

Куцеполенко А. В.

**УРАВНОВЕШИВАНИЕ СИЛ ТЯЖЕСТИ РАБОЧИХ ОРГАНОВ  
ЦЕНТРОБЕЖНЫХ ОГРАНИЧИТЕЛЕЙ СКОРОСТИ ЛИФТОВ***Отраслевая лаборатория научно-технического центра  
ОАО «Могилевлифтмаши», Могилев, Беларусь*

*Статья посвящена особенностям расчета центробежных ограничителей скорости, с горизонтальной осью вращения устройства, контролирующего превышение скорости. Определено, что в случае встречного расположения их рабочих органов, для обеспечения нейтрализации влияния сил тяжести действующих на эти органы, необходимо соблюдать определенное условие по расположению их центров масс. Даны рекомендации конструкторам по проектированию ограничителей скорости рассмотренного типа.*

**Введение.** До недавнего времени в приводах лифтов все разновидности конструкций ограничителей скорости двухстороннего действия были двух типов: центробежные ограничители с вертикальной осью вращения устройства, контролирующего превышение скорости (УКПС) [1, с. 170–173]; маятниковые (инерционные) ограничители [1, с. 167–170]. Шкив ограничителя располагается в плоскости перемещения кабины, поэтому при вертикальной оси УКПС требуется механическая связь между этим устройством и шкивом, что удорожает конструкцию и увеличивает ее габариты.

Центробежные ограничители с горизонтальной осью вращения [1, с. 162, 164–165] обладают простой и технологичной конструкцией, долгое время они были только одно-стороннего действия. Изготовление основных деталей маятникового ограничителя, обеспечивающих его функционирование, требует большого количества механической обработки [2]. Вдобавок он является дополнительным источником шума – маятник и удерживающая его пружина совершают колебательные движения, а ролик, закрепленный на маятнике, обкатывается по фасонному кулачку.

В последнее время ведущими производителями лифтового оборудования разработано несколько вариантов двухсторонних центробежных ограничителей с горизонтальной осью УКПС [3]. Ограничитель Vega фирмы «Dynatech» [4] имеет встречное направление рабочих органов [5].

Отсутствие высокотехнологичных центробежных ограничителей двухстороннего действия отечественного производства делает актуальной разработку таких импортозамещающих конструкций.

**Анализ конструкций УКПС с горизонтальной осью.** Проанализировав конструкцию ограничителя Vega («Dynatech») [4–5], выбранную в качестве прототипа, отметим, что встречное расположение его рабочих органов потребовало усложнения механизма их синхронизации. По сравнению с синхронизирующей тягой одностороннего центробежного ограничителя с противоположно направленными рабочими органами, в прототипе рабочие органы 1 при помощи шатунов 2 соединены с шарнирно установленным на шкиве 6 коромыслом 3 (рис. 1).

Описанное решение недостаточно технологично, так как ось крепления коромысла смещена от оси шкива, что требует для ее получения дополнительной технологической операции. Так как трудоемкость изготовления шкива составляет существенную часть от трудоемкости изготовления всего ограничителя скорости, поэтому важно, чтобы его конструкция была максимально технологичной.

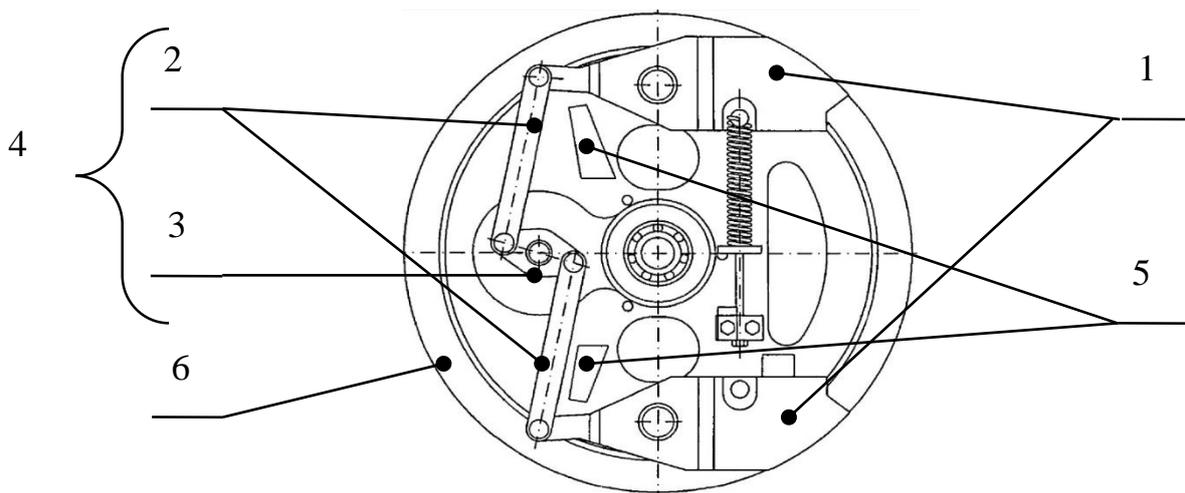


Рис. 1. Ограничитель скорости фирмы «Dynatech»:  
 1 – рабочие органы УКПС; 2 – шатуны; 3 – коромысло; 4 – механизм синхронизации;  
 5 – опоры; 6 – шкив

С целью усовершенствования такого конструктивного решения было предложено располагать коромысло коаксиально шкиву [6–7], что повышает технологичность и, соответственно, снижает себестоимость ограничителя скорости (рис. 2).

