

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ВКЛЮЧЕНИЯ МЕХАНИЗМОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ГРУЗОПОДЪЁМНОГО КРАНА

Ю.Е. Семёнов, канд. техн. наук, доцент
Тульский государственный университет
(Россия, г. Тула)

DOI:10.24412/2500-1000-2023-5-4-151-156

Аннотация. Рассмотрена методика, позволяющая определить продолжительность включения механизмов крана на этапе его эскизного проектирования. Методика позволяет учесть геометрические характеристики крана и рабочей площадки, на которой он установлен, а также скорость работы механизмов. Определение продолжительности включения возможно как при совмещённой работе механизмов, так и при раздельной. Учитывается изменение траектории движения груза при обходе препятствий.

Ключевые слова: продолжительность включения, крановые механизмы, проектирование крана, рабочий цикл крана, циклограмма работы механизмов.

Грузоподъёмная машина приводится в движение установленными на ней механизмами. Для кранов мостового типа это механизм подъёма, механизмы передвижения крана и грузовой тележки. Для кранов стрелового типа это механизмы подъёма, поворота, изменения вылета и передвижения крана. В отличие от машин непрерывного транспорта (конвейеров), механизмы которых могут работать непрерывно в течении всей смены, механизмы грузоподъёмных кранов в течении смены работают периодически. После того, как груз поднят на нужную высоту, начинается его перемещение к нужной точке с помощью механизма передвижения, а механизм подъёма в это время простаивает. И так работают все механизмы крана в течении рабочего цикла по перемещению груза из одной точки в другую и возврата пустого крюка в исходное положение. Интенсивность использования механизма в течении рабочего цикла крана характеризует параметр «продолжительность включения».

Продолжительность включения (ПВ) определяется как отношение времени работы конкретного механизма T_m к общей продолжительности рабочего цикла $T_{ц}$ и измеряется в процентах

$$ПВ = \frac{T_m}{T_{ц}} \cdot 100\% .$$

При проектировании механизмов, с учётом продолжительности включения выбирают их силовые элементы, то есть двигатели и тормоза.

Как показал анализ старых и новых литературных источников, посвящённых расчёту крановых механизмов, в частности [1, 2], значение ПВ, как правило, принимается усреднённым, на основании предшествующего опыта эксплуатации аналогичных кранов. Методика точного определения этого параметра для вновь проектируемого крана, с учётом его конкретных технических характеристик, отсутствует. В тоже время, даже краны одного типа могут существенно отличаться друг от друга величиной пролёта, высотой подъёма, скоростями механизмов, размерами их рабочей зоны и характеристиками перемещаемых грузов. Всё это может оказывать влияние на величину ПВ механизмов. В данной работе предлагается методика точного определения ПВ механизмов с учётом геометрических характеристик крана и рабочей площадки, на которой он установлен, скоростей механизмов и характеристик перемещаемых грузов.

Рассмотрим методику расчёта на примере конкретного крана, объединив теоретическую и практическую части.

Грейферно-конвейерный кран-перегрузатель доставляет сыпучий груз из точки А трюма судна в точку В над бунке-

ром на портале крана (рис. 1). Скорость подъема-опускания грейфера $v_{\uparrow} = 72 \text{ м/мин} = 72/60 \text{ м/с} = 1,2 \text{ м/с}$. Скорость изменения вылета (средняя) $v_{\leftrightarrow} = 42 \text{ м/мин} (0,7 \text{ м/с})$. Время зачерпывания 10

секунд. Время раскрытия грейфера 5 секунд. Время разгона и торможения механизма подъема 2 секунды, механизма изменения вылета 5 секунд. Вылет $R = 21 \text{ м}$. Высота от груза до палубы $h = 8 \text{ м}$.

