

В.А. Седнев

(Академия ГПС МЧС России; e-mail: sednev70@yandex.ru)

МЕТОДИКА ОБОСНОВАНИЯ И ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМПЛЕКСА СРЕДСТВ МЕХАНИЗАЦИИ РАБОТ ПО РАЗВЁРТЫВАНИЮ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ ФОРМИРОВАНИЙ

Предложен научно-методический аппарат, позволяющий обосновывать комплексы средств механизации работ по развёртывания аварийно-спасательных формирований, в том числе в особых условиях.

Ключевые слова: работы по развёртывания аварийно-спасательных формирований, аварийно-спасательные работы, средства механизации, критерий эффективности.

V.A. Sednev

METHODS OF STUDY AND ASSESSMENT THE EFFECTIVENESS COMPLEX MECHANIZATION OF WORKS ON DEPLOYMENT OF RESCUE FORCES

Proposed methodological apparatus, allowing to justify the complexes of means of mechanization of works on the deployment of rescue forces, including in the special conditions.

Key words: work on the deployment of rescue forces, rescue work, means of mechanization, the efficiency criterion.

Статья поступила в редакцию интернет-журнала 6 октября 2015 г.

Методика содержит критерии оценки эффективности применения **комплекса средств механизации (КСМ)**, критерии экономической эффективности, критерии оценки экономической эффективности и расчётные зависимости по их количественному определению.

В соответствии с Федеральным законом "Об аварийно-спасательных службах и статусе спасателя" (№151-ФЗ), аварийно-спасательные работы – это действия по спасению людей, материальных и культурных ценностей, защите природной среды в зонах чрезвычайных ситуаций, локализации чрезвычайных ситуаций и подавлению или доведению до минимально возможного уровня воздействия характерных для них опасных факторов.

В соответствии с Федеральным законом "О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера" (№ 68-ФЗ) под аварийно-спасательными работами понимается совокупность первоочередных работ в зоне чрезвычайной ситуации. Аварийно-спасательные работы в очагах поражения включают: разведку маршрутов и участков работ; локализацию и тушение пожаров; подавление или доведение до минимально возможного уровня опасных факторов; поиск и извлечение поражённых из по-

вреждённых и горящих зданий и сооружений, из завалов и заблокированных помещений; вывод (вывод) населения из опасных зон и др. Аварийно-спасательные работы проводятся в максимально сжатые сроки, что обусловлено тем, что объёмы разрушений и потерь могут возрастать вследствие воздействия вторичных поражающих факторов.

При этом большую часть из общего времени, отведенного на выполнение перечисленных объёмов работ, занимает время, затрачиваемое аварийно-спасательными формированиями на собственное развертывание и организацию жизнеобеспечения личного состава в районе чрезвычайной ситуации. Причём ряд работ по развертыванию аварийно-спасательных формирований не механизирован и выполняется личным составом вручную. То есть имеется определенный резерв времени для повышения оперативности и эффективности действий в целом аварийно-спасательных формирований.

Поэтому под комплексом средств механизации предлагается понимать один или несколько модулей технических средств механизации работ по развертывания аварийно-спасательных формирований в районе чрезвычайной ситуации, а также аварийно-спасательных работ при решении задач по ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций, включая спасение людей, проделывание проходов в завалах и выполнение других инженерных мероприятий.

Под модулем средств механизации (МСМ) предлагается понимать совокупность технических средств механизации для выполнения определённого вида инженерных работ (операций).

Критерием оценки эффективности применения комплекса средства механизации при выполнении инженерных работ принято математическое ожидание относительной доли выполнения с его использованием требуемого объёма инженерной работы за отведённое (заданное) время [1]:

$$K_{прим}^i(t_{зад}^i) = M \left[\frac{Q_{вып}^i}{Q_{зад}^i} \right], \quad (1)$$

где $K_{прим}^i(t_{зад}^i)$ – коэффициент эффективности применения КСМ при выполнении i -й работы за отведённое на эту работу время $t_{зад}^i$;

$Q_{вып}^i$ и $Q_{зад}^i$ – объём i -й работы, соответственно, выполненный с использованием КСМ за отведённое время и заданный (требуемый);

$M \left[\frac{Q_{вып}^i}{Q_{зад}^i} \right]$ – математическое ожидание относительной доли выполнения требуемого объёма работы i -го вида за отведённое время с использованием средств механизации.

