

УМЕНЬШЕНИЕ ЗАТРАТ НА ОСНОВЕ ОПТИМИЗАЦИИ КОМПЛЕКТА МАШИН

О. С. Анненкова

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

В статье изложена методика использования комплектов машин для земляных работ при условии получения минимальных суммарных затрат.

Ключевые слова: земляные работы, комплект машин, производительность экскаватора, уровень сложности работ.

На эффективность производства земляных работ оказывают влияние технологические, технические, организационные, природные, объемно - конструктивные и другие факторы. Задача математического моделирования состоит в выявлении количественной связи между влияющими факторами и результативным признаком.

Требование комплексного подхода к построению экономико-математических моделей критериев эффективности производства земляных работ обуславливают необходимость рассмотрения влияния на производственный процесс следующих основных факторов: технических, характеризующихся вместимостью ковша экскаватора; технологических, характеризующихся объемом и уровнем сложности производства земляных работ; организационных, характеризующихся продолжительностью производства земляных работ и расстояниями между объектами.

Минимальный объем выборки n исследуемых объектов, который должен обеспечить точность доверительной вероятности β , определяются по формуле

$$n = \frac{t^2 \cdot \sigma_0^2}{\Delta^2}, \quad (1)$$

где t – значение аргумента, при котором функция равна β ; σ_0^2 – генеральная дисперсия; Δ – предельная ошибка повторной выборки, равная 0,1.

Если принять доверительную вероятность $\beta = 0,9$, то значение $t = 1,641$.

Поскольку в нашем случае генеральная дисперсия σ_0^2 неизвестна, ее величиной задаемся равной

$$\sigma_0^2 = p \cdot q = 0,2,$$

где p – математическое ожидание; $q = 1 - p$.

Тогда имеем

$$n = \frac{1,641^2 \cdot 0,2}{0,1^2} = 49.$$

В качестве исходного материала для исследования влияния организационно-технологических факторов на эффективность производства земляных работ приняты статистические данные, полученные в результате анализа 50 объектов строительства.

Факторы, влияющие на эффективность производства земляных работ, действуют при следующих ограничениях:

$$\begin{aligned} 0,15 &\leq q_3 \leq 1,25 \text{ м}^3; \\ 700 &\leq V \leq 29000 \text{ м}^3; \\ 2 &\leq t \leq 112 \text{ смен}; \\ 0 &\leq S \leq 1; \\ 3 &\leq L \leq 125 \text{ км}, \end{aligned}$$

где q_3 – вместимость ковша экскаватора, м^3 ; V – объем земляных работ на объекте, м^3 ; t – продолжительность выполнения работ на объекте, смен; S – уровень сложности производства земляных работ; L – расстояние между объектами, км.

Для исследования комплекса вышеперечисленных факторов, определяющих условия производства земляных работ, на величину критерия эффективности – удельные приведенные затраты выполнен многофакторный регрессионный анализ. Регрессионный анализ проведет по стандартной программе определения параметров множественного уравнения регрессии. Программа предназначена для определения коэффициентов уравнения регрессии.

В результате расчетов получена зависимость удельных приведенных затрат ($Z_{уд}$) от влияющих факторов

$$Z_{уд} = 0,0442 + 0,0097L + 1,240t - 0,0237V + 0,631S. \quad (2)$$

Анализ полученной модели выявил мультиколлинеарность между величиной вместимости ковша экскаватора q_3 и продолжительностью выполнения работ t , что обусловило необходимость введения в модель одного из пользователей.

Множественный коэффициент корреляции равен 0,86. Для линейных зависимостей значение коэффициента корреляции достаточно высоко, следовательно можно с уверенностью использовать линейную регрессионную зависимость (2) для оценки влияния основных организационно-технологических факторов на удельные приведенные затраты.

Содержательная интерпретация модели показала, что знаки при коэффициентах, то есть направления действия влияющих факторов на величину критерия эффективности производства земляных работ соответствуют теоретическим представлениям. Из модели следует, что с увеличением объема работ на объекте величина удельных приведенных затрат имеет тенденцию к уменьшению, а с ростом продолжительности выполнения работ, уровня сложности, расстояния между объектами удельные приведенные затраты увеличиваются.