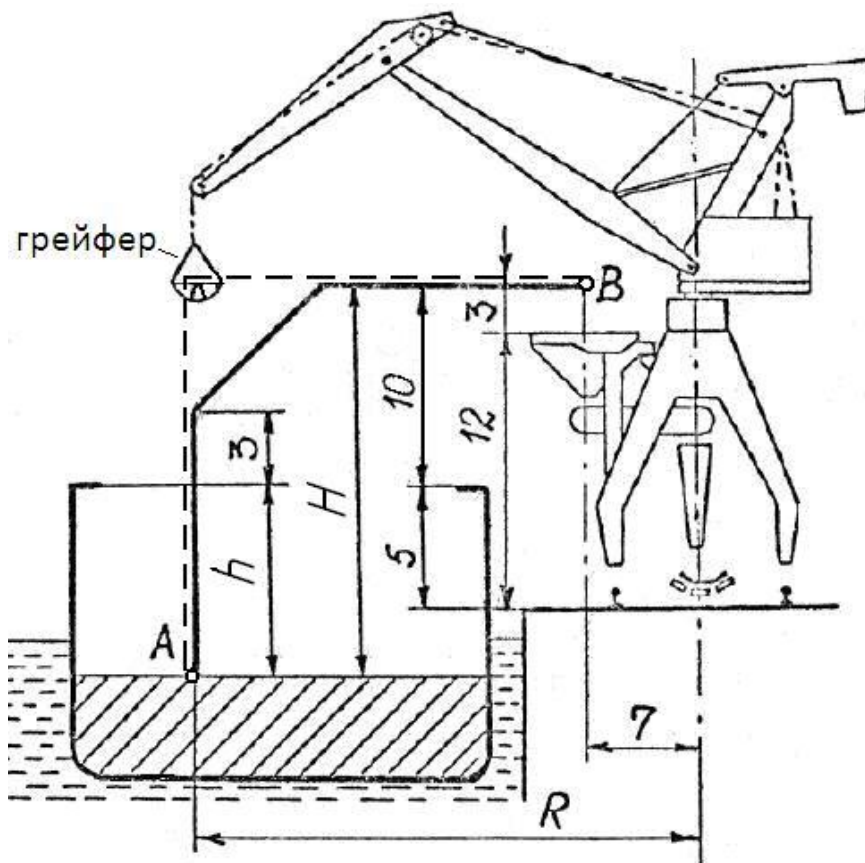


Рис. 1. Схема установки грейферно-конвейерного крана-перегрузателя

Последовательность расчёта:

I. Построение траектории движения груза.

Перечислим все операции по перемещению груза из точки А в точку В:

- захват груза в точке А;
- подъем груза на высоту точки В;
- перемещение груза в точку В путём изменения вылета стрелы крана;
- раскрытие и разгрузка грейфера;
- перемещение пустого грейфера в обратном направлении, в положение над точкой загрузки А;
- опускание пустого грейфера в точку А.

Затем все перечисленные операции повторяются снова, уже в следующем рабочем цикле.

Траектория движения грейфера показана на рис. 1 пунктирной линией.

II. Определение основного времени выполнения каждой рабочей операции.

Время зачерпывания груза грейфером t_1 задано в исходных данных $t_1 = 10$ секунд.

Время подъема груза определяется по формуле

$$t_2 = \frac{H}{v_{\uparrow}} = \frac{18}{1,2} = 15 \text{ секунд,}$$

где H – высота подъема груза, м.

Величину H можно определить из размерной цепочки (рис. 1)

$$H = h + 10 = 8 + 10 = 18 \text{ метров.}$$

Время изменения вылета стрелы, с учётом расстояния в 7 метров между осью вращения крана и приёмным бункером (рис. 1), определяется по формуле

$$t_3 = \frac{R - 7}{v_{\leftrightarrow}} = \frac{21 - 7}{0,7} = 20 \text{ секунд.}$$

Время раскрытия и разгрузки грейфера t_4 задано в исходных данных $t_4 = 5$ секунд.

Так как скорость изменения вылета стрелы неизменна, перемещение пустого грейфера к судну займёт столько же времени, как и от судна $t_5 = t_3 = 22,5$ секунды.

Так как скорость подъёма-опускания неизменна, спуск пустого грейфера займёт столько же времени, сколько и подъём груза $t_6 = t_2 = 15$ секунд.

III. Определение общей продолжительности рабочего цикла.

При расчёте времени выполнения рабочих операций необходимо учесть, что механизмы крана тратят какое-то время на разгон и торможение. Поэтому к основному времени каждой операции добавятся ещё время разгона и торможения. Эти величины можно найти в исходных данных к задаче.

Продолжительность рабочего цикла T определяется как сумма времени выполнения всех операций

$$T = \sum_{i=1}^n T_i,$$

где T_i – полное время i -ой операции, n – количество операций.

Все данные необходимые для расчёта полного времени операций и продолжительности рабочего цикла крана удобно свести в одну таблицу.