**Анализ влияния сил тяжести рабочих элементов на уравновешенность системы.** Для расчета ограничителя скорости, разработанного на ОАО «Могилевлифтмаш» (рис. 2), на скорость срабатывания было принято решение применить методику расчета центробежных ограничителей скорости с горизонтальной осью УКПС и противоположно направленными рабочими органами, связанными между собой синхронизирующей тягой. Данная методика представлена в работе Д. П. Волкова и Г. Г. Архангельского [1, с. 164–167]. Обратим внимание, что в этой методике массы синхронизирующей тяги и расположенной на ней пружины из-за их малой величины по сравнению с массой рабочих органов не учитывают.

При скоростях перемещения кабины лифта вплоть до номинальной скорости рабочие органы УКПС находятся в сложенном положении. Такое положение рабочих органов назовем – нерабочим положением. При предельной скорости (скорости срабатывания ограничителя) рабочие органы раскрываются до тех пор, пока не начнут контактировать с упорами, расположенными на корпусе ограничителя. Такое положение рабочих органов назовем – рабочим положением.

Будем силы тяжести, действующие на рабочие тела, находящиеся в нерабочем положении, а также крутящие моменты и плечи этих моментов, маркировать индексом 1. Соответственно, силы тяжести, действующие на рабочие тела, находящиеся в рабочем положении, а также крутящие моменты и плечи этих моментов, маркировать индексом 2. Моделирование в SiemensNX ограничителя с противоположно направленными рабочими органами УКПС показало, что при любом угловом положении шкива крутящие моменты, возникающие в результате действия на них сил тяжести, стремятся один из рабочих органов 2 сложить в нерабочее положение, а второй – раскрыть в рабочее.

На кинематической схеме этого механизма в нерабочем положении рабочих органов видно, что модули этих моментов сил тяжести равны при любом угловом положении УКПС (рис. 3).

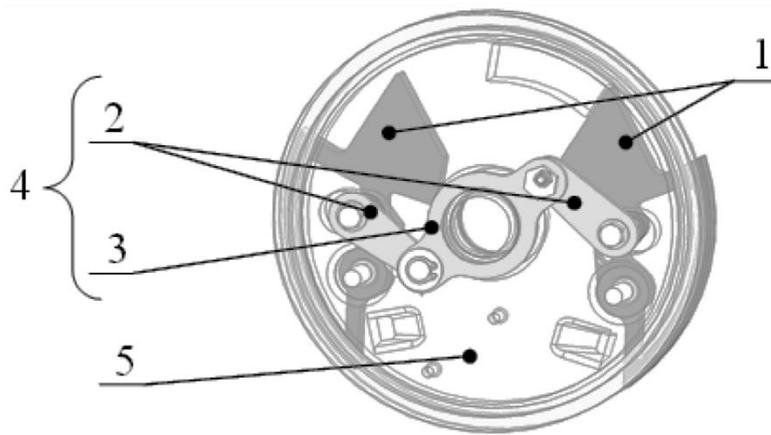


Рис. 2. Ограничитель скорости с соосным шкиву расположением коромысла, разработка ОАО «Могилевлифтмаш»:  
 1 – рабочие органы устройства, контролирующего превышение скорости; 2 – шатуны;  
 3 – коромысло; 4 – механизм синхронизации; 5 – шкив