Для соизмерения влияния разнородных показателей, включенных в модель, на величину удельных приведенных затрат следует использовать коэффициент эластичности ($\mathcal{E}_i$), характеризующий в процентах изменение величины удельных приведенных затрат при изменении на 1% среднего значения i -го показателя (x_i) и фиксировании всех других показателей, включенных в модель

$$\mathcal{E}_i = \frac{a_i \cdot \bar{x}_L}{\bar{Z}_{y0}}, \quad (3)$$

где a_i – коэффициент регрессии при i -том факторе; $\bar{x}_L$ – среднее арифметическое значение факторов; $\bar{Z}_{y0}$ – среднее значение критерия эффективности.

В результате расчета получены следующие значения коэффициентов эластичности

$$\mathcal{E}_L = 0,0046; \quad \mathcal{E}_t = 0,212; \quad \mathcal{E}_V = -0,218; \\ \mathcal{E}_S = 0,0049.$$

Анализ частных показателей эластичности показывает, что наибольшее влияние на величину удельных приведенных затрат оказывает объем работ, затем по мере убывания значимости факторов – продолжительность производства работ, уровень сложности выполнения земляных работ и расстояние между объектами.

Использование полученной регрессионной модели (2) позволяет рассчитать один из основных технико-экономических показателей – величину удельных приведенных затрат в зависимости от изменения условия производства земляных работ.

Применение полученной модели для определения эффективности производства земляных работ облегчает расчеты по выбору рационального варианта распределения машин по строительным объектам.

Рациональные расстановка машин и последующие перебазирования обеспечивают выполнение заданных объемов работ с наименьшими затратами при действующих ограничениях. К таким ограничениям относятся сложность грунтовых условий и объемно-планировочного решения объекта, стесненность выполнения работ, разнообразие объемов работ и рассредоточенность объектов.

В качестве ведущей машины землеройно-транспортного комплекта принят однокоровый экскаватор с различной вместимостью ковша.

Установлено, что увеличение расстояния между объектами в 2-5 раз приводит к росту удельных приведенных затрат на 6% для комплектов машин с вместимостью ковша экскаватора 0,15-0,5 м³ и на 25% для экскаваторов с вместимостью ковша 0,65-1,0 м³. При равных условиях производства работ комплекты машин с большой вместимостью ковша экскаватора рационально использовать на ближних объектах, так как при их использовании на дальних объектах существенно возрастают затраты на перебазирование машин комплекта.

Увеличение продолжительности работ на объекте в 5-10 раз приводит к снижению удельных приведенных затрат на 2% для комплектов машин с вместимостью ковша экскаватора 0,15-0,5 м³ и на 8% для экскаваторов с вместимостью ковша 0,65-1,0 м³. Использование экскаваторов с большей вместимостью ковша на объектах с большей про-

должительностью работ повышает эффективность производства.

Одним из показателей эффективности механизации земляных работ является производительность экскаватора, выступающего в качестве ведущей машины экскаваторно-транспортного комплекта.

Выбор параметров землеройных машин и их производительность не могут быть определены без учета сложности производства земляных работ, которая обусловлена характером объемно-планировочного решения объекта и стесненностью производства работ.

Показатель уровня сложности производства работ механизированным способом может принимать значения $0 < S < 1$.

Повышение уровня сложности накладывает ограничение на возможность использования крупных машин, например, экскаваторов с большой вместимостью ковша.

Статистический анализ строительных объектов показал, что основная доля факторов, усложняющих производство земляных работ механизированным способом, обнаружена при сооружении объектов сельского строительства и при реконструкции промышленных предприятий.

При возведении объектов жилищно-гражданского, промышленного, гидромелиоративного строительства уровень сложности производства земляных работ механизированным способом близок к нулю [1].

Эксплуатационная производительность комплекта машин с учетом уровня сложности определяется по формуле

$$P_{\text{св}} = P_{\text{э}} \cdot (1 - a \cdot S), \quad (4)$$

где $P_{\text{э}}$ – эксплуатационная производительность машины без учета уровня сложности; a – коэффициент, зависящий от вместимости ковша экскаватора.