Таблица. Расчёт продолжительности рабочего цикла крана

№ операции	Операция	Механизм, выполняющий операцию	Время, с			Полное время операции, с
			разгона	основное	торможения	
1	захват груза	–	–	$t_1 = 10$	–	$T_1 = 10$
2	подъём груза	механизм подъёма	2	$t_2 = 15$	2	$T_2 = 19$
3	перемещение груза	механизм изменения вылета	5	$t_3 = 20$	5	$T_3 = 30$
4	разгрузка грейфера	–	–	$t_4 = 5$	–	$T_4 = 5$
5	перемещение пустого грейфера	механизм изменения вылета	5	$t_5 = 20$	5	$T_5 = 30$
6	опускание пустого грейфера	механизм подъёма	2	$t_6 = 15$	2	$T_6 = 19$
Продолжительность рабочего цикла крана, с						113

IV. Построение циклограмм при раздельной работе механизмов

Раздельная работа механизмов подразумевает их последовательное включение. То есть каждая последующая операция

начинается после полного завершения предыдущей.

Циклограмма позволяет представить порядок работы механизмов графически (рис. 2).

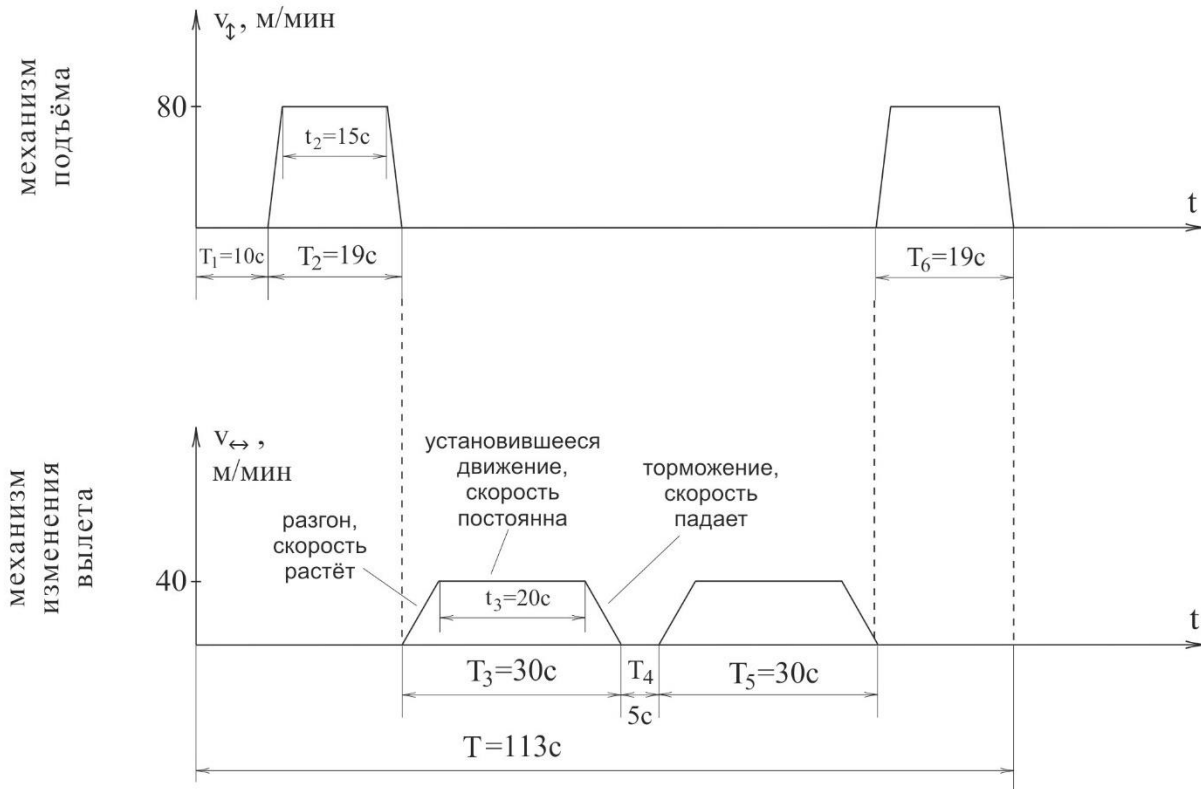


Рис. 2. Циклограммы раздельной работы механизмов

V. *Определение продолжительности включения механизмов при раздельной работе.*

Рассчитаем продолжительности включения ПВ^Р при раздельной работе механизмов, задействованных в перегрузке сыпучего груза с судна на причал

$$ПВ_{\text{подъём}}^Р = \frac{T_{\text{подъём}}}{T} \cdot 100\% = \frac{T_2 + T_6}{T} \cdot 100\% = \frac{19 + 19}{113} \cdot 100\% = 34\%$$

$$ПВ_{\text{вылет}}^Р = \frac{T_{\text{вылет}}}{T} \cdot 100\% = \frac{T_3 + T_5}{T} \cdot 100\% = \frac{30 + 30}{113} \cdot 100\% = 53\%$$