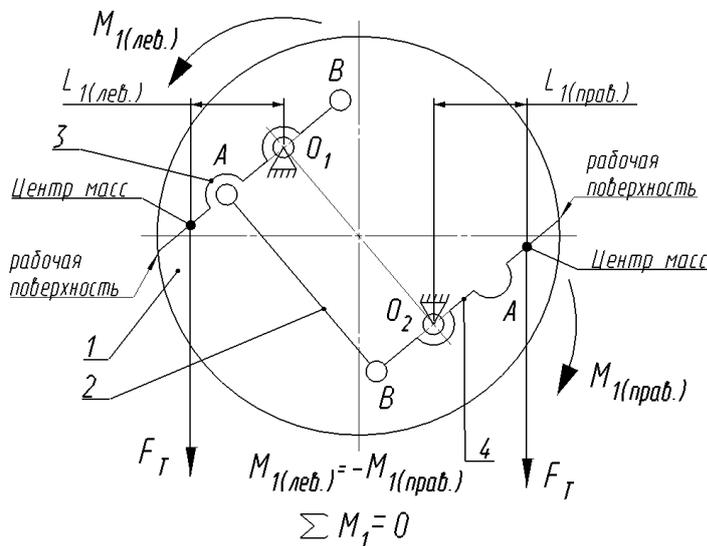


Рис. 3. Баланс сил тяжести противоположно направленных рабочих органов при их нерабочем положении (пружина не показана):  
 1 – шкив; 2 – синхронизирующая тяга; 3 – рабочий орган (левый); 4 – рабочий орган (правый);  
 $O_1, O_2$  – шарнир рабочего органа левого (правого);  $F_T$  – сила тяжести, действующая на рабочий орган;  $L_{1(лев.)}, L_{1(прав.)}$  – плечо силы тяжести, действующей на левый (правый) рабочий орган в их нерабочем положении соответственно;  $M_{1(лев.)}, M_{1(прав.)}$  – моменты силы тяжести, действующие на левый (правый) рабочий орган в их нерабочем положении соответственно;  $\sum M_1$  – суммарный момент сил тяжести, действующих на рабочие органы в их нерабочем положении

Запишем для УКПС, представленного на рис. 3, условие равновесия рабочих органов под действием сил тяжести в их нерабочем положении:

$$\sum M_1 = M_{1(лев.)} + M_{1(прав.)} = F_T \cdot L_{1(лев.)} + F_T \cdot L_{1(прав.)} = 0.$$

Определим отношение расстояния от оси шарнирной установки одного рабочего органа до места крепления на нем синхронизирующей тяги к соответствующему расстоянию на втором рабочем органе – передаточным отношением УКПС (рис. 3):

$$\frac{O_1A}{O_2B} = \frac{O_1B}{O_2A} = k,$$

где  $k$  – передаточное отношение данного УКПС.

Так как передаточное отношение данного механизма равно единице, то силы тяжести, действующие на рабочие органы, остаются уравновешенными и при раскрытии рабочих органов в их рабочее положение (рис. 4).

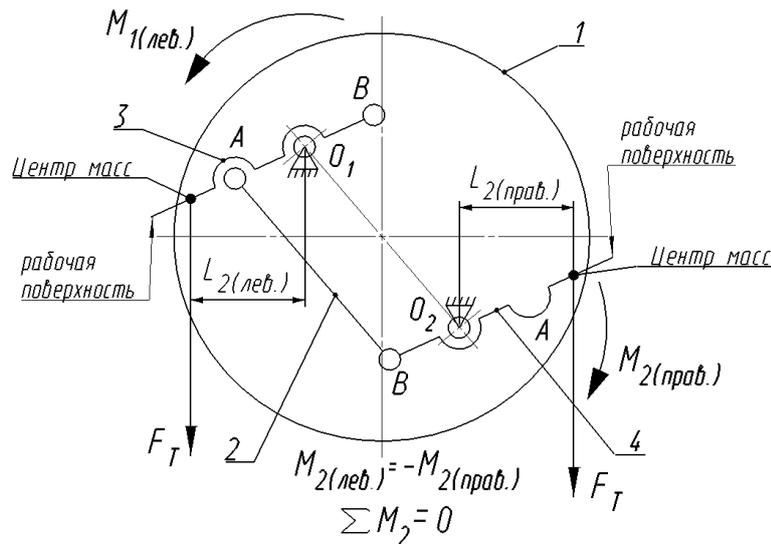


Рис. 4. Баланс сил тяжести при рабочем положении противоположно направленных рабочих органов (пружина не показана):

1 – шкив; 2 – синхронизирующая тяга; 3, 4 – рабочий орган левый(правый);  $O_1, O_2$  – шарнир рабочего органа левого (правого);  $F_T$  – сила тяжести, действующая на рабочий орган;  $L_{2(лев.)}, L_{2(прав.)}$  – плечо силы тяжести, действующей на левый (правый) рабочий орган, в их рабочем положении соответственно;  $M_{2(лев.)}, M_{2(прав.)}$  – моменты силы тяжести, действующие на левый (правый) рабочий орган, в их рабочем положении соответственно;  $\sum M_2$  – суммарный момент сил тяжести, действующих на рабочие органы в их рабочем положении

Итак, в ограничителе скорости с противоположным направлением рабочих органов УКПС, благодаря наличию синхронизирующей тяги, силы тяжести, действующие на них, уравновешиваются при любом угловом положении УКПС и при любом положении рабочих органов – и рабочем, и нерабочем. Поэтому, при составлении уравнений равновесия рабочих органов, при номинальной и предельной скоростях, будут учитываться только возникающие центробежные силы и сила сопротивления пружины. Составление и решение этих уравнений, позволяющее рассчитать параметры пружины для обеспечения работы ограничителя на конкретной номинальной скорости и скорости его срабатывания, подробно представлено в работе Д. П. Волкова и Г. Г. Архангельского [1, с. 164–167].

