

МЕТОДИКА ПЕРЕХОДА ОТ РАСЧЕТНЫХ КОМПЛЕКТОВ-МОДУЛЕЙ К РЕАЛЬНЫМ КОМПЛЕКТАМ МАШИН

О. С. Анненкова

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

В статье рассматривается формирование расчетных комплектов-модулей и переход к реальным комплектam машин для производства земляных работ.

Ключевые слова: комплект-модуль, обобщенный объем копания, расстановка комплектов машин по объектам.

Анализ технологических схем производства земляных работ на объемах строительства показывает, что при разработке талого грунта процесс механизированного производства работ можно представить состоящим из 4-х операций: копание, транспортирование, разравнивание и уплотнение грунта. При разработке мерзлого грунта в эту последовательность включается дополнительно операция рыхления грунта. Вся совокупность технологических операций может выполняться различными комплектами машин, а каждая операция в зависимости от объема работ, сложности их производства, дальности транспортировки грунта – различными машинами.

При производстве земляных работ считают в качестве основной – операцию копания грунта, остальные операции определяют как вспомогательные. Учет выполнения нескольких вспомогательных операций, включенных в процесс производства земляных работ, встречает определенные трудности. При расчете производительности на каждой операции соответствующие размерности будут отличаться друг от друга. Так при копании производительность выражается в м³/ч, при планировочных работах – м²/ч. Для устранения этого несоответствия вводим понятие "обобщенный объем копания", который представляет собой условный суммарный объем работ, выполняемый комплектом машин и приведенный к единой системе единиц измерения (обобщ. м³). Обобщенный объем копания будет зависеть от количества операций в технологическом процессе, типа и производительности применяемых машин, грунтовых условий.

При выполнении на объекте операций копания грунта обобщенный объем копания определяется по формуле

$$V_{\text{коб}} = K_{\text{э}} \cdot K_{\text{гр}} \cdot V_{\text{к}}, \quad (1)$$

где $K_{\text{э}}$ – коэффициент, зависящий от типа и размерной группы экскаватора, его рабочего оборудования и вместимости ковша (условно принимаем $K_{\text{э}} = 1$ для гидравлического экскаватора 4-той размерной группы с рабочим оборудованием обратная лопата, $q = 0,65 \text{ м}^3$); $K_{\text{гр}}$ – коэффициент, зависящий от группы разрабатываемого грунта и его состояния (условно принимаем $K_{\text{гр}} = 1$ при разработке талого грунта II-ой группы).

Для других типов экскаваторов величину $K_{\text{э}}$ определяем, учитывая норму времени и расценки выполнения единицы объема копания. Аналогично определяем $K_{\text{гр}}$ для других групп грунтов.

Расценки на выполнение единицы объема земляных работ пропорциональны временным затратам, поэтому

$$K_{\text{э}} = \frac{\rho_{\text{э,факт.}}}{\rho_{0,65}}; \quad K_{\text{гр}} = \frac{\rho_{\text{гр,факт.}}}{\rho_{\text{II}}}, \quad (2)$$

где $\rho_{\text{э,факт.}}$, $\rho_{0,65}$ – расценки на разработку 100 м³ грунта II-ой группы соответственно фактически применяемым экскаватором и гидравлическим экскаватором с рабочим оборудованием обратная лопата, $q = 0,65 \text{ м}^3$; ρ_{II} – расценки на разработку 100 м³ грунта соответственно фактической группы и II-ой экскаватором с рабочим оборудованием обратная лопата, $q = 0,65 \text{ м}^3$.

При выполнении на объекте операции копания и транспортировки грунта обобщенный объем копания будет больше объема чистого копания на величину V_1

$$V_{\text{к.об.}} = K_{\text{э}} \cdot K_{\text{гр}} \cdot V_{\text{к}} + V_1, \quad (3)$$

МЕТОДИКА ПЕРЕХОДА ОТ РАСЧЕТНЫХ КОМПЛЕКТОВ-МОДУЛЕЙ К РЕАЛЬНЫМ КОМПЛЕКТАМ МАШИН

где V_1 – объем работ операции транспортировки грунта.

При выполнении на объекте трех операций: копания, транспортирования и разравнивания грунта обобщенный объем копания определится следующим образом

$$V_{\text{к.об.}} = K_3 \cdot K_{\text{гр}} \cdot V_{\text{к}} + V_1 + V_2, \quad (4)$$

где V_2 – объем работ разравнивания грунта.