Физический смысл критерия оценки эффективности заключается в том, что он показывает, насколько успешно может быть выполнена с использованием КСМ та или иная инженерная работа за отведённое на её выполнение время.

Приведённая зависимость позволяет оценить эффективность применения средств механизации при выполнении инженерной работы (или работ) по сравнению с эффективностью выполнения этих же работ личным составом с использованием шанцевого инструмента [1]:

$$K_{эф}^i(t_{зад}^i) = M \left[\frac{Q_{руч}^i(t_{зад}^i)}{Q_{ср.н}^i(t_{зад}^i)} \right], \quad (2)$$

где $K_{эф}^i(t_{зад}^i)$ – коэффициент эффективности применения КСМ при выполнении i -й работы за отведённое время $t_{зад}^i$, по сравнению с эффективностью выполнения этой же работы за то же время вручную;

$Q_{руч}^i(t_{зад}^i)$ – объём i -й работы, выполненный личным составом вручную за отведённое время $t_{зад}^i$;

$Q_{ср.н}^i(t_{зад}^i)$ – объём i -й инженерной работы, выполненный с использованием МСМ за отведённое время $t_{зад}^i$;

$M \left[\frac{Q_{руч}^i(t_{зад}^i)}{Q_{ср.н}^i(t_{зад}^i)} \right]$ – математическое ожидание отношения объёма i -й инженерной работы при выполнении его вручную личным составом, к объёму, выполненному с использованием КСМ той же инженерной работы за то же отведённое время $t_{зад}^i$.

Объём работы, выполненный с помощью КСМ (МСМ) за отведённое на выполнение этой работы время, может быть определён как [2]:

$$Q_{вып}^i(t_{зад}^i) = P_{ср}^i \cdot t_{зад}^i \cdot \prod K_{\Sigma}^i, \quad (3)$$

где $P_{ср}^i$ – производительность КСМ (МСМ) при выполнении i -й работы;

$t_{зад}^i$ – время для работы КСМ (МСМ) на i -й работе, час;

K_{Σ}^i – коэффициенты, учитывающие условия выполнения i -й работы (время года, суток, потери времени на подготовку средства к работе и т.п.).

Критерием экономической эффективности КСМ (МСМ) принято относительное уменьшение затрат на выполнение i -й инженерной работы с его использованием по сравнению с затратами на выполнение этой работы такого же объёма с помощью личного состава вручную:

$$\mathcal{E} = \frac{C_{сп} - C_{КСМ}}{C_{сп}} \cdot 100\%, \quad (4)$$

где $C_{сп}$ – стоимость выполнения i -й работы с помощью личного состава, руб.;

$C_{КСМ}$ – то же с использованием КСМ (МСМ), руб.

Стоимость выполнения i -й инженерной работы с помощью КСМ (МСМ) может быть определена по формуле [2]:

$$C_{КСМ} = C_{\text{вн}} + C_A + C_{\text{Э}} + C_{\text{л.с.}}, \text{ руб.}; \quad (5)$$

где $C_{\text{вн}}$ – стоимость восполнения потерь, руб.;

C_A – стоимость амортизации КСМ (МСМ), руб.;

$C_{\text{Э}}$ – стоимость эксплуатационных материалов, руб.;

$C_{\text{л.с.}}$ – стоимость содержания личного состава, руб.

Стоимость восполнения потерь может быть определена как

$$C_{\text{вн}} = NP_n (P_{\text{тр}} C_{\text{тр}} + P_{\text{ср}} C_{\text{ср}} + P_{\text{кр}} C_{\text{кр}} + P_{\text{нв}} C_o), \text{ руб.}, \quad (6)$$

где N – количество МСМ, привлекаемых для выполнения инженерной работы;

P_n – вероятность выхода из строя МСМ за время выполнения задачи;

$P_{\text{тр}}, P_{\text{ср}}, P_{\text{кр}}, P_{\text{нв}}$ – вероятность выхода МСМ в текущий, средний и капитальный ремонты и в невозполнимые потери;

$C_{\text{тр}}, C_{\text{ср}}, C_{\text{кр}}$ – стоимость текущего, среднего и капитального ремонтов, руб.;

C_o – стоимость одного МСМ, руб.