Для экскаваторов с ковшом вместимостью:

$$\begin{aligned} q = 0,15 \text{ м}^3 & \quad a = 1,1 & 0 \leq S \leq 0,91; \\ q = 0,5 \text{ м}^3 & \quad a = 1,8 & 0 \leq S \leq 0,55; \\ q = 1 \text{ м}^3 & \quad a = 2,7 & 0 \leq S \leq 0,37. \end{aligned}$$

При производстве земляных работ парком машин на нескольких строительных объектах увеличивается число возможных вариантов организации выполнения работ, что требует рационального распределения комплектов машин. Задача рационального распределения комплектов землеройных машин по строительным объектам имеет большое значение как фактор, способствующий повы-

шению эффективности механизации земляных работ. Важную роль выбор рационального варианта распределения приобретает при недостаточном количестве строительных машин для одновременного выполнения работ на всех объектах строительства.

При выборе рационального варианта расстановки комплектов машин по объектам должны быть известны: количество объектов и расстояние между ними; объемы и нормативная продолжительность выполнения работ на каждом объекте; сроки выполнения работ на объектах; количество комплектов машин и производительность каждого комплекта.

Задача состоит в выборе такого варианта перебазирования комплектов машин по объектам, при котором было бы обеспечено выполнение работ в установленные сроки при минимальных значениях стоимости, продолжительности и приведенных затрат.

Под рациональным распределением комплектов машин по объектам понимается такая расстановка комплектов по объектам и последующее перебазирование машин, при которых обеспечивается выполнение заданных объемов работ с наименьшими затратами при действующих ограничениях.

Математическая модель задачи определяет метод решения и должна объединять необходимое и достаточное количество формально описанных характеристик и условий для адекватного отражения физической и экономической сущности явлений. Чем больше учтено условий, тем полнее модель отражает особенности процесса, тем ближе она к реальности и тем точнее решение.

Однако учет всех факторов в реальных задачах делает модель громоздкой и сложной, решение которой существующими методами невозможно. Поэтому при составлении математической модели необходимо стремиться к всемерному ее упрощению, чтобы иметь возможность получить решение, приемлемое для практического использования с учетом имеющихся ресурсов.

Математической моделью задачи выбора рационального варианта распределения комплектов машин по строительным объектам является целевая функция с наложенными на нее ограничениями.

Расстановка комплектов машин по объектам при условии получения минимальных суммарных затрат предполагает использование критерия приведенных затрат [2]

$$Z_{\text{ПП}} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min, \quad (5)$$

при условии минимальной продолжительности выполнения работ предполагает использование критерия продолжительности

$$T = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n t_{ij} \rightarrow \min, \quad (6)$$

при условии получения минимальных затрат и продолжительности выполнения работ предполагается использование двух критериев

$$Z_{\text{пп}} \rightarrow \min; \quad (7)$$

$$T \rightarrow \min. \quad (8)$$

Задача решается при следующих ограничениях:
выполнение полного объема работ

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij} = \sum_{j=1}^n v_j, \quad (9)$$

продолжительности выполнения работ

$$0 \leq t_{ij} \leq t_{\text{инюр}}, \quad (10)$$

своевременности выполнения работ

$$\sum_{i=1}^m t_{ij} \leq D_j, \quad (11)$$

области эффективного использования комплектов машин по объемам работ

$$V_1 \leq X_{ij} \leq V_2, \quad (12)$$

где C_{ij} – удельные приведенные затраты при выполнении работ i -м комплектом машин на j -м объекте; X_{ij} – объем работ, выполняемый i -м комплектом машин на j -м объекте; t_{ij} – продолжительность выполнения работ i -м комплектом машин на j -м объекте; $t_{j/\text{норм}}$ – нормативная продолжительность выполнения работ на j -м объекте; D_j – срок окончания работ на j -м объекте; V_1, V_2 – граничные объемы работ области эффективного использования машин.