где $ПВ_{\text{подъём}}^Р$ – продолжительность включения механизма подъёма при раздельной работе; $ПВ_{\text{вылет}}^Р$ – продолжительность включения механизма изменения вылета при раздельной работе; $T_{\text{подъём}}$ – полное время работы механизма подъёма в течении рабочего цикла; $T_{\text{вылет}}$ – полное время работы механизма изменения вылета в течении рабочего цикла.

VI. *Построение циклограмм при совмещённой работе механизмов.*

В подавляющем большинстве случаев крановщик управляет краном, совмещая

работу механизмов. Совмещённая работа механизмов подразумевает их одновременное использование, когда для этого появляется возможность. То есть каждая последующая операция начинается ещё до того, как завершилась предыдущая, если этому ничто не препятствует.

Совмещённая работа механизмов позволяет «срезать угол», провести груз по короткой траектории. В то же время надо учитывать, что совмещённая работа механизмов возможна там, где груз не может зацепить никакие препятствия.

Для того, чтобы построить циклограммы при совмещённой работе механизмов необходимо выполнить следующие действия:

1. Выбрать участок, на котором будет осуществляться совмещение.

Например, для крана на рисунке 1 механизм изменения вылета можно включить ещё до того, как груз поднят на высоту точки В. Достаточно поднять груз на безопасную высоту 3 метра над палубой судна. После этого грейфер с грузом уже точно не зацепится за борт судна, а значит можно начать изменять вылет. При этом

механизм подъёма будет продолжать работу.

2. Нарисовать траекторию совмещённого движения.

Траектория движения грейфера при совмещённой работе механизмов показана на рис. 1 сплошной линией от точки А до точки В. Когда механизмы работают совместно траектория наклонена, а когда каждый по отдельности траектория идёт либо вертикально, либо горизонтально.

3. Определить безопасную высоту подъёма груза H_B , начиная с которой можно начинать совмещённую работу. Как правило, H_B равна высоте препятствия плюс 3 метра в запас.

Для крана на рис. 1 препятствием является борт судна. Его высота равна h . Значит $H_B = h + 3 = 8 + 3 = 11$ м.

4. Вычислить время t_B подъёма груза на безопасную высоту

$$t_B = t_{\Pi} + \frac{H_B}{v_{\uparrow}} = 2 + \frac{11}{1,2} = 11,2 \text{ с.}$$

где t_{Π} – время переходных процессов, то есть разгона или торможения механизма подъёма, с.

5. На новой циклограмме совмещённой работы совместить операцию подъёма со следующей операцией с учётом t_B (рис. 3). Понятно, что грузозахватное устройство проходит по участку совмещения дважды: сначала, когда движется из точки А в В, затем, когда возвращается из точки В в А. Поэтому на циклограмме нужно будет ещё совместить опускание груза с его перемещением в горизонтальном направлении (рис. 3).