Стоимости текущего, среднего и капитального ремонтов могут быть определены по следующим зависимостям:

$$C_{\text{тр}} = K_{\text{тр}} C_o;$$

$$C_{\text{ср}} = K_{\text{ср}} C_o;$$

$$C_{\text{кр}} = K_{\text{кр}} C_o, \text{ руб.}, \quad (7)$$

где K – коэффициенты расхода средств на проведение текущего, среднего и капитального ремонтов по отношению к стоимости образца.

Тогда

$$C_{\text{вн}} = NP_n C_o (P_{\text{тр}} K_{\text{тр}} + P_{\text{ср}} K_{\text{ср}} + P_{\text{кр}} K_{\text{кр}} + P_{\text{нв}}), \text{ руб.} \quad (8)$$

Стоимость амортизационных затрат определяется зависимостью:

$$C_A = N \frac{T_p}{T_A} C_o [1 - P_n (P_{\text{ср}} + P_{\text{тр}} + P_{\text{нв}})], \text{ руб.}, \quad (9)$$

где T_A – амортизационный срок службы МСМ, час;

T_p – расход ресурса средства за время выполнения инженерной работы, час.

Стоимость эксплуатационных материалов определяется как:

$$C_{\text{Э}} = NT_p [1 - P_n (P_{\text{ср}} + P_{\text{кр}} + P_{\text{нв}})] \left[\sum_{i=1}^n (q_i C_i + q_i C'_i + q_i C''_i) \right], \text{ руб.}, \quad (10)$$

где q_i – норма расхода i -го эксплуатационного материала за час работы, $m/ч$;

C_i – стоимость единицы i -го расходного материала, руб./м;

C'_i – стоимость подвоза единицы i -го расходного материала к месту выполнения i -й инженерной работы, руб./м;

C''_i – стоимость хранения единицы i -го расходного материала, руб./м.

Стоимость содержания личного состава, привлекаемого к i -й инженерной работе с использованием МСМ, равна:

$$C_{л.с.} = N \frac{T_p}{T_{см}} [1 - P_n (P_{ср} + P_{кр} + P_{нев})] \cdot Z_{л.с.} \cdot C_z, \text{ руб.}, \quad (11)$$

где $Z_{л.с.}$ – количество специалистов в расчёте МСМ, чел.;

C_z – стоимость содержания одного специалиста, руб.;

$T_{см}$ – продолжительность рабочей смены в сутки, час.

Стоимость выполнения i -й инженерной работы личным составом вручную с использованием шанцевого инструмента (ломов, лопат) может быть определена по формуле [1]:

$$C_{вр} = \frac{C_z}{365 \cdot 24} \cdot t_{раб} \cdot Z_{л.с.}, \text{ руб.}, \quad (12)$$

где $t_{раб}$ – время работы личного состава по выполнению i -й работы объёмом, равным объёму такой же инженерной работы, выполненным с использованием МСМ, час.;

$Z_{л.с.}$ – количество личного состава для выполнения такого же объёма i -й работы, какой был выполнен с помощью МСМ.

Критерии эффективности и расчётные зависимости по их определению составляют основу методики. Экономическая оценка включает оценку эффективности применения КСМ при выполнении инженерных работ и экономическую эффективность, оцениваемую приведёнными затратами на выполнение этих работ.

Оценку эффективности применения КСМ рассмотрим на следующем примере: расчёт в составе семи человек (командир и шесть специалистов) выполняет задачу по оборудованию временного жилого городка, время года – зима, грунт промёрз на глубину до 0,3 м, высота снежного покрова – 0,15-0,20 м. Необходимо на участке местности 200×300 м оборудовать три палатки для размещения людей и три места для хранения техники обеспечения. Принято решение: рыхление мёрзлого грунта произвести буровзрывным способом. Для бурения шпуров и скважин в мёрзлом грунте расчёту придаётся трактор, оснащённый установленным заблаговременно бульдозерным и буровым оборудованием с комплектом буровых штанг для бурения шпуров диаметром 40 мм и скважин диаметром 80 и 120 мм. Расчёт с КСМ, комплектом шанцевого инструмента и необходимым количеством **взрывчатых веществ (ВВ)** и средств взрывания доставлен в район выполнения задачи. На выполнение задачи отводится двое суток, все работы выполняются в светлое время суток.