Методика выбора и расстановки комплектов машин по объектам при минимальных затратах и минимальной продолжительности выполнения работ предусматривает два этапа. На первом этапе формируется нормативно-статистическая информация в виде матриц удельных приведенных затрат, являющихся технико-экономическими показателями работы комплектов машин. На втором этапе осуществляется сопоставление вариантов расстановки комплектов машин по объектам и выбор варианта, рационального по заданному критерию.

В целях определения матрицы удельных приведенных затрат сформированы матрицы стоимостей перебазирования комплектов машин, продолжительности работ на объектах, стоимостей машино-смены их работы, приведенных затрат на проведение земляных работ каждым комплектом машин на каждом объекте.

Данная задача не рассматривает варианты производства земляных работ механизированным способом, связанных с добавлением машин в комплекты или увеличения числа комплектов, занятых на объекте, если на некоторых объектах земляные работы заканчиваются раньше. В этих условиях экономически нецелесообразно перестроировать комплекты машин, так как с одной стороны дополнительные затраты на перебазировку машин могут не компенсироваться сокращением срока строительства, а с другой – поступление новой заявки на производство земляных работ может вызвать необходимость нового перераспределения комплектов машин.

Рассматриваемая задача распределения комплектов землеройных машин по строительным объектам относится к типу распределительных задач линейного программирования. Решение задачи допускает несбалансированное соотношение имеющихся и требуемых ресурсов с динамическим распределением имеющихся ресурсов во времени.

При решении данной распределительной задачи выбран метод упорядоченного перебора вариантов организации производства земляных работ на строительных объектах.

На основании ранее разработанных методик осуществляется расстановка комплектов машин по объектам производства земляных работ в условиях нового строительства и объектам, характеризующимся отсутствием сложности выполнения работ.

Расстановка комплектов машин, которые характеризуются сложностью объемно-планировочного решения и стесненными условиями выполнения работ, осуществляется по методике, учитывающей уровень сложности земляных работ путем ввода в ранее разработанные методики ряда дополнительных положений.

Расчет производительности комплектов машин выполняется с учетом сложности земляных работ на объекте. Рациональная расстановка комплектов по объектам осуществляется путем назначения на объект комплекта машин, обеспечивающего максимальную производительность в заданных условиях выполнения земляных работ.

Исходя из анализа объемно-планировочных решений объектов и стесненности выполнения работ, а также технических характеристик землеройных машин сформулировано дополнительное к выражениям (8-11) ограничение области эффективного использования комплектов машин по уровню сложности земляных работ

$$0 \leq S_{ij} \leq S_{i \max}, \quad (13)$$

где S_{ij} – уровень сложности производства земляных работ на j -м объекте, обслуживаемом i -м комплектом машин; $S_{i \max}$ – максимальное значение уровня сложности для i -го комплекта.

Разработанные модели рационального распределения комплектов машин по объектам производства земляных работ учитывают многообразие объемно-планировочных решений объектов и стесненности выполнения работ через уровень сложности производства земляных работ, а также многовариантность организации и технологии производства ра-

бот в зависимости от выбранного критерия эффективности.

Выводы:

1. Разработанные методики позволяют осуществить расстановку комплектов машин по объектам для повышения эффективности механизации земляных работ с учетом комплексного влияния следующих факторов: уровня сложности земляных работ, расстояния между объектами, объемов работ и сроков их выполнения.

2. Разработанная программа расчетов позволяет выбрать рациональный вариант расстановки комплектов машин по объектам строительства в заданных организационно-технологических условиях с учетом сложности выполнения работ.

3. Экономический эффект от внедрения предлагаемой методики заключается в уменьшении затрат и росте прибыли за счет рационального выбора комплекта машин и обеспечения максимальной производительности при заданной сложности земляных работ на объекте.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кандаурова, Н. М. Пути повышения эффективности применения землеройной техники / Н. М. Кандаурова, О. С. Анненкова // Актуальные проблемы строительства: тезисы докл. научн.-техн. конф., Воронеж. – 1987. – С. 29-30.

2. Канторер, С. Е. Методы обоснования эффективности применения машин в строительстве / С. Е. Канторер. – М. : Госстройиздат, 1989. – 293 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.