искусственной задержки опускающегося сосуда в его верхнем положении. Ток уставки равен

$$I_y = I_{2н} - (I_{2н} - I_{2э}) \frac{\kappa_0}{\kappa_{\phi}}, \quad (7)$$

где $I_{2н}$ — ток тахогенератора в период пуска при нормальной нагрузке двигателя;

$I_{2э}$ — ток тахогенератора при экстренной нагрузке;

κ_0 — коэффициент допускаемой статической перегрузки двигателя;

κ_{ϕ} — коэффициент фактической статической перегрузки при застывании опускающегося сосуда.

С помощью регулируемого сопротивления r ток $I_{2н}$ поддерживается постоянным по величине. Реле $РКУ$ подает импульс на предохранительное торможение при величине тока от нуля до тока уставки. При отсутствии тока (после окончания пуска двигателя и в период паузы) предохранительное торможение не должно происходить. Это достигается с помощью реле P , которое в обесточенном состоянии размыкает свой контакт и не позволяет сработать реле защиты $РЗЭН$. Контакт реле P замыкается при минимально возможном токе тахогенератора.

В схеме защиты применен индуктивный выключатель типа $ВБД$ (на рисунке не показан), который устанавливается у верхней приемной площадки. Место установки должно находиться в зоне влияния разгружающегося сосуда и обеспечивать возможность контроля за движением этого сосуда вниз на начальном участке пути. На схеме контакты $ВБД$ показаны в положении, когда сосуда находятся у приемных площадок.

При включении подъемного двигателя блок-контакт $1У_1$ замкнет цепь реле $РКТ$. Если верхний сосуд опускается нормально, то цепь этого реле разорвется контактом $ВБД_1$, в случае же задержки движения сосуда реле через определенное время сработает. Выдержка времени реле $РКТ$ выбирается из расчета нормального прохождения сосудом пути, на котором он оказывает свое влияние на выключатель $ВБД$.

В период трогания сосуда реле $РКУ$ и P шунтируются контактом $ВБД_2$. В последующем этот контакт размыкается и замыкается контактом $ВБД_3$, реле $РКУ$ включается в цепь тахогенератора и контролирует движение сосудов в период пуска, а реле P замыкает свой контакт.

После включения контактора $5У$ его блок-контакт в цепи $РКЗ$ размыкается. Затем включается последний контактор $6У$ и начинается период равномерного хода. Блок-контакты $6У_1$ и $6У_2$ замкнутся: первый включит реле $РКР$, осуществляющее контроль движения сосудов, второй — промежуточное реле $РП$, которое контактом $РП_3$ разорвет цепь тахогенератора и замкнет контакт $РП_2$ в цепи $РКЗ$.

По окончании периода равномерного хода контакторы ускорения отключаются, блок-контакты $6У_1$ и $6У_2$ размыкаются, а контакт $5У_1$ замыкается. Последний включает реле $РКЗ$, контролирующее движение сосудов в период замедления. Блок-контакт $6У_2$ в цепи $РП$ шунтируется собственным контактом этого реле.

Выключатель *ВБД* в конце цикла подъема приходит в начальное положение. Контакт *ВБД₃* выключает реле *РП*, благодаря чему реле *РКЗ* выпадает из системы контроля до начала периода замедления в следующем цикле.

Если тахогенератор наряду с указанным назначением используется и для других целей (электрический контроль максимальной скорости и др.), то в его цепь включаются обмотки соответствующих приборов, а контакт *РП₃* переносится в цепь, показанную на рис. 4 пунктиром, и служит для шунтирования реле *РКУ* в периоды равномерного и замедленного движения.

Как известно, остановка сосудов в конце подъема происходит одновременно: нижний сосуд садится на опору, когда верхний еще продолжает движение. Вследствие этого создаются условия, аналогичные застреванию опускающегося сосуда, и может произойти предохранительное торможение подъемной машины. Кроме того, появившийся напуск над нижним сосудом вызывает разрушение каната.

Для контроля за напуском каната и исключения ложного действия защиты в схему введен контакт *УГ*, который устанавливается на указателе глубины и переключается гайкой ходового винта. Контакт *УГ* размыкается, когда поднимающаяся гайка находится от верхнего деления шкалы указателя глубины на расстоянии, соответствующем 2—5 м пути движения сосуда. Перемещаясь вниз, гайка замыкает контакт *УГ*.

Таким образом, благодаря введению контакта *УГ*, исключается влияние напуска каната на предохранительное торможение, но реле *РКЗ* по-прежнему сработает и замкнет контакт в цепи сигнализации. Наличие напуска контролируется подачей сигнала при нажатии вручную на кнопку *КН*. Величина напуска будет равна длине каната, навитого на барабан машины за время от момента подачи сигнала до остановки сосуда у верхней приемной площадки. При величине напуска свыше 150—200 мм необходимо устранять его с помощью механизма перестановки барабанов подъемной машины.

В схеме защиты все реле, контролирующее движение сосудов, при срабатывании замыкают свои контакты в цепи реле защиты *РЗЭН*, а последнее разрывает общую цепь защиты подъемной установки. Контакт *РЗЭН* в цепи защиты при подъеме особо тяжелых грузов может шунтироваться кнопкой *КШ*. При аварийном выключении подъемной установки в случае действия защиты от обрыва каната должен подаваться особый сигнал.

Рассмотренная схема довольно проста, монтируется из стандартных аппаратов и применима для подъемных установок с любой системой привода. Эта схема осуществляет непрерывный автоматический контроль за движением подъемных сосудов и позволяет устранять появление опасных экстренных нагрузок.

ЗАМЕЧЕННЫЕ ОПЕЧАТКИ

Страница	Строка	Напечатано	Следует читать
32	9 стр.	ра оты	работы
65	21 стр.	застрев нии	застревании
65	3 стр.	$\frac{m_c (v_{нк}^2 - v_{вк}^2)}{2} \geq A$	$\frac{m_c (v_{нк}^2 - v_{вк}^2)}{2} \geq A$