Несмотря на то, что в отличие от рассмотренной выше конструкции, для синхронизации встречно направленных рабочих органов используется не одна тяга, а коромысло и два шатуна, на этапе предварительных расчетов мы также не будем учитывать

их массы. Тем более, что в отличие от прототипа [4–5] в предлагаемом ограничителе коромысло установлено на оси шкива, а шатуны – симметрично шкиву.

Моделирование в SiemensNX показало, что в такой конструкции уравнивание действующих на рабочие органы сил тяжести обеспечивается не всегда, то есть в зависимости от расположения центров масс рабочих органов степень их уравновешенности может зависеть от угла поворота УКПС. Покажем это на кинематической схеме (рис. 5).

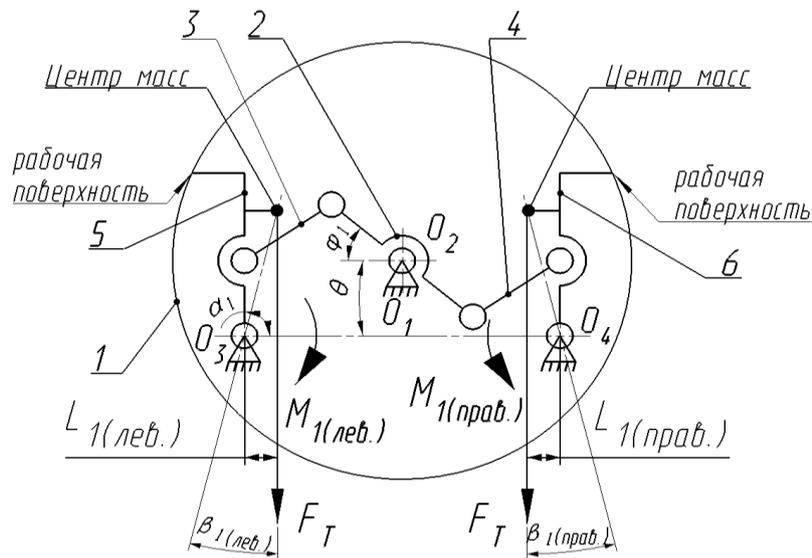


Рис. 5. Неуравновешенность встречно-расположенных рабочих органов в их нерабочем положении при произвольном положении шкива:

$1$  – шкив;  $2$  – коромысло;  $3, 4$  – шатуны;  $5, 6$  – левый (правый) рабочий орган;  $O_1, O_2$  – шарнир шкива и коромысла, соответственно;  $O_3, O_4$  – шарнир рабочего органа левого (правого);  $F_T$  – сила тяжести;  $L_{1(лев.)}, L_{1(прав.)}$  – плечо силы тяжести, действующей на левый (правый) рабочий орган в их нерабочем положении соответственно;

$M_{1(лев.)}, M_{1(прав.)}$  – моменты сил тяжести, действующие на левый (правый) рабочий орган, соответственно, в их нерабочем положении;  $\sum M_1$  – суммарный момент сил тяжести

действующих, на рабочие органы в их нерабочем положении;  $\varphi_1, \alpha_1$  – угол поворота коромысла и рабочего органа, соответственно, при нерабочем положении рабочих органов;  $\beta_{1(лев.)}, \beta_{1(прав.)}$  – угол отклонения центра масс левого (правого) рабочего органа от центра его шарнирного закрепления на шкиве, при их нерабочем положении;  $\theta$  – угол поворота УКПС

Зависимость уравновешенности сил тяжести, действующих на рабочие органы, от углового положения УКПС  $\theta$  будет приводить к тому, что на них будет воздействовать суммарный крутящий момент сил тяжести  $\sum M_1$ , значение которого будет меняться по величине и знаку. При вращении УКПС сила тяжести будет помогать, то центробежной силе раскрыть рабочие органы, то пружине удерживать их в нерабочем положении, что затруднит расчет ограничителя на конкретную скорость срабатывания.

Необходимо определить правило расположения центров масс рабочих органов, обеспечивающее уравнивание действующих на них сил тяжести при любом угловом положении УКПС  $\theta$ . Известно, что сила, действующая на шарнирно закрепленное тело, не создает крутящего момента в случае, если она проходит через точку его шарнира. Будем поворачивать УКПС до тех пор, когда сила тяжести, приложенная в центре

масс одного из рабочих органов, станет проходить через центр его вращения (рис. 6), то есть пока угол  $\beta_{1(лев.)}$  или  $\beta_{1(прав.)}$  не станет равен нулю.

