

РАЗРАБОТКА МЕТОДИК РАССТАНОВКИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗЕМЛЕРОЙНОЙ ТЕХНИКИ ПО ОБЪЕКТАМ СТРОИТЕЛЬСТВА

О. С. Анненкова

Алтайский государственный технический университет
им. И.И. Ползунова, г. Барнаул

В статье рассматривается методика расстановки парка землеройной техники по строительным объектам с учетом суммарных затрат на компенсацию простоев объектов и машин.

Ключевые слова: землеройная техника, строительный объект, комплект-модуль, простой машин и объектов.

При решении задач, связанных с учетом сроков выполнения работ на объектах строительства, необходимо использовать критерии эффективности, которые учитывают потери, возникающие в связи с изменением начала работ относительно их нормативных значений. Следует отметить, что изменение сроков, невыгодное с позиции эффективности строительных работ на отдельном объекте, может оказаться достаточно экономичным решением с точки зрения отрасли производства в целом. Сохранение сроков при недостаточности производственного потенциала требует затрат на его увеличение. Указанные затраты могут оказаться выше потерь, возникающих в связи с отклонением фактических сроков строительства от их нормативных значений.

Несвоевременность выполнения работ на объектах вызывает существенные потери в строительном производстве [2]: от увеличения продолжительности выполнения работ; от увеличения затрат при выполнении последующих специализированных работ (из-за необходимости увеличения скорости их производства); от снижения уровня использования основных фондов.

При учете указательных потерь возникают определенные сложности, связанные с отсутствием необходимости информации. Ориентировочные методы их учета предлагает М.Д. Спектор [3]. С помощью разработанных методов можно оценить стоимость простоев строительных объектов в ожидании начала производства работ.

При оптимизации состава и структуры парка строительных машин в качестве критерия эффективности предлагается суммарная величина условных затрат на компенсацию простоев. Этот критерий позволяет сопоставить затраты на компенсацию простоев ма-

шин при отсутствии заявок на производство работ с условными затратами на компенсацию простоев объектов в ожидании начала выполнения работ при нехватке машин. Данный критерий принят в качестве эффективности расстановки комплектов машин по объектам производства земляных работ.

Целевая функция с учетом принятого критерия эффективности имеет вид

$$Z = T_{np}^{к-м} \cdot C_{к-м} + T_{np}^{об} \cdot C_{об} \rightarrow \min, \quad (1)$$

где Z – суммарная величина затрат на компенсацию простоев машин и объектов, руб.; $T_{np}^{к-м}$ – число смен простоя комплектов-модулей; $T_{np}^{об}$ – число смен простоя объекта; $C_{к-м}$ – стоимость одной смены простоя комплекта-модуля, руб.; $C_{об}$ – стоимость одной смены простоя объекта, руб.

При разработке предлагаемой модели следует считать, что простой объекта происходит непрерывно с момента начала работ на других объектах и до момента освобождения хотя бы одного из комплектов машин и перебазирования его на простаивающий объект; простой комплектов-модулей происходит непрерывно с момента начала работы на объектах такого их количества, которое необходимо для выполнения земляных работ с заданной интенсивностью.

Число смен простоя комплектов-модулей определяется по выражению

$$T_{np}^{к-м} = \begin{cases} T_{np}, & \text{если } T_{np} \geq 0 \\ 0, & \text{если } T_{np} < 0 \end{cases}. \quad (2)$$

Число смен простоя объектов рассчитывается согласно формулам

$$T_{np}^{об} = \begin{cases} 0, & \text{если } T_{np} \geq 0 \\ |T_{np}|, & \text{если } T_{np} < 0 \end{cases} \quad (3)$$

$$T_{np} = \Phi_p^{K-M} - T_p, \quad (4)$$

где Φ_p^{K-M} – фонд рабочего времени комплектов машин, смен; T_p – необходимое число рабочих смен для выполнения заданного объема работ.

$$\Phi_p^{K-M} = t_p^{K-M} \cdot N_n^{K-M}, \quad (5)$$

$$T_p = \frac{\dot{V} \cdot K_n}{\Pi_{обобщ}^{K-M}}, \quad (6)$$

где t_p^{K-M} – количество рабочих смен одного расчетного комплекта-модуля за плановый период; N_n^{K-M} – количество расчетных комплектов-модулей в составе парка машин, шт; $\dot{V}$ – средний объем работ на одном объекте, обобщ. м³; K_n – число объектов строительства, шт; $\Pi_{обобщ}^{K-M}$ – обобщенная эксплуатационная производительность расчетного комплекта-модуля, обобщ. м³/см.