При включении в технологический процесс операции уплотнения обобщенный объем копания увеличится на величину V_3

$$V_{\text{к.об.}} = K_3 \cdot K_{\text{гр}} \cdot V_{\text{к}} + V_1 + V_2 + V_3, \quad (5)$$

где V_3 – объем работ уплотнения грунта.

При разработке мерзлых грунтов в механизированный процесс производства земляных работ включается операция рыхления грунта, а обобщенный объем копания увеличится в этом случае на величину V_0 .

Для случая, когда механизированный процесс производства земляных работ на объекте включает в себя весь набор технологических операций, обобщенный объем копания определяется

$$V_{\text{к.об.}} = K_3 \cdot K_{\text{гр}} \cdot V_{\text{к}} + V_0 + V_1 + V_2 + V_3, \quad (6)$$

где V_0 – объем работ рыхления грунта.

Величины V_0 , V_1 , V_2 , V_3 определяются исходя из временных затрат на выполнение соответствующих операций. Имея в виду, что расценки на выполнение единицы объема работ пропорциональны временным затратам, будет считать, что

$$V_0 = K_p \cdot K_{\text{ср}} \cdot K_{\text{рых.}} \cdot V_{\text{рых.}}; \quad (7)$$

$$K_p = \frac{\rho_{\text{р.ф.}}}{\rho_{\text{к-б}}}; K_{\text{рых.}} = \frac{\rho_{\text{рых.}}}{\rho_{\text{к}}},$$

$$V_1 = K_a \cdot d \cdot K_{\text{тр}} \cdot V_{\text{тр}};$$

$$K_a = \frac{\rho_{\text{а.ф.}}}{\rho_{\text{м}}}; d = \frac{t_{\text{лф}}}{t_1}; K_{\text{тр}} = \frac{\rho_{\text{тр}}}{\rho_{\text{к}}}, \quad (8)$$

$$V_2 = K_{\text{б}} \cdot K_{\text{ср}} \cdot K_{\text{разг.}} \cdot V_{\text{разг.}};$$

$$K_{\text{б}} = \frac{\rho_{\text{бф}}}{\rho_{90}}; K_{\text{разг.}} = \frac{\rho_{\text{разг.}}}{\rho_{\text{к}}}, \quad (9)$$

$$V_3 = K_{\text{м}} \cdot K_{\text{м}} \cdot K_{\text{у}} \cdot V_{\text{у}};$$

$$K_{\text{м}} = \frac{\rho_{\text{м.ф.}}}{\rho_{\text{пр.к}}}; K_{\text{м}} = \frac{\rho_{\text{м.ф.}}}{\rho_{0,5}}; K_{\text{у}} = \frac{\rho_{\text{у}}}{\rho_{\text{к}}}, \quad (10)$$

где $V_{\text{рых.}}$, $V_{\text{к}}$, $V_{\text{тр}}$, $V_{\text{разг.}}$, $V_{\text{у}}$ – объемы работ по выполнению рыхления, копания, транспортирования, разравнивания и уплотнения грунта; $\rho_{\text{к}}$, $\rho_{\text{рых.}}$, $\rho_{\text{тр}}$, $\rho_{\text{разг.}}$, $\rho_{\text{у}}$ – расценки соответственно за 100 м³ копания, рыхления, транспортирования, разравнивания и уплотнения грунта (условно принимаем, что копание производится в этом случае гидравлическим экскаватором с рабочим оборудованием обратная лопата и вместимостью ковша $q = 0,65$ м³, транспортировка грунта – автосамосвалами с грузоподъемностью 7 т на расстояние 1 км, рыхление – клин-бабой на глубину 0,5 м, разравнивание – бульдозером с номинальным тяговым усилием трактора 90 кН, уплотнение – прицепными катками; $K_{\text{рых.}}$, $K_{\text{тр}}$, $K_{\text{разг.}}$, $K_{\text{у}}$ – коэффициенты перехода от объемов соответственно рыхления, транспортирования, разравнивания и уплотнения грунта к объему копания; $K_{\text{р}}$, $K_{\text{а}}$, $K_{\text{б}}$, $K_{\text{м}}$ – коэффициенты, зависящие соответственно от типа оборудования для рыхления грунта, от грузоподъемности самосвалов, типа бульдозера, типа уплотняющей машины; $\rho_{\text{р.ф.}}$, $\rho_{\text{к-б}}$ – расценки на рыхление 100 м³ грунта группы I_м соответственно фактически применяемым способом и клин-бабой на глубину 0,5 м; $\rho_{\text{аф.}}$, $\rho_{\text{т}}$ – расценки на транспортировку 100 м³ грунта автосамосвалами соответственно фактической грузоподъемности и грузоподъемности 7 т; d – коэффициент, учитывающий дальность транспортировки грунта; $t_{\text{лф}}$, t_1 – время движения автосамосвалов по маршруту соответственно при фактическом расстоянии транспортировки грунта и при расстоянии транспортировки 1 км; $\rho_{\text{бф.}}$, ρ_{90} – расценки на разравнивание 100 м³ грунта II-ой группы соответственно фактически применяемым бульдозером и бульдозером с номинальным тяговым усилием трактора 90 кН; $\rho_{\text{мф.}}$, $\rho_{\text{пр.к}}$ – расценки на уплотнение 100 м³ грунта соответственно фактически применяемой машиной и прицепным катком к трактору Т-100; $K_{\text{т}}$ – коэффициент, зависящий от толщины уплотняемого слоя; $\rho_{0,5}$ – расценки на уплотнение 100 м³ грунта прицепным катком соответственно на фактическую глубину и на глубину 0,5 м.