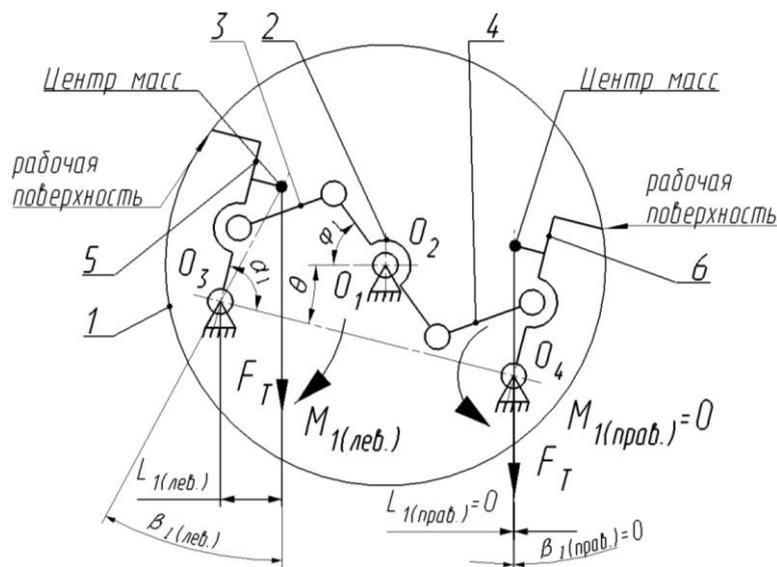


Рис. 6. Сила тяжести, приложенная к центру масс одного из рабочих органов, проходит через центр его вращения:

1 – шкив; 2 – коромысло; 3, 4 – шатуны; 5, 6 – левый (правый) рабочий орган;  $O_1, O_2, O_3, O_4$  – шарниры шкива, коромысла, рабочего органа левого и правого, соответственно;  $F_T$  – сила тяжести;  $L_{1(лев.)}, L_{1(прав.)}$  – плечо силы тяжести, действующей на левый (правый) рабочий орган в их нерабочем положении соответственно;  $M_{1(лев.)}, M_{1(прав.)}$  – моменты сил тяжести, действующие на левый (правый) рабочий орган, соответственно, в их нерабочем положении;  $\sum M_1$  – суммарный момент сил тяжести, действующих на рабочие органы в их нерабочем положении;  $\varphi_1, \alpha_1$  – угол поворота коромысла и рабочего органа, соответственно, при нерабочем положении рабочих органов;  $\beta_{1(лев.)}, \beta_{1(прав.)}$  – угол отклонения центра масс левого (правого) рабочего органа от центра его шарнирного закрепления, при их нерабочем положении;  $\theta$  – угол поворота УКПС

Центры масс рабочих органов должны быть расположены таким образом, чтобы существовало такое угловое положение УКПС, при котором одновременно каждая из сил тяжести, приложенная в центре масс соответствующего рабочего органа, проходила бы через точку его шарнирного закрепления (рис. 7). Тогда при любом повороте УКПС крутящие моменты сил тяжести будут или равны нулю, или противоположными по знаку и одинаковыми по величине (рис. 8, а).

Результаты моделирования в SiemensNX показали, что при повороте рабочих органов из нерабочего положения в рабочее, их предварительное уравновешенное состояние нарушается и на них начинает действовать суммарный момент сил тяжести  $\sum M_2$ , значение которого меняется по величине и по знаку при повороте шкива (рис. 8, б).

Смоделировали в SiemensNX рабочие органы с таким расположением их центров масс, что силы тяжести проходят через их оси вращения, когда рабочие органы находятся в рабочем положении, то есть, когда скорость перемещения кабины достигла предельной. В результате получили неуравновешенность рабочих органов при их нерабочем

(сложенном) положении, соответствующем скоростям перемещения кабины лифта вплоть до номинальной скорости включительно.

Итак, мы выяснили, что в ограничителе скорости со встречно расположенными рабочими органами, рабочие органы могут быть уравновешены при любом угловом положении УКПС только для какого-то одного состояния – или когда они находятся в нерабочем положении, или когда они раскрыты в их рабочее положение.

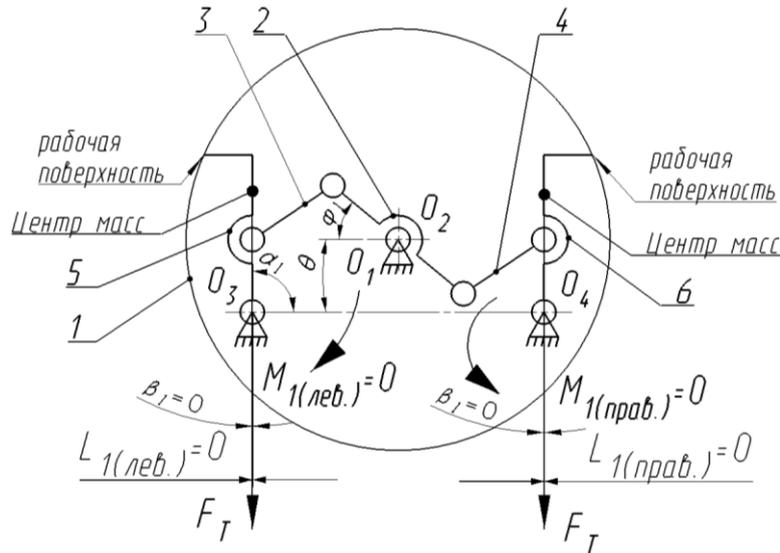


Рис. 7. Положение УКПС, когда одновременно каждая из сил тяжести, приложенная в центре масс соответствующего рабочего органа, проходит через точку его шарнирного закрепления:

1 – шкив; 2 – коромысло; 3, 4 – шатуны; 5, 6 – левый (правый) рабочий орган;  $O_1, O_2, O_3, O_4$  – шарниры шкива, коромысла, рабочего органа левого и правого, соответственно;

$F_T$  – сила тяжести;  $L_{1(лев.)}, L_{1(прав.)}$  – плечо силы тяжести, действующей на левый (правый) рабочий орган в их нерабочем положении соответственно;

$M_{1(лев.)}, M_{1(прав.)}$  – моменты сил тяжести, действующие на левый (правый) рабочий орган, соответственно, в их нерабочем положении;

$\sum M_1$  – суммарный момент сил тяжести, действующих на рабочие органы в их нерабочем положении;

$\varphi_1, \alpha_1$  – угол поворота коромысла и рабочего органа, соответственно, при нерабочем положении рабочих органов;

$\beta_{1(лев.)}, \beta_{1(прав.)}$  – угол отклонения центра масс левого (правого) рабочего органа от центра его шарнирного закрепления, при их нерабочем положении;

$\theta$  – угол поворота УКПС

Соответственно, при составлении уравнений моментов нельзя исключить влияние силы тяжести на рабочие органы сразу в обоих случаях – и при перемещении кабины с номинальной и с предельной скоростью. В связи с этим, при разработке ограничителя скорости перед конструктором встает задача определить для какого положения рабочих органов (рабочее или нерабочее) предпочтительнее обеспечивать их уравновешивание.

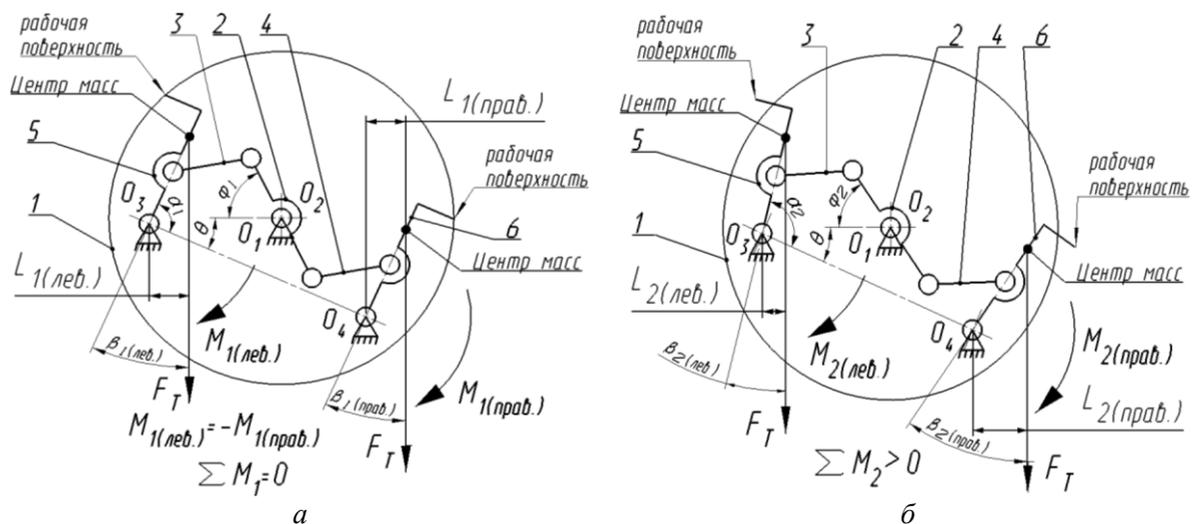


Рис. 8. Ограничитель с уравновешенными рабочими органами в их нерабочем положении при любом угловом положении УКПС и его разбалансировка при переходе рабочих органов в их рабочее положение:

*а* – нерабочее положение рабочих органов; *б* – рабочее положение рабочих органов; 1 – шкив; 2 – коромысло; 3, 4 – шатуны; 5, 6 – левый (правый) рабочий орган;  $O_1, O_2, O_3, O_4$  – шарниры шкива, коромысла, рабочего органа левого и правого, соответственно;  $F_T$  – сила тяжести;  $L_{1(лев.)}$ ,

$L_{1(прав.)}$  – плечо силы тяжести, действующей на левый (правый) рабочий орган в их нерабочем положении соответственно;  $L_{2(лев.)}$ ,  $L_{2(прав.)}$  – плечо силы тяжести, действующей на левый (правый) рабочий орган в их рабочем положении соответственно;