Стоимость одной смены простоя расчетного комплекта-модуля определяется по выражению

$$C_{K-M} = \frac{Z_n + C_{км} \cdot L}{D_{ср} \cdot K_{см}} + \frac{\Gamma + E_n \cdot K}{D_{раб}^{год} \cdot K_{см}} + C_{з.пл} \cdot t_{см}, \quad (7)$$

где Z_n – затраты, связанные с перебазированием машин комплекта, не зависящие от расстояния перебазирования, руб.; $C_{км}$ – затраты, связанные с перебазированием, приходящиеся на 1 км расстояния, руб.; L – расстояние перебазирования комплектов машин, км; $D_{ср}$ – среднее количество рабочих дней, приходящееся на одну перебазировку комплектов; $K_{см}$ – коэффициент сменности работы комплектов; Γ – годовые затраты, руб.; K – капитальные затраты (стоимость машин комплекта), руб.; $D_{раб}^{год}$ – Количество рабочих дней расчетного комплекта-модуля в году; $C_{з.пл}$ – затраты на заработную плату, руб/ч; $t_{см}$ – продолжительность рабочей смены, ч.

Используя выражение (7) целевую функцию запишем в следующем виде

$$Z = T_{np}^{K-M} \cdot \left(\frac{Z_n + C_{км} \cdot L}{D_{ср} \cdot K_{см}} + \frac{\Gamma + E_n \cdot K}{D_{раб}^{год} \cdot K_{см}} + C_{з.пл} \cdot t_{см} \right) + T_{np}^{об} \cdot C_{об} \rightarrow \min. \quad (8)$$

При ограничениях:

- полного выполнения объемов работ

$$\Pi_{обобщ}^{K-M} \cdot N_n^{K-M} \cdot t_p^{K-M} \geq V_{обобщ} \quad (9)$$

- соблюдения скорости выполнения работ

$$\Pi_{обобщ}^{K-M} \cdot N_n^{K-M} \geq G^{np}, \quad (10)$$

$$t_p^{K-M} > 0; N_{\min}^{K-M} \leq N_n^{K-M} \leq N_{\max}^{K-M}. \quad (11)$$

Целевая функция (8) с наложенными на нее ограничениями (9-11) составляет математическую модель задачи рациональной расстановки комплектов землеройных машин по объектам строительства.

Для рациональной расстановки комплектов машин по строительным объектам необходимо адекватно описать как организационно-технологические процессы, так и процессы управления производством работ. Все традиционные методы математического программирования требуют аппроксимации основных функциональных зависимостей и связей. При этом применяется сложный математический аппарат. Этого недостатка лишено имитационное моделирование. В имитационной модели имеется возможность отразить объемно-планировочные характеристики объекта, а также многовариантность организации и технологии производства работ.

При выполнении земляных работ на одном конкретном объекте основными факторами эффективности производства работ являются объемы и заданные сроки их выполнения. Варианты производства работ отличаются друг от друга структурой работ и типами применяемых машин.

С целью оценки возможных вариантов расстановки комплектов машин по объектам производства земляных работ используем машинную имитацию процессов выполнения работ [1]. В основу машинной имитации закладывается математическая модель (8), которая по соответствующему алгоритму многократно реализуется на ЭВМ при изменении входных параметров.

Для рациональной расстановки комплектов машин по объектам необходимы сведения о сроках завершения работ на объектах. На основании этих данных устанавливаются технологически обусловленные сроки начала и завершения земляных работ на каждом из объектов.

Строительный объект характеризуется объемно-планировочными характеристиками и условиями производства земляных работ. Простой учет всех характеристик объекта и условий выполнения работ усложняет имитационную модель. При формализованном описании процессов производства земляных работ принимаем для характеристики объектов обобщенный объем копания грунта, выраженный в обобщ.м³.

На каждом строительном объекте земляные работы может одновременно выполнять определенное количество комплектов машин. Этот предел – максимальное технологически допустимое количество комплектов машин. На его величину наибольшее влияние оказывают условия производства земляных работ на объекте. Объекты строительства, как правило, характеризуется стесненностью производства работ. На большей части таких объектов может одновременно работать 1-2 комплекта машин. На крупных объектах, с объемом земляных работ более 20 тыс. м³ одновременно, высокопроизводительно, не мешая друг другу, могут работать более двух комплектов машин. В рассматриваемой модели максимальное технологически допустимое количество комплектов машин, одновременно работающих на объекте, равно трем.

Различные марки машин для производства земляных работ усложняют имитационную модель и требуют больших затрат машинного времени на ее реализацию. Для устранения этого недостатка используем метод формального описания процессов расстановки комплектов машин по строительным объектам. В качестве условной структурной единицы принят расчетный комплект-модуль.

Исходными данными при формальной постановке задачи являются:

а) для характеристики объектов: n – число строительных объектов, ($j = 1, n$); V_j – объемы земляных работ на объектах, обобщ. м³; T_j – директивные (нормативные) сроки выполнения работ на объектах, смен; L_{ji} – взаимные расстояния между объектами, км; K_j – максимальное технологически допустимое количество расчетных комплектов-модулей, возможное для назначения на объекты; $C_{аб.}$ – условная стоимость одной смены простоя фронта работ на строительных объектах, руб.