Обобщенный объем копания грунта при выполнении процесса, включающего в себя весь набор технологических операций, определяется по формуле

$$V_{\text{к.об.}} = K_{\text{р}} \cdot K_{\text{гр}} \cdot K_{\text{рых.}} \cdot V_{\text{рых.}} + K_3 \cdot K_{\text{гр}} \cdot V_{\text{к}} + K_{\text{а}} \cdot d \cdot K_{\text{тр}} \cdot V_{\text{тр}} + K_{\text{б}} \cdot K_{\text{гр}} \cdot K_{\text{разг.}} \cdot V_{\text{разг.}} + K_{\text{м}} \cdot K_{\text{т}} \cdot K_{\text{у}} \cdot V_{\text{у}}; \quad (11)$$

В общем виде эту формулу можно представить

$$V_{к.об.} = K_3 \cdot K_{zp} \cdot V_k + \sum_{j=1}^n V_j \cdot K_j^{об}, \quad (12)$$

где V_j – объем работ по выполнению j -ой вспомогательной операции; $K_j^{об}$ – общий коэффициент перехода от объема работ по выполнению j -ой вспомогательной операции процесса к объему копания грунта; $j = 1, 2, \dots, n$ – количество вспомогательных технологических операций, входящих в рассматриваемый механизированный процесс производства земляных работ.

В основу разделения объектов на группы положен вид земляных работ, а также их объем в физическом измерении. Эти показатели оказывают наиболее существенное влияние на выбор главных параметров ведущих и вспомогательных машин-комплектов.

Типизация объектов производства земляных работ и выявление их структуры проведены на основе анализа 591 объекта производства земляных работ.

Статистическая обработка и анализ полученной информации показали: на 53% от общего числа строительных объектов необходимо выполнение двух или трех видов земляных работ – отрывка котлованов, отрывка траншей коммуникаций, обратная засыпка, вертикальная планировка; 86,3% всего объема земляных работ выполняется экскаваторами, в том числе 76,1% – с погрузкой в транспортные средства, 10,2% – в отвал; 13,7% всего объема работ выполняется бульдозерами; на 55,2% объектов разработка грунта производится экскаваторами с погрузкой в автотранспорт и вывозкой на расстояние до 1 км.

Структура земляных работ на объектах строительства приведена в таблице 1.

Методами статистического анализа определены количество r и ширина ΔV интервалов земляных работ. Величина r устанавливается по формуле

$$r = 1,15[0,142(n-1)^2]^{0,27} \quad (13)$$

и равна 15, следовательно, весь диапазон объемов земляных работ необходимо разбить на 15 интервалов.

$$\Delta V = \frac{V_{\max} - V_{\min}}{r} \text{ и равна } 3000 \text{ м}^3.$$

В связи с тем, что в каждом из последних 9 интервалов оказалось не более пяти значений объемов работ, они объединены в один открытый интервал 0...300 м³. В итоге объемы земляных работ на объектах разбиты на шесть интервалов.

Установлено, что наиболее типичными являются объекты с двумя-тремя видами земляных работ, объемы которых с наибольшей вероятностью попадают в интервал 300...3000 м³.

Разработка грунта на этих объектах из-за стесненности строительных площадок производится в основном экскаваторами с погрузкой в автотранспорт, то есть требуется применение экскаваторно-транспортных комплектов машин.