С помощью КСМ выполняются следующие работы: очистка местности от снега и посторонних предметов в местах установки палаток и размещения техники; бурение шпуров и скважин в мёрзлых грунтах для их рыхления с помощью зарядов ВВ; рытьё, при необходимости, и оборудование временных складов бульдозерным оборудованием.

Оборудование палаток осуществляется после рыхления мёрзлых грунтов личным составом с использованием шанцевого инструмента.

Оценка эффективности применения КСМ в ходе выполнения инженерных работ может быть проведена по относительной доле выполнения с его помощью заданных объёмов каждой из работ за отведённое время и количественному сравнению объёмов инженерных работ, выполненных с помощью МСМ и личным составом вручную с использованием шанцевого инструмента за одно и то же время в одинаковых условиях.

Эффективность любого средства при выполнении инженерной работы объёмом $Q_{зад}$ за отведённое время $t_{зад}$ может быть определена с использованием зависимости [1]:

$$K_{прим}^i(t_{зад}^i) = M[П_{ср}] \frac{M}{N + M} \cdot \frac{t_{зад}^i}{Q_{зад}^i} \quad (13)$$

где $K_{прим}^i(t_{зад}^i)$ – коэффициент эффективности применения КСМ при выполнении i -й работы за заданное время $t_{зад}^i$;

$Q_{зад}^i$ – заданный объём i -й работы;

$M[П_{ср}]$ – математическое ожидание производительности средств при выполнении работы, $\frac{сд.раб}{ч}$;

N и M – интенсивность потока повреждений и восстановлений, $час^{-1}$, N и M равны, соответственно, $\frac{1}{T_n}$ и $\frac{1}{T_g}$, где T_n и T_g наработка на отказ и время восстановления после отказа, час.

Производительность МСМ на каждом виде инженерных работ следует считать величиной случайной, изменяющейся по нормальному закону [3]. При задании производительности максимальным $П_{max}$ и минимальным $П_{min}$ значениями её математическое ожидание

$$M[П_{ср}] = \frac{1}{2}(П_{max} + П_{min}). \quad (14)$$

С учётом этого выражение (13) преобразовано к виду:

$$K_{прим}^i(t_{зад}^i) = \frac{T_n}{2(T_n + T_g)} (П_{max} + П_{min}) \frac{t_{зад}^i}{Q_{зад}^i}. \quad (15)$$

Видно, что эффективность применения МСМ зависит от его производительности, времени, отведённого на выполнение инженерной работы требуемого объёма, самого объёма, от показателей, отражающих эксплуатационную надёжность МСМ. Значения показателей, входящих в (15) для инженерных работ, выполняемых с использованием КСМ и вручную, приведены в табл. 1 и 2.