б) для характеристики парка машин: $\Pi^{K-M}_{обобщ}$ – сменная эксплуатационная производительность расчетного комплекта-модуля, обобщ. м³/см; N^{K-M}_i – количество расчетных комплектов-модулей в составе парка машин,

шт.; C_{K-M} – стоимость одной смены простоя расчетного комплекта-модуля, руб.

В результате решения задачи определяется необходимое количество расчетных комплектов-модулей для выполнения работ на каждом объекте.

При реализации модели на ЭВМ изменяется число расчетных комплектов-модулей в составе парка машин от начального значения до максимального N^{K-M}_{max} .

На производство земляных работ оказывает влияние оперативное управление комплектами, входящими в состав парка машин. Формальное описание оперативного управления работой комплектов позволяет расставить их по объектам на ЭВМ автоматически путем ввода соответствующих управляющих воздействий.

Описание процессов оперативного управления работой комплектов машин выполнено с учетом рекомендаций [2].

Для формального описания процессов оперативного управления выделим шесть основных управляющих воздействий – $УВ_1$, $УВ_2$, $УВ_3$, $УВ_4$, $УВ_5$ и $УВ_6$ (таблица 1). Оперативное управление работой комплектов машин осуществляется дискретно в моменты прибытия комплектов на объекты.

Управляющее воздействие $УВ_1$ является ограничением для назначения комплектов-модулей на объекты. Комплект может начать работу на объекте только в том случае, если объект либо свободен, либо на нем уже выполняются земляные работы и их надо интенсифицировать, т.е. довести число комплектов-модулей, одновременно работающих на объекте, до максимального технологически допустимого количества K_j .

Управляющие воздействия $УВ_2$ и $УВ_3$ применяются при доназначении комплектов-модулей на объекты. В соответствии с $УВ_2$ комплекты-модули направляются для выполнения земляных работ на тот объект, на котором эти работы уже выполняются и их можно интенсифицировать, т.е. производится доназначение комплектов-модулей на объекты. Доназначение производится так, чтобы суммарное количество расчетных комплектов-модулей, занятых на объекте, не превышало их максимального технологически допустимого количества. В первую очередь доназначение комплектов производится на тот объект, где средняя суммарная продолжительность производства работ наибольшая.

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИК РАССТАНОВКИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗЕМЛЕРОЙНОЙ ТЕХНИКИ
ПО ОБЪЕКТАМ СТРОИТЕЛЬСТВА**

Таблица 1 – Порядок применения управляющих воздействий в зависимости от класса и групп ситуаций

Группы ситуаций	Характеристика ситуаций, возникающих при производстве земляных работ на объектах
1	Свободные комплекты необходимо расставить по объектам для выполнения земляных работ. Есть свободные объекты, но не на всех из них подготовлен фронт работ.
2	Свободные комплекты необходимо расставить по объектам для выполнения земляных работ. Есть объекты, на которых не полностью занят фронт работ и их производство можно интенсифицировать.
3	Свободные комплекты необходимо расставить по свободным объектам, на каждом из которых подготовлен фронт работ.
4	Свободные комплекты необходимо расставить по объектам. Есть объекты, на которых можно интенсифицировать работы и есть свободные объекты.
5	Освободившиеся комплекты необходимо расставить по объектам, на которых еще не выполнены земляные работы. Объектов, на которых можно интенсифицировать работы нет. Есть свободные объекты, но на них не подготовлен фронт работ.
6	Освободившиеся комплекты необходимо расставить по объектам. Есть свободные объекты, но на них уже выполнен весь комплекс земляных работ. Есть объекты, на которых уже выполняются земляные работы, но нет возможности их интенсифицировать.
7	Освободившиеся комплекты необходимо расставить по объектам. Есть только свободные объекты.
8	Освободившиеся комплекты необходимо расставить по объектам. Есть свободные объекты, на которых можно интенсифицировать выполнение работ.

Класс ситуаций	Управляющие воздействия
I	$УВ_1 \rightarrow УВ_2$
II	$УВ_1 \rightarrow УВ_2 \rightarrow УВ_3 \rightarrow УВ_6$
III	$УВ_1 \rightarrow УВ_4 \rightarrow УВ_5$
IV	$УВ_1 \rightarrow УВ_2 \rightarrow УВ_3 \rightarrow УВ_6 \rightarrow УВ_4 \rightarrow УВ_5$

Средняя продолжительность выполнения земляных работ определяется при условии максимально возможного насыщения фронта работ на объекте расчетными комплектами-модулями.

