

## РЕЗЕРВЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕХАНИЗАЦИИ ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ

О.С. Анненкова

*В статье рассматриваются факторы, влияющие на эффективность механизации земляных работ: объем работ, тип грунта, сложность и продолжительность выполнения земляных работ, расстояние между объектами.*

*Ключевые слова: объем работ, тип грунта, сложность и продолжительность выполнения земляных работ, расстояние между объектами.*

В условиях рыночных отношений повышается заинтересованность строительных организаций в повышении эффективности механизации земляных работ и получении наибольшей прибыли от применяемой техники. В современных условиях затраты на механизацию работ являются одним из определяющих ценообразующих факторов. Поэтому повышение эффективности использования машин приводит к существенному повышению эффективности механизации земляных работ.

Важным условием увеличения прибыли является эффективное использование строительных машин, существенно зависящее от их распределения по объектам производства работ.

Одним из резервов повышения эффективности механизации земляных работ является обоснованное распределение строительной техники по объектам в соответствии с областями их рационального использования при учете многообразия действующих факторов. Это может быть достигнуто на основе разработки таких методов распределения машин по объектам, которые позволили бы комплексно учесть организационно-технологические факторы, оказывающие влияние на эффективность механизации земляных работ.

Сложность объемно-планировочных решений объектов, стесненность производства земляных работ, рассредоточенность объектов накладывают определенные ограничения на использование машин. Появляется необходимость учитывать при распределении машин по объектам комплекс этих организационно-технологических факторов.

Своевременность и быстрота выполнения возрастающих объемов земляных работ, с одной стороны, требуют использования высокопроизводительных машин, а с другой – необходимо эффективное применение каж-

дой машины в соответствии с их областями рационального использования. Преодоление этого противоречия за счет эффективной организации работ и рационального распределения землеройной техники по объектам строительства является важной проблемой, имеющей большое научное и практическое значение.

Рациональное распределение землеройной техники по объектам включает в себя: рациональную первоначальную расстановку машин и последующее рациональное перемещение освобождающихся по мере выполнения работ машин на другие объекты.

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 механизации земляных работ обуславливает необходимость рассмотрения влияния на производственный процесс следующих основных факторов: технических, характеризующихся вместимостью ковша экскаватора ( $q$ ); технологических – объемом ( $V$ ) и уровнем сложности ( $S$ ) выполнения земляных работ; организационных, характеризующихся продолжительностью производства земляных работ ( $t$ ) и расстояниями между объектами ( $L$ ).

В качестве исходного материала для исследования влияния организационно-технологических факторов на эффективность механизации земляных работ приняты статистические данные, полученные в результате анализа 60 объектов строительства.

В качестве критерия эффективности производства земляных работ принята вели-

## РЕЗЕРВЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕХАНИЗАЦИИ ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ

чина удельных приведенных затрат, учитывающая одновременно себестоимость работ и капитальные вложения в средства механизации.

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

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

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

Множественный коэффициент корреляции равен 0,86. Для линейных зависимостей значение коэффициента корреляции достаточно высоко, следовательно, можно с уверенностью использовать линейную регрессионную зависимость (1) 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 механизации 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.

Наибольшее влияние на величину критерия эффективности оказывает продолжительность выполнения работ, затем по мере убывания — уровень сложности производства земляных работ, объем работ и расстояние между объектами строительства.

Использование полученной регрессионной модели позволяет рассчитать один из основных технико-экономических показателей – величину удельных приведенных затрат в зависимости от изменения условий производства земляных работ. Применение полученной модели (1) для определения эффективности механизации земляных работ облегчает экспертные расчеты по выбору рационального варианта распределения машин по строительным объектам.

Рациональные расстановка машин и последующие переоборудования обеспечивают выполнение заданных объемов работ с наи-

меньшими 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 одноковшовый 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 м<sup>3</sup> и на 25% для экскаваторов с вместимостью ковша 0,65—1,0 м<sup>3</sup>. 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 переоборудование 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 м<sup>3</sup> и на 8 % для экскаваторов с вместимостью ковша 0,65—1,0 м<sup>3</sup>. Использование экскаваторов с большей вместимостью ковша на объектах с большей продолжительностью 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.