$M_{1(лев.)}$ ,  $M_{1(прав.)}$  – моменты сил тяжести, действующие на левый (правый) рабочий орган, соответственно, в их нерабочем положении;

$M_{2(лев.)}$ ,  $M_{2(прав.)}$  – моменты сил тяжести, действующие на левый (правый) рабочий орган, соответственно, в их рабочем положении;

$\sum M_1$ ,  $\sum M_2$  – суммарный момент сил тяжести, действующих на рабочие органы в их нерабочем (рабочем) положении;

$\varphi_1, \alpha_1$  – угол поворота коромысла и рабочего органа, соответственно, при нерабочем положении рабочих органов;

$\varphi_2, \alpha_2$  – угол поворота коромысла и рабочего органа, соответственно, при рабочем положении рабочих органов;

$\beta_{1(лев.)}$ ,  $\beta_{1(прав.)}$  – угол отклонения центра масс левого (правого) рабочего органа от центра его шарнирного закрепления, при их нерабочем положении;

$\beta_{2(лев.)}$ ,  $\beta_{2(прав.)}$  – угол отклонения центра масс левого (правого) рабочего органа от центра его шарнирного закрепления, при их рабочем положении;  $\theta$  – угол поворота УКПС

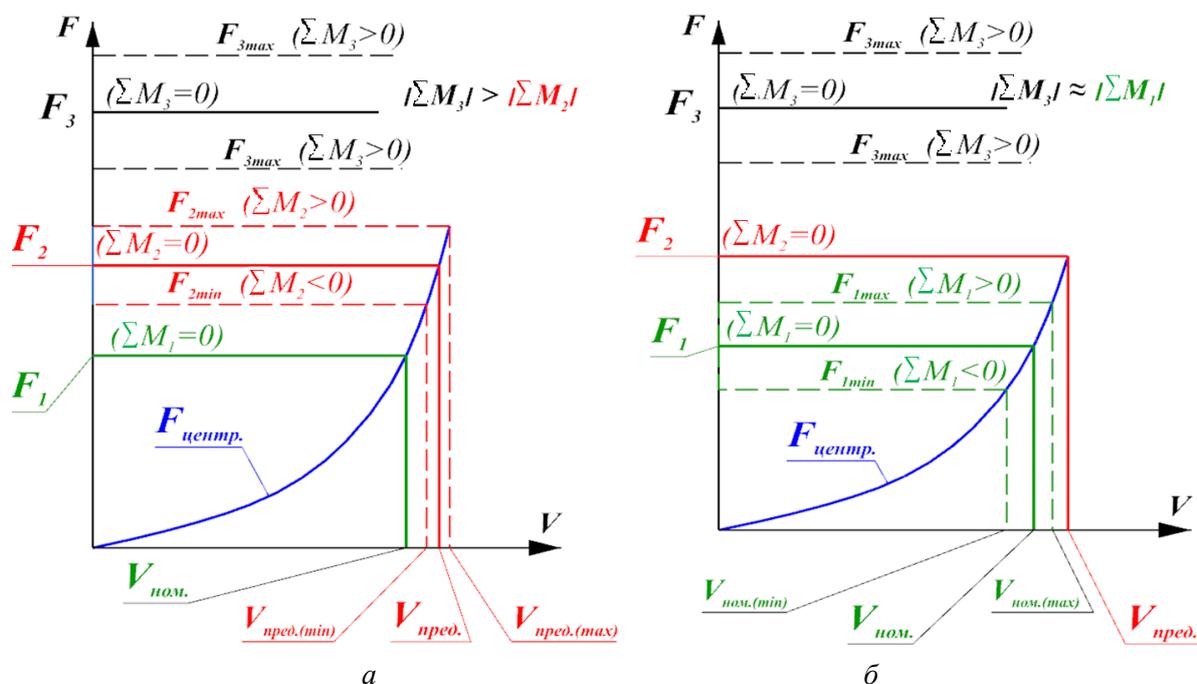


Рис. 9. Влияние сил тяжести на величину диапазона предельных скоростей (скоростей срабатывания ограничителя скорости):  
 а – рабочие органы уравновешены в нерабочем положении; б – рабочие органы уравновешены в рабочем положении;  $F_{\text{центр.}}$  – суммарная центробежная сила, действующая на рабочие органы;  $F_1, F_2, F_3$  – усилия пружины при предварительной, рабочей и максимальной деформациях;  $V_{\text{ном.}}, V_{\text{пред.}}$  – скорость лифта номинальная и предельная;  $V_{\text{ном.}(\text{min})}, V_{\text{ном.}(\text{max})}$  – минимальное и максимальное значение номинальной скорости;  $V_{\text{пред.}(\text{min})}, V_{\text{пред.}(\text{max})}$  – минимальное и максимальное значение предельной скорости;  $\sum M_1, \sum M_2$  – суммарный момент сил тяжести, действующих на рабочие органы, в их нерабочем (рабочем) положении;  $\sum M_3$  – суммарный момент сил тяжести, действующих на рабочие органы, находящиеся в максимально раскрытом положении, при затягивании их на упоры корпуса ограничителя