**Исходные данные для определения показателей эффективности
применения КСМ при выполнении буровых и бульдозерных работ**

Основные параметры	Обозначения	Значения	Примечание
1. Производительность при бурении мёрзлых грунтов шпуров $d = 40$ мм: максимальная, шпур/час минимальная, шпур/час	$\Pi_{\text{мах}}^{\text{б.шпур}}$ $\Pi_{\text{мин}}^{\text{б.шпур}}$	40 30	$h_{\text{б}} = 0,75h_z$ $h_{\text{б}} = 0,75h_z$
2. Производительность при бурении мёрзлых грунтов скважин $d = 80$ мм: максимальная, скважин/час минимальная, скважин/час	$\Pi_{\text{мах}}^{\text{б.скв.}}$ $\Pi_{\text{мин}}^{\text{б.скв.}}$	30 20	$h_{\text{б}} = 0,75h_z$ $h_{\text{б}} = 0,75h_z$
3. Производительность очистки местности от снега: максимальная, $\text{м}^2/\text{час}$ минимальная, $\text{м}^2/\text{час}$	$\Pi_{\text{мах}}^{\text{о}}$ $\Pi_{\text{мин}}^{\text{о}}$	1145 1012	$\Pi^{\text{б}} = V_p \cdot h_{\text{отв.}}$ $\Pi^{\text{б}} = V_p \cdot h_{\text{отв.}}$
4. Производительность при рытье котлованов: максимальная, $\text{м}^3/\text{час}$ минимальная, $\text{м}^3/\text{час}$	$\Pi_{\text{мах}}^{\text{р}}$ $\Pi_{\text{мин}}^{\text{р}}$	10 9	
5. Требуемые объёмы работ: при бурении шпуров, шт. при бурении скважин, шт. при рытье котлованов для палаток, м^3 при очистке местности от снега, м^2	$Q_3^{\text{шпуров}}$ $Q_3^{\text{скважин}}$ $Q^{\text{р}}$ $Q^{\text{о}}$	300 180 30×3 1305	$d = 40$ мм $d = 80$ мм $h_{\text{сн}} = 0,15..0,20$
6. Количество суток, оборудование городка		2	12 + 12 = 24 ч.
7. Время на выполнение работ: очистка местности от снега, час бурение шпуров, час бурение скважин, час проведение подрывных работ по рыхлению мёрзлых грунтов	$t_1^{\text{о}}$ $t_2^{\text{б}}$ $t_3^{\text{б}}$ $t_4^{\text{нр}}$	1,0 8,0 7,0 2,0	по опросу специалистов
8. Средняя наработка на отказ МСМ, час	$T_{\text{н}}$	40	
9. Время восстановления МСМ, час	$T_{\text{в}}$	2	
10. Минимальные скорости КСМ, м/мин.: вперёд назад	$V_{\text{о}}$ $V_{\text{з}}$		по паспорту
11. Коэффициент буксования: наибольший наименьший	$K_{\text{б}}^{\text{мах}}$ $K_{\text{б}}^{\text{мин}}$	0,25 0,15	для гусеничного движения
12. Рабочие скорости КСМ, м/ч: вперёд (при $K_{\text{б}} = 0,15...0,25$) назад (при $K_{\text{б}} = 0$)	$V_{\text{вп.}}$ $V_{\text{н}}$		$V_p = V_{\text{о}}(1 - K_{\text{б}})$ -
13. Глубина промерзания грунта, м	$h_{\text{зр}}$	0,3	-
14. Толщина снежного покрова, м	$h_{\text{сн}}$	0,15-0,20	-
15. Размеры котлованов для техники, м: длина, ширина, высота	L, B, H		длина котлована по верху

Данные для определения показателей эффективности при выполнении инженерных работ по оборудованию временного городка

Основные параметры	Обозначения	Количественные значения	Примечание
1. производительность при устройстве в мёрзлых грунтах шпуров $d = 40$ мм: максимальная, шпур/час минимальная, шпур/час скважин $d = 80$ мм: максимальная, скважин/час минимальная, скважин/час	$П^{б.шпур}_{max_ручн}$ $П^{б.шпур}_{мин_ручн}$ $П^{б.скв.}_{max_ручн}$ $П^{б.скв.}_{мин_ручн}$	5 3 3 2	ломами на $h = 23...25$ см ломами на $h = 23...25$ см
2. Производительность при рытье в разрыхлённых мёрзлых грунтах котлованов для техники: максимальная, $м^3/ч$ минимальная, $м^3/ч$	$П^p_{max_ручн}$ $П^p_{мин_ручн}$	1,5 1,0	лопатами БСЛ-110 (2 человека)
3. Производительность при очистке местности от снега и посторонних предметов ($h_{сн} = 30$ см): максимальная, $м^2/ч$ минимальная, $м^2/ч$	$П^o_{max_ручн}$ $П^o_{мин_ручн}$	130 100	лопатами БСЛ-110 или фанерными

Отведённое на выполнение задачи по оборудованию временного городка время распределяется следующим образом: бурение шпуров – 8 часов; бурение скважин – 7 часов; очистка местности от снега и посторонних предметов – 1 час; проведение подрывных работ – 2 часа; рытьё траншей вручную для техники – 9 часов. Максимальная производительность МСМ при бурении в мёрзлых грунтах шпуров диаметром 40 мм на глубину 1,5 м равна 10, минимальная – 8 шпуров в час. При бурении скважин диаметром 80 мм на такую же глубину максимальная производительность МСМ равна 6, минимальная на такую же глубину – 4 скважины в час.

