УДК 69.056.53/.057.7:621.873

ОПТИМИЗАЦИЯ КОЛИЧЕСТВА ЗВЕНЬЕВ В СТРОИТЕЛЬНОЙ БРИГАДЕ ПРИ ПАНЕЛЬНОМ ДОМОСТРОЕНИИ

Кулешов И.В., Пищухин А.М.

ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», Оренбург, e-mail: tsppost@mail.ru

На строительной площадке кран является самым дорогостоящим оборудованием, и строительно-монтажные работы необходимо организовывать так, чтобы повысить эффективность его использования. Поэтому данное исследование посвящено максимизации степени загруженности башенного крана при возведении здания и определению оптимального количества занятых при этом звеньев рабочих в бригаде. Исследование выполнено на примере панельного домостроения. Решение задачи построено на сравнении стоимости простоя рабочего звена и стоимости простоя крана. При этом в расчет принимались средние технические показатели панелей, здания и крана. Выявленные зависимости интенсивности работы башенного крана от количества рабочих звеньев в бригаде показывают, что с увеличением этажности монтируемого здания целесообразно снижение количества занятых рабочих звеньев в бригаде.

Ключевые слова: панельное здание, монтаж, звено строительной бригады, кран, коэффициент загрузки крана, задача оптимизации

OPTIMIZATION OF THE NUMBER OF UNITS IN THE BUILDING TEAM DURING PANEL CONSTRUCTION

Kuleshov I.V., Pishchukhin A.M.

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Orenburg State University», Orenburg, e-mail: tsppost@mail.ru

On the construction site crane is the most expensive equipment, and construction and installation work must be organized so that to increase the efficiency of its use. Therefore, this study focuses on the maximization of the load of the tower crane during the construction of the building and the determination of the optimal number of employees in this units working in the brigade. The study was performed on the example of panel construction. The decision problem is based on comparing the cost of idle desktop level and cost of downtime of the crane. In this case, the calculation was the average technical parameters of the panels of the building and the crane. The revealed dependence of the intensity of work of a tower crane from the number of work units in the brigade show that increasing the height of the assembled building should be decreased the number of employed working links in the team.

Keywords: panel building, installation, link construction crews, crane, the load factor of the crane, the problem of optimization

За последние годы потребность в современных архитектурных решениях и расширение жилищного фонда способствовали повышению объемов строительных работ. При этом строящиеся объекты должны отвечать современным требованиям, предъявляемым строительной индустрией. Возводимые здания должны быть в полной мере безопасны, удовлетворять высоким темпам строительства, имея при этом низкую себестоимость и трудоемкость. Решение этой задачи требует повышения качественного уровня организации строительства, оптимизации существующих технологий. Почти всем этим требованиям удовлетворяют здания из сборных железобетонных элементов, в том числе панелей. Все изделия для них изготавливают на специализированных заводах, где технологические процессы полностью механизированы и в значительной степени автоматизированы. На строительной площадке происходит монтаж изготовленных конструкций, который обуславливает определенные проблемы, приводящие

к увеличению сроков строительства, трудовых и финансовых затрат [1, 2].

В качестве главного ограничения при решении задачи оптимизации выступает безопасность производимых грузоподъемных работ, то есть обеспечение условий безопасного, плавного и бесперебойного перемещения грузов на строительной площадке при работе грузоподъемного крана. Это в свою очередь приводит к необходимости повышения производительности и надежности работы грузоподъемных кранов, скорости и точности перемещений груза и самого крана, роста его грузоподъемности, рабочих скоростей, средней загрузки, экономичности и возможности интеграции в автоматизированные системы управления строительством [3].

Теория

Строительные конструкции имеют большое количество типов и размеров, но, несмотря на это, производство строительно-монтажных работ сводится лишь к ряду

последовательных операций, имеющих значительное сходство. Такими операциями являются: такелажные работы с целью закрепления конструкций для их транспортирования с места складирования к месту установки; само транспортирование; пространственная ориентация конструкции в процессе транспортирования и в зоне монтажа; предварительная установка конструкции; выверка ее положения в процессе установки; предварительное закрепление; коррекция положения по месту установки; закрепление в проектном положении и соединение с другими конструкциями в единое целое.