Анализ статистической информации по объектам строительства показал, что производство земляных работ осуществляется при реконструкции промышленных предприятий и новом строительстве объектов. Реконструкция представляет собой переустройство существующих цехов и объектов действующих предприятий. Установлено, что 15% от общего числа объектов составляют реконструируемые промышленные объекты.

Таблица 1 – Структура земляных работ на объектах и разделение объемов работ по видам

№	Объемы земляных работ, м ³	Виды земляных работ							
		Отрывка котлованов		Отрывка траншей		Обратная засыпка		Вертикальная планировка	
		Кол-во объектов	Частота появления	Кол-во объектов	Частота появления	Кол-во объектов	Частота появления	Кол-во объектов	Частота появления
1	0...300	22	0,049	13	0,052	6	0,15	5	0,025
2	300...3000	203	0,455	111	0,443	26	0,65	111	0,572
3	3000...6000	104	0,231	52	0,207	4	0,100	26	0,132
4	6000...9000	57	0,126	25	0,099	2	0,05	13	0,062
5	9000...12000	31	0,068	20	0,800	2	0,05	17	0,085
6	Свыше 12000	35	0,077	30	0,119	-	-	25	0,124
	Всего	452	1,000	251	1,000	40	1,000	199	1,000

Технологический процесс производства земляных работ в общем случае можно описать схемой, состоящей из пяти технологических операций: рыхление, копание, транспортирование, разравнивание, уплотнение. Основная из них – операция копания, присутствует в каждом технологическом процессе, остальные – вспомогательные, включают в процессы по необходимости.

Парк машин для производства земляных работ можно представить состоящим не из отдельных машин, а из некоторого числа расчетных комплектов-модулей. Расчетный комплект-модуль является структурной единицей парка машин, которая имеет оптимальный состав и постоянную производительность для определенных условий производства земляных работ.

Все объемы земляных работ на объектах приводятся к обобщенному объему копания. Эти объемы нужно выполнить парком машин, состоящим из N^{K-M}_n расчетных комплектов-модулей.

Заданные сроки выполнения земляных работ на строительных объектах можно обеспечить определенным количеством расчетных комплектов-модулей

$$N^{K-M}_n = \frac{V^{\Sigma}_{к.об}}{\Pi^{K-M}_{обобщ} \cdot t \cdot K_{см}}, \quad (14)$$

где $V^{\Sigma}_{к.об}$ – обобщенный объем копания на всех объектах производства работ, обобщ. m^3 ; $\Pi^{K-M}_{обобщ}$ – обобщенная сменная производительность расчетного комплекта-модуля, обобщ. $m^3/см$; t – количество смен, запланированное на выполнение земляных работ на всех объектах; $K_{см}$ – коэффициент сменности работы комплектов.

Расстановка комплектов-модулей по объектам производится с учетом основных организационно-технологических факторов: обобщенного объема копания, заданных сроков выполнения работ, взаимных расстояний между объектами, сменной производительности расчетного комплекта-модуля. Расстановка комплектов-модулей значительно упрощается тем, что все они имеют одинаковую производительность.

Расчетный комплект-модуль формируется исходя из условий выполнения наиболее вероятного набора операций механизированного процесса производства земляных работ на объектах строительства. Анализ технологических схем и проведенная типизация объ-

ектов показали, что наиболее часто выполняется механизированный процесс, состоящий из 3-х операций: копания, транспортирования и разравнивания грунта. Для выполнения этого процесса может быть использован типовой комплект – «ведущая машина – транспортирующие машины – вспомогательная машина» («ВМ-ТМ-ВСМ»). Это определит структуру расчетного комплекта-модуля.

Анализ информации по производству земляных работ показал, что основной объем земляных работ на объектах строительства выполняется одноковшовыми экскаваторами с погрузкой в автотранспорт. Стесненность строительных площадок и относительно небольшие размеры земляных сооружений не позволяют применять бульдозеры и скреперы в качестве ведущих машин технологических комплектов.

В этих условиях в качестве ведущей машины расчетного комплекта-модуля целесообразно выбрать одноковшовый экскаватор. Рабочее оборудование принято – обратная лопата, как наиболее часто используемое для разработки грунта на объектах строительства.

Исходя из зон рационального использования одноковшовых экскаваторов и частоты появления различных объемов земляных работ, определяется тип, размерная группа и вместимость ковша экскаватора.