В соответствии с $УВ_3$ комплекты-модули направляются на свободный объект. Если имеется несколько свободных объектов с подготовленными фронтами работ, то расстановка комплектов производится в соответствии со средними суммарными продолжительностями выполнения земляных работ на этих объектах (согласно $УВ_6$). Управляющие воздействия $УВ_4$ и $УВ_5$ являются правилами снятия комплектов-модулей с объектов. В соответствии с $УВ_4$ комплекты считаются простаивающими из-за отсутствия свободных объектов и объектов с возможностью донезначения и подлежат снятию с объектов. Управляющие воздействие $УВ_5$ предусматривает снятие с объектов тех комплектов-модулей, которые закончили выполнение земляных работ на них и не могут быть ис-

пользованы для интенсификации работ на других объектах.

В реальных условиях производства земляных работ возникает много различных ситуаций и трудно принять по ним решение. Задача состоит в выборе управляющего решения (совокупности управляющих воздействий) выполнения земляных работ на объектах в запланированные сроки при минимальной величине условных суммарных затрат на компенсацию простоев машин и объектов. Множество возможных ситуаций в разрабатываемой модели можно сгруппировать в четыре класса. Каждому из четырех классов соответствует совокупность управляющих воздействий. При изменении ситуации автоматически вырабатываются управляющие решения в соответствии с группами и классом возникающих ситуаций.

В основу формирования алгоритма расстановки комплектов-модулей по строительным объектам положен метод последовательных итераций, позволяющий произве-

сти минимизацию целевой функции (8). Разработанная модель позволяет получить рациональные варианты расстановки комплектов – модулей по объектам при любом значении N^{K-M}_i из интервала $[N^{K-M}_{min}; N^{K-M}_{max}]$.

Переход к реальным комплектам машин осуществляется по разработанной ранее методике с использованием переводных коэффициентов и учетом зон рационального использования комплектов машин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анненкова, О. С. С использованием имитационного механизма (О некоторых резервах повышения эффективности механизации земляных

работ) / О. С. Анненкова, С. Г. Собко // Механизация строительства. – 1990. – № 11. – С. 14-15.

2. Гусаков, А. А. Моделирование и применение вычислительной техники в строительном производстве / А. А. Гусаков, Н. И. Ильин, Ю. А. Куликов. – М.: Стройиздат, 1979. – 382 с.

3. Спектор, М. Д. Выбор оптимальных вариантов организации и технологии строительства / М. Д. Спектор. – М.: Стройиздат, 1980. – 159 с.

Анненкова О.С. – к.т.н., доцент кафедры «Технология и механизация строительства» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И.И. Ползунова, E-mail: 222-ru@mail.ru.

УДК 624.014.2

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ВЛИЯНИЯ НЕКОТОРЫХ ПАРАМЕТРОВ КОНСТРУКТИВНОЙ ФОРМЫ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИИ НА ЕЁ РАЦИОНАЛЬНОСТЬ С УЧЕТОМ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ РАСХОДОВ

А. В. Барышников, И. В. Харламов

Алтайский государственный технический университет
им. И.И. Ползунова, г. Барнаул

В работе представлены результаты численного эксперимента, проведенного для выявления закономерности влияния некоторых параметров конструктивной формы металлоконструкции на её рациональность с учетом эксплуатационных расходов. Численный эксперимент был проведен на основе разработанного метода выбора рациональной конструктивной формы металлоконструкций с учетом эксплуатационных расходов с применением созданного программного продукта PCMS. В работе предложены и проанализированы четыре варианта эксплуатации металлоконструкций с учетом воздействия агрессивной среды.

Ключевые слова: Конструктивная форма, варианты эксплуатации металлоконструкций, защитное покрытие, рациональность.

Количество эксплуатируемых металлоконструкций постоянно возрастает. Одновременно с этим из-за воздействия агрессивной среды растут и затраты на их содержание. Для сокращения этих затрат необходимо на стадии проектирования правильно подходить к выбору конструктивной формы металлоконструкции (далее КФМК) с учетом эксплуатационных расходов и всего срока службы металлоконструкции.

Для решения описанной проблемы был разработан метод выбора рациональной КФМК с учетом эксплуатационных расходов. В качестве инструмента реализации разработанного метода был создан программный продукт PCMS.

В рамках разработанного метода предложены четыре варианта эксплуатации металлоконструкций:

Первый – традиционный, предполагающий регулярное восстановление антикоррозионной защиты одновременно на всей поверхности МК, что приводит к большим затратам на содержание зданий и сооружений;

Второй – с возобновляемым защитным покрытием на отдельных элементах МК и плоскостях в определенные периоды времени, позволяющий добиться сокращения эксплуатационных затрат за счет более полного использования срока службы защитных покрытий элементов МК;

Третий – без устройства антикоррозионной защиты в течение всего периода экс-