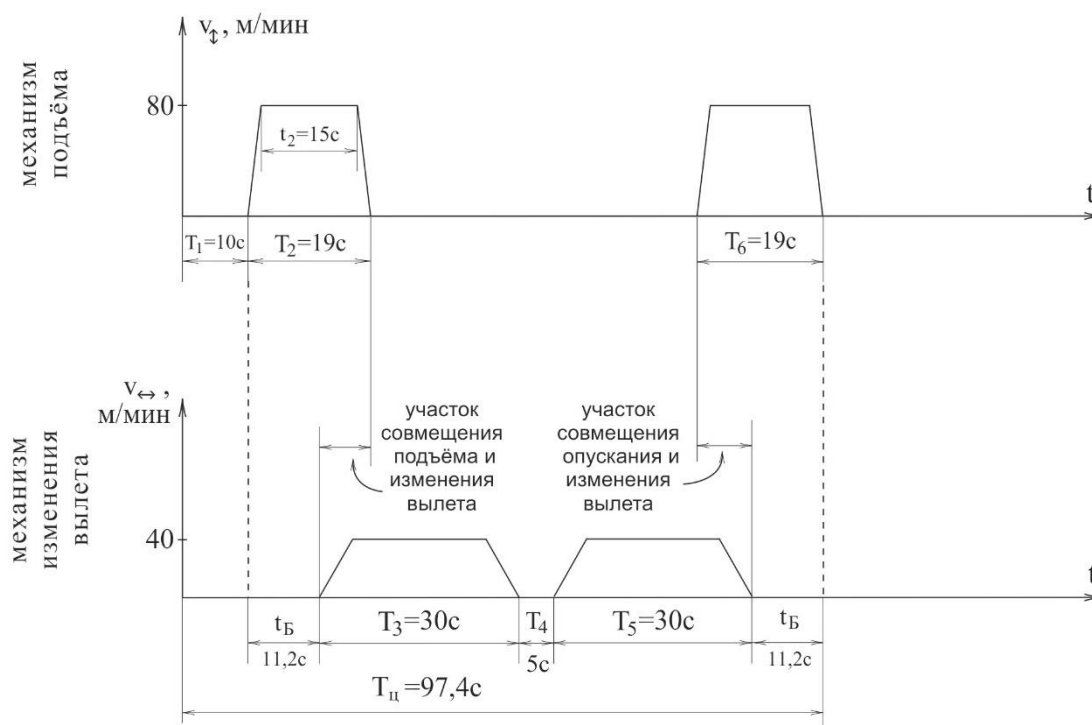


Рис. 3. Циклограммы совмещённой работы механизмов.

6. Выполнить действия, перечисленные в пунктах 1-5 для остальных участков траектории движения грузозахватного устройства, на которых возможна совмещённая работа механизмов.

У крана, представленного на рисунке 1 при не совмещённом движении траектория меняет направление только один раз. Сле-

довательно, есть только один угол, который нужно сгладить, и это уже было сделано. Значит можно перейти к выполнению следующего пункта.

7. Вычислить время цикла при совмещённой работе механизмов.

Для этого на рисунке 3 необходимо просуммировать все размеры, образующие

размерную цепочку от начала до конца рабочего цикла.

Для рассматриваемого примера

$$T_{\text{ц}} = T_1 + t_{\text{б}} + T_3 + T_4 + T_5 + t_{\text{б}} = 10 + 11,2 + 30 + 5 + 30 + 11,2 = 97,4 \text{ с.}$$

Если рисунок 3 выполнен в масштабе, то $T_{\text{ц}}$ можно определить путём измерения, а не расчёта.

VII. Определение продолжительности включения механизмов при совмещённой работе.

Рассчитаем продолжительности включения ПВ^с при совмещённой работе механизмов, задействованных в перегрузке сыпучего груза с судна на причал

Библиографический список

1. Кузьмин А.В., Марон Ф.Л. Справочник по расчетам механизмов подъемно-транспортных машин – Минск: Вышэйшая школа, 1983. – 350 с.
2. Степыгин В.И. Проектирование подъемно-транспортных установок: учебное пособие для вузов – М.: Машиностроение, 2005. – 288 с.

DEFINITION OF DURATION OF INCLUSION OF MECHANISMS AT DESIGNING THE CARGOCRANE

Y.E. Semenov, *Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor*
Tula State University
 (Russia, Tula)

Abstract. *The technique allowing defining duration of inclusion of mechanisms of the crane at a stage of his outline designing is considered. The technique allows taking into account the geometrical characteristics of the crane and working platform, on which it is established, and also speed of work of mechanisms. The definition of duration of inclusion is possible both at the combined work of mechanisms, and at separate. The change of a trajectory of movement of a cargo is taken into account at detour of obstacles.*

Keywords: *duration of inclusion, mechanisms of the crane, designing of the crane, running cycle of the crane, diagram of running cycle of mechanisms.*

$$\text{ПВ}_{\text{подъем}}^{\text{с}} = \frac{T_{\text{подъем}}}{T_{\text{ц}}} \cdot 100\% = \frac{T_2 + T_6}{T_{\text{ц}}} \cdot 100\% = \frac{19 + 19}{97,4} \cdot 100\% = 39\%$$

$$\text{ПВ}_{\text{вылет}}^{\text{с}} = \frac{T_{\text{вылет}}}{T_{\text{ц}}} \cdot 100\% = \frac{T_3 + T_5}{T_{\text{ц}}} \cdot 100\% = \frac{30 + 30}{97,4} \cdot 100\% = 62\%$$

Предложенная методика позволяет определить продолжительность включения механизмов на этапе эскизного проектирования крана. Расчёты показывают, что при совмещённой работе механизмов продолжительность рабочего цикла уменьшается, а значит, увеличивается производительность крана. В то же время увеличивается продолжительность включения механизмов, а значит их загруженность.