В пересчёте на меньшую глубину бурения, равную 0,225 м (3/4 от глубины промерзания грунта, максимальная производительность МСМ (с учётом технологических потерь и потерь времени на перемещения в пределах обуваемой площадки) может составлять 40 шпуров и 30 скважин в час, минимальная – 30 шпуров и 20 скважин в час.

С использованием КСМ на базе трактора требуемые объёмы работ по бурению скважин и шпуров могут быть выполнены в течение 15 (8 + 7) час. Коэффициенты эффективности, рассчитанные по (15), будут равны: при бурении шпуров 0,95, при бурении скважин 0,99.

Коэффициенты эффективности применения КСМ при выполнении инженерных работ с помощью бульдозерного оборудования составляют:

- при очистке местности в местах размещения палаток и техники:

$$K_{прим}^o(t_{зад}^o) = \frac{T_n}{2(T_n + T_g)} (P_{max}^o + P_{мин}^o) \frac{t_{зад}^o}{Q_{зад}^o} = 0,476 \cdot (1145 + 1012) \cdot \frac{1}{1305} = 0,79; \quad (16)$$

- при рытье котлованов под временные склады (после рыхления мёрзлого грунта):

$$K_{прим}^p(t_{зад}^p) = \frac{T_n}{2(T_n + T_g)} (P_{max}^p + P_{мин}^p) \frac{t_{зад}^p}{Q_{зад}^p} = 0,476 \cdot (10 + 9) \cdot \frac{3,0}{30} = 0,9; \quad (17)$$

где P_{max}^o и $P_{мин}^o$ – максимальная и минимальная производительность КСМ при очистке местности от снега, $m^2/ч$;

P_{max}^p и $P_{мин}^p$ – максимальная и минимальная производительность КСМ при рытье котлованов, $m^3/ч$;

t_3^o и t_3^p – время на выполнение работ, соответственно, по очистке местности от снега и рытью котлованов, час;

Q_3^o и Q_3^p – требуемые объёмы работ, соответственно, по очистке местности от снега и рытью котлованов, m^2 и m^3 .

При оценке эффективности выполнения работ в ходе оборудования палаток вручную принимается, что при их производстве участвует столько же личного состава, сколько и при работе КСМ (расчёт из двух человек), при этом производительность по бурению, рытью котлованов под склады и технику по очистке площадок от снега (табл. 2) принимается большей в два раза. Коэффициенты эффективности выполнения работ вручную личным составом, рассчитанные по (15), равны: при бурении шпуров – 0,21; при бурении скважин – 0,19; при рытье котлованов – 0,25; при очистке площадок от снега – 0,19. Значения $K'_{эф}(t'_{зад})$, оценивающие сравнительную эффективность применения МСМ при выполнении работ за отведённое время, по сравнению с эффективностью выполнения этих работ за то же время вручную, составляют: при бурении шпуров – 4,5, скважин – 5,2; при рытье котлованов – 3,6; при очистке площадок от снега – 4,1.

При выполнении за отведённое время (15 час) предусмотренного объёма работ с помощью шанцевого инструмента необходимо, чел: для очистки участков местности от снега и посторонних предметов – 8; для бурения шпуров – 9; для бурения скважин – 10; для рытья котлованов – 9.

Таким образом, применение КСМ, оснащённого сменным буровым и бульдозерным оборудованием, обеспечивает механизацию выполняемых вручную работ по бурению шпуров и скважин в мёрзлых грунтах при их рыхлении буровзрывным способом.

Средний коэффициент эффективности применения КСМ, отражающий успех выполнения с его помощью трудоёмких инженерных работ по бурению шпуров, скважин и рытью котлованов составляет:

$$\mathcal{E}_{\text{эф}}^{\text{ср}} = \frac{0,95 + 0,99 + 0,9}{3} = 0,95.$$

Возможность механизации трудоёмких инженерных работ сокращает сроки их выполнения, а при требуемых сроках – уменьшает количество привлекаемого личного состава (в рассмотренном варианте – в 4...5 раз).