Современные технологии строительства характеризуются следующими основными тенденциями: увеличением этажности и размеров зданий, увеличением пролётов конструкций, применением большеразмерных элементов, увеличением объемов и темпов строительства. Это ведет к резкому возрастанию объемов грузоподъемных работ, необходимости увеличения массы и скорости перемещения грузов, поэтому ведущим звеном на строительной площадке, безусловно, является башенный кран, как главный и наиболее дорогостоящий механизм, обеспечивающий в том числе и многопоточность строительства. Для достижения максимальной эффективности строительно-монтажных работ необходимо стремиться к максимальной его загрузке [4, 5].

Если рассматривать монтаж здания из «осредненных» панелей, то коэффициент загрузки крана можно определить по формуле

$$k_{\text{загр}} = \frac{\sum_1^N P t_{\text{зан}}^n}{t_{\text{общ}}} \rightarrow \max, \quad (1)$$

где $t_{\text{зан}}^n$ – время занятости крана на подаче одной панели для монтажа на n -ый этаж;

$t_{\text{общ}}$ – общее рабочее время; n – порядковый номер монтируемого этажа; N – количество этажей в монтируемом здании; P – количество «осредненных» панелей необходимых для монтажа одного этажа. Под «осреднённой» панелью мы понимаем панели со средним временем монтажа.

Как видно из формулы (1), для максимизации коэффициента загрузки достаточно максимизировать его числитель за счет максимизации времени занятости крана. Время занятости крана на подаче одной панели для монтажа на n -ый этаж пределяется суммой следующих слагаемых:

$$t_{\text{зан}}^n = t_{\text{гор}} + t_{\text{тр}} + t_{\text{верт}}(n-1) + t_{\text{уд}}, \quad (2)$$

где $t_{\text{гор}}$ – среднее время перемещения панели по горизонтали от места складирования до места монтажа (строповка, перемещение, удержание на время монтажа, расстроповка, возврат); $t_{\text{верт}}$ – время перемещения панели по вертикали в пределах одного этажа; $t_{\text{тр}}$ – время торможения и разгона; $t_{\text{уд}}$ – время занятости крана на монтаж и расстроповку панели.

Количество звеньев K в бригаде, монтирующих каждую панель на каждом этаже, определяется из условия равенства затрат от ожидания звеном момента освобождения крана и от затрат от простоя крана, ожидающего конца монтажа.

$$\begin{aligned} C_1 K (K t_{\text{зан}}^n - t_{\text{норм}}) &= \\ &= C_2 (t_{\text{норм}} - (K-1) t_{\text{зан}}^n) (K-1), \end{aligned} \quad (3)$$

где C_1 – стоимость единицы времени ожидания крана для звена; C_2 – стоимость единицы времени простоя крана; $t_{\text{норм}}$ – нормативное время монтажа одной панели одним звеном.

Раскрывая скобки в формуле (3), получаем

$$C_1 K^2 t_{\text{зан}}^n - C_1 K t_{\text{норм}} = C_2 t_{\text{норм}} K - C_2 t_{\text{норм}} - C_2 K^2 t_{\text{зан}}^n + 2 C_2 K t_{\text{зан}}^n - C_2 t_{\text{зан}}^n. \quad (4)$$

В результате приходим к уравнению относительно K :

$$K^2 t_{\text{зан}}^n (C_1 + C_2) - K (t_{\text{норм}} (C_1 + C_2) + 2 C_2 t_{\text{зан}}^n) + C_2 (t_{\text{норм}} + t_{\text{зан}}^n) = 0. \quad (5)$$

Подставив формулу (2) в (5), получим

$$\begin{aligned} K^2 (t_{\text{гор}} + t_{\text{тр}} + t_{\text{верт}}(n-1) + t_{\text{уд}}) (C_1 + C_2) - K (t_{\text{норм}} (C_1 + C_2) + \\ + 2 C_2 (t_{\text{гор}} + t_{\text{тр}} + t_{\text{верт}}(n-1) + t_{\text{уд}})) + C_2 (t_{\text{норм}} + (t_{\text{гор}} + t_{\text{тр}} + t_{\text{верт}}(n-1) + t_{\text{уд}})) = 0. \end{aligned} \quad (6)$$

Добавляя к преобразованному критерию в виде формулы (6) ограничения, получаем постановку задачи оптимизации количества звеньев в строительной бригаде при

панельном домостроении. Ограничения в данной задаче следующие:

1. Используется только один работающий башенный кран;

2. Этажность возводимого дома изменяется от 1 до 20 этажей.