### Выводы.

Анализируя влияние сил тяжести на работу ограничителя скорости, у которого рабочие органы УКПС уравновешены в их нерабочем положении (рис. 9, а), отметим, что:

– при номинальной скорости перемещения лифта будут отсутствовать колебания рабочих органов, что исключит возможность ложных срабатываний и снизит шум при нормальной работе ограничителя скорости;

– неуравновешенность рабочих органов, возникающая при их раскрытии, приведет к влиянию углового положения шкива на значение скорости срабатывания ограничителя. Необходимо, чтобы разброс предельной скорости был в пределах допуска, заданного ГОСТ 33984.1–2016;

– при раскрытии рабочих органов в их предельной положение, из-за их затягивания на упоры корпуса ограничителя скорости, степень их неуравновешенности дополнительно возрастает. Поэтому, для обеспечения возврата рабочих органов в их исходное нерабочее положение после снятия кабины лифта с ловителей, необходимо подбирать пружину с  $F_3$ , превышающей максимальное значение  $|\sum M_3|$ .

Отсутствие воздействия сил тяжести на рабочие органы УКПС при предельной скорости перемещения кабины лифта (рис. 9, б) обеспечит высокую точность срабатывания ограничителя скорости. Это позволит настроить ограничитель скорости на минимальное значение из допустимого ГОСТ 33984.1–2016 диапазона скорости срабатывания. Что позволит уменьшить износ направляющих, снизить нагрузки, возникающие в ловителе, ограничителе скорости и каркасе кабины, а также повысить уровень комфорта пассажиров при посадке кабины лифта на ловители.

Однако, неуравновешенность рабочих органов при их нерабочем положении вызовет их колебания при перемещении кабины лифта с номинальной скоростью, что может приводить к ложным срабатываниям ограничителя и создавать дополнительные шумы, которые можно снижать введением в конструкцию ограничителя демпфирующих элементов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Лифты: учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальностям: «Механизация и автоматизация строительства» и «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование» / Г. Г. Архангельский [и др.] ; под. общ. ред. Д. П. Волкова. – Москва: Изд-во Ассоц. строит.вузов, 2010. – 576 с. – ISBN 978-5-93093-769-5.

2. Выбор конструкции детали как определяющий фактор технологичности и себестоимости ее изготовления на примере деталей ограничителя скорости лифта, получаемых лазерной резкой вместо их отливки с последующей механической обработкой / Т. В. Лапцевич, А. В. Куцепенко, М. Э. Подымако, М. В. Соболев // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2022. – № 3 (76). – С. 52–59. – DOI 10.53078/20778481\_2022\_3\_52.

3. Куцепенко, А. В. Современные направления развития конструкций центробежных ограничителей скорости лифтов / А. В. Куцепенко, М. Э. Подымако, Е. С. Лустенкова // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: Материалы Международной научно-технической конференции, Могилев, 20–21 апреля 2023 года. – Могилев: Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования «Белорусско-Российский университет», 2023. – С. 86–87.

4. Dynatech. OVERSPEED GOVERNOR. INSTRUCTIONS FOR USE AND MAINTENANCE. Dynatech. Vega. [Electronic resource]: INSTRUCTIONS: VEGA Cod: DYN 35.1.15. – Publ. date 14.12.2022 – Mode of access: <https://www.dynatech-elevation.com/documentos/articulos/Reducido%20VEGA-ING.pdf>. – Дата доступа: 07.04.2023.

5. Speed limiting system for lifting devices [Electronic resource]: pat. US 2007007499 (A1) / F. A. Mateo Mur. – Publ. date 11.01.2007. – Mode of access: [https://ru.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?CC=US&NR=2007007499A1&KC=A1&FT=D&ND=3&date=20070111&DB=&locale=ru\\_RU](https://ru.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?CC=US&NR=2007007499A1&KC=A1&FT=D&ND=3&date=20070111&DB=&locale=ru_RU). – Date of access: 20.02.2023.

6. Двухсторонний ограничитель скорости лифта: полез. модель BY 12899 / А. В. Куцепенко, М. Э. Подымако, С. А. Дондик, Г. С. Сеницын, К. Н. Князев. – Опубл. 30.06.2022.

7. Разработка центробежного двухстороннего ограничителя скорости лифта и оптимизация его выходных характеристик на основании анализа влияния сил трения в звеньях механизма / А. В. Куцепенко, М. Э. Подымако, К. Н. Князев [и др.] // Актуальные вопросы машиноведения. – 2021. – Т. 10. – С. 107–115.

*Поступила 02.11.2023*