Критерием оценки экономической эффективности КСМ принято относительное уменьшение затрат на выполнение с его использованием i -й работы в аналогичных условиях личным составом с помощью шанцевого (ручного механизированного) инструмента:

$$\mathcal{E}_{\text{эф}} = \frac{C_{\text{ср}} - C_{\text{КСМ}}}{C_{\text{ср}}} \times 100 \%, \quad (18)$$

где $\mathcal{E}_{\text{эф}}$ – показатель критерия экономической эффективности;

$C_{\text{ср}}$ – стоимость выполнения работы вручную личным составом.;

$C_{\text{КСМ}}$ – стоимость выполнения работы с использованием КСМ.

Первоочередными и наиболее трудоёмкими являются работы по рыхлению мёрзлого грунта буровзрывным способом (бурение шпуров и скважин), а, в последующем, рытьё котлованов. Поэтому целесообразно, в первую очередь, оценивать экономическую эффективность КСМ на выполнение этих работ. Стоимость выполнения, с помощью КСМ, каждой из работ, может быть определена по зависимости:

$$C_{\text{КСМ}} = C_A + C_{\text{э}} + C_{\text{л.с}} + C_{\text{вт}}, \quad (19)$$

где C_A – стоимость амортизации КСМ при выполнении работ по бурению шпуров, скважин или рытьё котлованов;

$C_{\text{э}}$ – стоимость эксплуатационных материалов, израсходованных при выполнении работ по бурению шпуров, скважин и рытьё котлованов;

$C_{\text{л.с}}$ – стоимость затрат на содержание расчёта КСМ (с учётом времени его работы на каждом виде работ);

$C_{\text{вт}}$ – стоимость восполнения потерь.

Стоимость амортизации КСМ, при отсутствии затрат на восполнение потерь и на его ремонт, может быть определена по зависимости:

$$C_A = N \frac{t_p}{T_A} C_o, \quad (20)$$

где N – количество КСМ (МСМ), задействованных на инженерных работах, $N = 1$;

t_p – время выполнения работы i -го вида, час;

T_A – амортизационный срок службы КСМ, час;

C_o – стоимость КСМ, руб.

Основные данные для определения показателей экономической эффективности КСМ, при выполнении с его помощью буровых и бульдозерных работ, приведены в табл. 3.

Таблица 3

Исходные данные для определения показателей экономической эффективности КСМ

Основные параметры	Обозначения
1. Стоимость (отпускная цена), руб.	C_o
2. Амортизационный срок службы, час	T_A
3. Годовая стоимость содержания и обучения персонала, руб.	C_z
4. Стоимость литра, руб.: дизельного топлива масла	C_i^m C_i^m
5. Удельный расход дизельного топлива, г/л.с.	q_i'
6. Относительный расход масла от расхода топлива, %	q_i''
7. Удельный вес дизельного топлива, л/кг	G_m

Стоимость амортизации КСМ, при взятых данных, составит:

- при выполнении работ по бурению шпуров:

$$C_A^{шп} = 1 \cdot \frac{8}{50 \cdot 10^3} \cdot 50 \cdot 10^4 = 80 \text{ руб.};$$

- при бурении скважин и при тех же данных:

$$C_A^{скв} = 1 \cdot \frac{7}{50 \cdot 10^3} \cdot 50 \cdot 10^4 = 70 \text{ руб.};$$

- при копании котлованов:

$$C_A^к = 1 \cdot \frac{9}{50 \cdot 10^3} \cdot 50 \cdot 10^4 = 90 \text{ руб.}$$

Стоимость эксплуатационных материалов – ГСМ, при выполнении запланированных работ, определяется по формуле:

$$C_{\text{э}} = N \cdot t_p \cdot \left[\sum_{i=1}^n (q_i C_i + q_i' C_i' + q_i'' C_i'') \right], \text{ руб.}, \quad (21)$$

где q_i , q_i' , q_i'' – норма расхода i -го эксплуатационного материала за один час работы, л/час;

C_i – стоимость единицы i -го расходного материала, руб./кг;

C_i' – стоимость подвоза единицы i -го расходного материала к месту работы, руб. (при необходимости);

C_i'' – стоимость хранения единицы i -го расходного материала, руб. (при необходимости).