Количественная оценка уровня сложности выполнения земляных работ установлена на основе исследования факторов, определяющих условия производства земляных работ. Показатель уровня сложности характеризует количественную меру влияния этого фактора на производительность экскаватора при производстве земляных работ на данном объекте по сравнению с условным. Условный объект представляет собой выемку, не имеющую ограничений параметров фронта работ землеройных машин, участвующих в производственном процессе. Показатель уровня сложности производства работ меха-

низированным 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 обнаружены 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.

Эксплуатационная производительность комплекта машин с учетом уровня сложности определяется по формуле:

$$P_{эс} = P_э (1 - aS) \quad (2)$$

где  $P_э$  - эксплуатационная производительность машины без учета уровня сложности;  $a$  - коэффициент, зависящий от вместимости ковша экскаватора.

Для экскаваторов с ковшом вместимостью:

$$\begin{array}{lll} q=0.15\text{м}^3 & a = 1,1 & 0 \leq S \leq 0,91; \\ q=0.5\text{м}^3 & a = 1,8 & 0 \leq S \leq 0,55; \\ q=1\text{м}^3 & a = 2,7 & 0 \leq S \leq 0,37. \end{array}$$

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 повышению эффективности механизации земляных работ и повышения на этой основе эффективности строительного производства. 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 вариан-

та перебазирования комплектов машин по объектам, при котором было бы обеспечено выполнение работ в установленные сроки при минимальных стоимости, продолжительности и приведенных затратах.

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 [1]

$$Z_{ПП} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min \quad (3)$$

при условии минимальной продолжительности выполнения работ предполагает использование критерия продолжительности

$$T = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n t_{ij} \rightarrow \min \quad (4)$$

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

$$Z_{пр} \rightarrow \min; \quad (5)$$

$$T \rightarrow \min. \quad (6)$$

на основе критерия близости к идеальной точке [2]

$$K_{б.и.т.} \rightarrow 1. \quad (7)$$

Задача решается при следующих огра-

## РЕЗЕРВЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕХАНИЗАЦИИ ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ

ничениях:

выполнение полного объема работ

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij} = \sum_{j=1}^n v_j \quad (8)$$

продолжительности выполнения работ

$$0 \leq t_{ij} \leq t_{иннор} \quad (9)$$

своевременности выполнения работ

$$\sum_{i=1}^m t_{ij} \leq D_j \quad (10)$$

области эффективного использования комплектов машин по объемам работ

$$V_1 \leq X_{ij} \leq V_2 \quad (11)$$

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;  $t_{j/норм}$  - 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.

Выбор варианта сводится к формированию конкурирующих вариантов и сопоставлению их эффективности по общей продолжительности и суммарным приведенным затратам на выполнение работ на объектах. Каждый из сравниваемых вариантов распределения комплектов машин по объектам обладает как положительными, так и отрицательными качествами. Сложность выбора заключается в противоречивости критериев. Отсюда возникает необходимость в применении

компромисса. Комплексная оценка и выбор варианта производится с использованием метода по критерию близости к идеальной точке (7). Метод заключается в формировании критерия на основе отклонения варианта от идеального, составленного из лучших показателей эффективности сравниваемых вариантов.

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 переформировывать 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

$$0 \leq S_{ij} \leq S_{i \max} \quad (12)$$

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.

При производстве работ на объектах сельского строительства и реконструируемых промышленных объектах, характеризующихся наиболее высоким уровнем сложности производства земляных работ, эффективное их выполнение и требуемое качество достигается путем подбора для конкретного объекта строительства соответствующего комплекта машин, который обеспечит наибольшую производительность в заданных условиях выполнения земляных работ.

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 работ 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. На этой основе могут быть решены следующие практические задачи при расстановке комплектов машин по объектам: получение максимальной прибыли строительной организацией, управлением механизации; максимального эффекта в строительстве.

2. Разработанная программа расчетов позволяет выбрать рациональный вариант расстановки комплектов машин по объектам строительства в заданных организационно-технологических условиях с учетом сложности выполнения работ. На основании предложенной методики может быть решена обратная задача.

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. Канторер С.Е. Методы обоснования эффективности применения машин в строительстве. М.: Госстройиздат, 1989. - 293 с.
2. Завадскас Э.К. Комплексная оценка и выбор ресурсосберегающих решений в строительстве. Вильнюс: Моксклас, 1997. - 212 с.