3. Скорость работы крана определяется его техническими характеристиками, указанными в паспорте.

4. Нормы времени монтажа панелей приняты в соответствии с ЕНИР (сборник Е4-1-8).

Материалы и методы исследования

В качестве примера рассмотрим наиболее распространённые модели башенных кранов Ржевского краностроительного завода (см. таблицу).

В таблице использованы следующие обозначения: t – время перемещения груза при средних значениях скорости и расстояния; V – средняя скорость перемещения груза; L – средние значения расстояний перемещения груза.

Нормы времени при расчете принимаем согласно ЕНИР сборник Е4-1-8 (Установка панелей стен и перегородок предусмотрена на постель из готового раствора с одновременной раскладкой маяков при не-

обходимости и временным креплением подкосами или струбцинами.). В расчете имеется в виду следующий состав работ при установке панелей стен и перегородок зданий: устройство постели из раствора с раскладкой маяков; подъем и установка панелей; выверка и временное закрепление; подштопка горизонтального шва раствором; снятие временного крепления.

Состав звена в рабочей бригаде: монтажники 2, 3, 4, 5 разрядов по 1 человеку; машинист крана 6 разряда.

$t_{\text{норм}} = 29,1$ мин, при средних Н.вр. монтажников = 1,94 ч/час. При этом средние Н.вр. машиниста = 0,5 ч/час.

Рыночные расценки:

$C_1 = 10$ руб/мин; $C_2 = 20$ руб/мин.

Для КБ-405 принимаем:

$t_{\text{гор}} = 1,69$ мин; $t_{\text{верт}} = 2,81$ мин;

$t_{\text{тр}} = 0,63$ мин; $t_{\text{уд}} = 7,5$ мин.

Поставленная задача оптимизации относится к классу целочисленных и допускает решение методом полного перебора.

Технические характеристики башенных кранов

$V \times L$ t	Схема перемещения груза	С нижним поворотом		С верхним поворотом	
		КБ-405	КБМ-401ПА	КБ-571Б	КБ-474А
$t_{\text{гор}}$ $L = 20$ м 0,5 оборота $L = 20$ м		20 / 20 м/мин = = 1 мин	20 / 20 м/мин = = 1 мин	20 / 16 м/мин = = 1,25 мин	20 / 16 м/мин = = 1,25 мин
	0,5 об / 0,72 об/ мин = 0,69 мин	0,5 об / 0,66 об/ мин = 0,756 мин	0,5 об / 0,7 об/ мин = 0,71 мин	0,5 об / 0,75 об/ мин = 0,67 мин
	—	—	20 / 60 м/мин = = 0,33 мин	20 / 30 м/мин = = 0,67 мин
$t_{\text{верт}}$ $H = 10$ м $H_{\text{лср}} = 50$ м		1,2 мин	1,2 мин	—	—
	50 / 31 м/мин = = 1,61 мин	50 / 30 м/мин = = 1,67 мин	50 / 90 м/мин = = 0,56 мин	50 / 90 м/мин = = 0,56 мин
$t_{\text{тр}}$		3 / 4,8 м/мин = = 0,63 мин	3 / 4,8 м/мин = = 0,63 мин	3 / 4,8 м/мин = = 0,63 мин	3 / 4,8 м/мин = = 0,63 мин
$t_{\text{уд}}$		7,5 мин	7,5 мин	7,5 мин	7,5 мин

Результаты исследования и их обсуждение

В результате решения уравнения получим зависимость количества звеньев от этажности здания.

Для башенного крана КБ-405:

$$t_{\text{зан}}^n = t_{\text{гор}} + t_{\text{тр}} + t_{\text{верт}}(n-1) + t_{\text{уд}} = 9,82 + 2,81(n-1).$$

Подставляем эти значения в формулу (6), построим график зависимости K от n .

Аналогично построим графики для остальных кранов, принятых к сравнению.