Проведенная типизация объектов показала, что наиболее часто встречаются объемы, попадающие в интервал 300...3000 m^3 . В связи с этим в качестве ведущей машины расчетного комплекта-модуля принимаем одноковшовый экскаватор четвертой размерной группы марки ЭО-4121А с вместимостью ковша 0,65 m^3 . Экскаваторы этого типа широко применяются для производства земляных работ на объектах строительства.

В соответствии с типом и производительностью ведущей машины выбираются транспортирующие машины.

Расстояние транспортировки грунта влияет на количество транспортирующих машин, так как ведущая машина – экскаватор в расчетном комплекте-модуле одна и для обеспечения ее высокопроизводительной работы в забое достаточно одной вспомогательной машины – бульдозера.

Анализ информации о строительных объектах показал, что в 60% случаев транспортировка грунта производится на расстояние до 1 км. Для обеспечения беспростойной работы экскаватора ЭО-4121А с ковшом вме-

стимостью $0,65 \text{ м}^3$ при транспортировке грунта на расстоянии 1 км в составе расчетного комплекта-модуля должно быть три автосамосвала грузоподъемностью 7 т .

Сформирован следующий состав расчетного комплекта-модуля:

Экскаватор ЭО-4121А – 1 шт.

Автосамосвалы МАЗ-503Б – 3 шт.

Бульдозер ДЗ-101 – 1 шт.

Сменная эксплуатационная производительность комплекта машин определяется производительностью его ведущей машины, то есть экскаватора.

На основе положений, изложенных в [2] получаем, что сменная эксплуатационная производительность экскаватора равно $300 \text{ м}^3/\text{см}$.

Сменная эксплуатационная производительность расчетного комплекта-модуля в обобщенных единицах определяется по формуле

$$P_{\text{обобщ}}^{K-M} = P_{\text{э.см}} \cdot (1 + K_{\text{тр}} + K_{\text{разр}}), \quad (15)$$

где $K_{\text{тр}}$, $K_{\text{разр}}$ – коэффициенты перехода от объемов соответственно транспортирования и разрыхления грунта к объему копания; $P_{\text{э.см}}$ – сменная эксплуатационная производительность экскаватора, $\text{м}^3/\text{см}$.

В результате расчета получаем, что сменная эксплуатационная производительность расчетного комплекта-модуля, выраженная в обобщенных единицах, равна $980 \text{ обобщ. м}^3/\text{см}$.

Переход от расчетных комплектов-модулей к реальным комплектам осуществляется на основании зон рационального использования комплектов машин [1]. В зависимости от объемов работ, расстояния транспортировки грунта для каждой зоны можно сформировать рациональный по структуре и составу зональный комплект-модуль для производства заданного объема работ в конкретных условиях. В качестве конкретных зон можно выбрать интервалы объемов земляных работ, полученные при типизации объектов.

В основу методики перехода от расчетного комплекта-модуля к реальным комплектам положена возможность выражения производительности каждого зонального ком-

плекта через производительность расчетного комплекта-модуля. Пересчет числа комплектов производится через коэффициент, равный отношению сменной эксплуатационной производительности реального комплекта к сменной эксплуатационной производительности расчетного комплекта-модуля

$$r_K = \frac{P_{\text{см.К}}}{P_{\text{см}}^{K-M}}, \quad (16)$$

где $P_{\text{см.К}}$ – сменная эксплуатационная производительность реального комплекта машин, рационального по составу для K -ой зоны, $\text{м}^3/\text{см}$; $P_{\text{см}}^{K-M}$ – сменная эксплуатационная производительность расчетного комплекта-модуля, $\text{м}^3/\text{см}$.

Выводы:

1. Использование показателя обобщенного условного объема копания позволяет провести суммирующий учет выполненных объемов различных видов земляных работ, типа применяемых машин и условий производства работ.

2. Использование обобщенного условного комплекта-модуля в качестве структурной единицы парка машин позволяет упростить описание процессов производства земляных работ и расстановки комплектов машин по объектам.

3. Согласно изложенной методике осуществляется переход от расчетных комплектов-модулей к реальным комплектам машин для производства земляных работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анненкова, О. С. Оптимальное распределение парка машин по объектам производства работ // Повышение эффективности и качества строительства в новых условиях хозяйствования: Сборник научных трудов, ДИСИ. – 1991. – С. 14-16.
2. Епифанов, С. П. Машины для земляных работ / С. П. Епифанов, В. М. Казаринов, И. А. Онуфриев. – М. : Стройиздат, 1982. – 263 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.