Проведённые исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Наибольшее количество звеньев должно быть занято на монтаже нижних этажей;

2. С ростом количества этажей в здании количество звеньев нелинейно снижается.

3. Наиболее удобный алгоритм смены количества звеньев зависит от типа крана:

3.1. КБ-405 и КБМ-401ПА: 1 этаж – 3 бригады; 2–4 этаж – 2 бригады; 5–9 – 1 бригада;

3.2. КБ-571Б и КБ-474: 1–3 этаж – 3 бригады; 4–16 этаж – 2 бригады; 17–20 – 1 бригада.

4. При этажности здания более 10 этажей необходимо использовать краны с верхним расположением противовеса из-за критичности скорости перемещения груза. Нарушение этого требования ведет к недопустимому возрастанию времени простоя звена рабочей бригады.

5. При этажности здания более 10 этажей целесообразно использовать 2 и более кранов с нижним расположением противовеса. Также актуально исследование особенностей режимов работы крана с целью повышения эффективности его использования [6, 7].

Рис. 1. Зависимость количества звеньев в бригаде от этажности здания при работе крана КБ-405

Рис. 2. Зависимость количества звеньев в бригаде от этажности здания при работе крана КБМ-401ПА

Рис. 3. Зависимость количества звеньев в бригаде от этажности здания при работе крана КБ-571Б

Рис. 4. Зависимость количества звеньев в бригаде от этажности здания при работе крана КБ-474

Таким образом, постановка и решение задачи оптимизации количества звеньев в строительной бригаде при панельном домостроении позволяет наиболее целесообразно организовать строительно-монтажные работы с максимальной эффективностью использования крана. Кроме того, в оптимальный алгоритм организации работ вносит изменения расположение противовеса башенного крана за счет различных скоростей перемещения грузов. Дальнейшие исследования могут быть связаны с уточнением существующих методик подбора башенных кранов и совершенствованием технологии монтажа панелей.

Список литературы

1. Прокопович А.А. Индустриальное каркасное и панельное домостроение / А.А. Прокопович, В.В. Репекто, В.А. Луконин // Строительные материалы. — 2011. — № 6. — С. 50–51.
2. Захаров А.В. Конструктивные решения крупнопанельных домов нового поколения / А.В. Захаров, М.П. Леонтьева // Промышленное и гражданское строительство. — 2016. — № 10. — С. 104–110.
3. Кулешов И.В. Постановка задачи оптимизации грузоподъемных операций в строительстве / И.В. Кулешов, А.М. Пищухин // Строительная наука — XXI век: теория,

образование, практика, инновации Северо-Арктическому региону: сб. трудов VII междунар. науч.-техн. конф., посвященной 100-летию со дня рождения учёных СПбГАСУ (ЛИСИ) В.А. Лебедева, В.А. Трулля, Е.И. Светозаровой (28–30 июня 2016 г.) / под ред. Б.В. Лабудина. — Архангельск: Изд-во ООО «Агентство рекламы РАД», 2016. — 387 с.

4. Седых М.И. Загрузка автоматического стеллажного крана-штабелёра, определяемая имитационным моделированием работы склада участка ГПС / М.И. Седых // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — 2011. — № 4–6. — С. 91–96.

5. Емельянова Г.А. О фактической загрузке грузоподъемных кранов объектов использования атомной энергии, необходимой для оценки их надежности и безопасности / Г.А. Емельянова, А.С. Липатов, В.С. Обломей // Ремонт. Восстановление. Модернизация. — 2015. — № 7. — С. 40–44.

6. Кулешов И.В. Повышение эффективности и надежности наземных крановых путей оптимизацией их геометрических параметров / И.В. Кулешов, С.В. Миронов // Вестник Оренбургского государственного университета. — 2011. — № 4. — С. 173–178.

7. Лебедев В.Д. Режимы работы грузоподъемных кранов. Методика определения остаточного ресурса работы крана с учетом характера выполняемых работ / В.Д. Лебедев, Д.С. Воронцов // В сборнике: Наука XXI века. Проблемы академической мобильности исследователя и методологии исследования: материалы I Международной научно-практической конференции «Энергетика и энергоэффективность в условиях геостратегического развития и освоения Арктического региона». Под общей редакцией З.А. Демченко. — 2012. — С. 240–242.