Например, стоимость ГСМ, при отсутствии необходимости подвоза и хранения составит:

для дизельного топлива:

$$\text{- при бурении шпуров } C_{\text{Э}}^{\text{шп}} = N \cdot t_p \cdot q_i \cdot C_i^m = 1 \cdot 8 \cdot \frac{200 \cdot 12}{10^3 \cdot 0,83} \cdot 20 = 462,7 \text{ руб.};$$

$$\text{- при бурении скважин } C_{\text{Э}}^{\text{скв}} = 1 \cdot 7 \cdot \frac{200 \cdot 12}{10^3 \cdot 0,83} \cdot 20 = 404,8 \text{ руб.};$$

$$\text{- при копании котлованов } C_{\text{Э}}^{\text{к}} = 1 \cdot 9 \cdot \frac{200 \cdot 12}{10^3 \cdot 0,83} \cdot 20 = 520,5 \text{ руб.}$$

для масла (1,2 % от расхода дизельного топлива):

$$\text{- при бурении шпуров } C_{\text{ЭМ}}^{\text{шп}} = 1 \cdot 8 \cdot 2,89 \cdot \frac{1,2}{100} \cdot 60 = 1 \cdot 8 \cdot 2,1 = 17 \text{ руб.};$$

$$\text{- при бурении скважин } C_{\text{ЭМ}}^{\text{скв}} = 1 \cdot 7 \cdot 2,1 \approx 15 \text{ руб.};$$

$$\text{- при рытье котлованов } C_{\text{ЭМ}}^{\text{к}} = 1 \cdot 9 \cdot 2,1 = 18,9 \text{ руб.}$$

Общая стоимость эксплуатационных затрат составит: при бурении шпуров $C_{\text{Э}}^{\text{шп}} = 462,7 + 17 = 479,7 \text{ руб.}$; скважин – $C_{\text{Э}}^{\text{скв}} = 404,8 + 15 = 419,8 \text{ руб.}$; при копании котлованов $C_{\text{Э}}^{\text{к}} = 520,5 + 18,9 = 539,4 \text{ руб.}$

Стоимость затрат на содержание расчёта КСМ (2-х человек) равна:

$$C_{\text{сп}} = N \frac{C_z}{365 \cdot 24} \cdot t_p \cdot Z_{\text{л.с}}, \quad (22)$$

где C_z – годовая стоимость содержания и обучения одного человека, руб.;

t_p – время работы КСМ при выполнении i -й работы, час;

$Z_{\text{л.с.}}$ – количество обслуживающего состава КСМ, чел.

Годовая стоимость содержания и обучения одного человека расчёта КСМ равна:

$$C_z = C_{80} \cdot K_{2008} = 706 \cdot 150 = 105900 \text{ руб.},$$

где C_{80} – стоимость содержания специалиста по состоянию на 1 января 1980 г.;

K_{2008} – коэффициент перевода затрат к ценам 1 января 2008 г.

Стоимость затрат на содержание расчёта КСМ, с учётом времени его работы на каждом виде работ, составит:

$$C_{\text{сп}}^{\text{шп}} = 1 \cdot \frac{105900}{8760} \cdot 8 \cdot 2 = 193,4 \text{ руб.};$$

$$C_{\text{сп}}^{\text{скв}} = 1 \cdot \frac{105900}{8760} \cdot 7 \cdot 2 = 169,2 \text{ руб.};$$

$$C_{\text{сп}}^{\text{к}} = 1 \cdot \frac{105900}{8760} \cdot 9 \cdot 2 = 217,6 \text{ руб.}$$

Стоимость выполнения работ с использованием КСМ составляет:

- при бурении шпуров $C_{\text{э}}^{\text{шп}} = 80 + 479,7 + 193,4 = 753,1 \text{ руб.};$
- при бурении скважин $C_{\text{э}}^{\text{скв}} = 70 + 419,8 + 169,2 = 659,0 \text{ руб.};$
- при копании котлованов $C_{\text{э}}^{\text{к}} = 90 + 539,4 + 217,6 = 847,0 \text{ руб.}$

Для выполнения за отведённое время предусмотренных работ с помощью шанцевого инструмента (ломов и лопат) необходимо привлечь: для бурения 300 шпуров на глубину 0,23 м – 9 чел; для бурения 180 скважин на глубину 0,23 м – 10 чел; для рытья 3-х котлованов – 9 чел.

Стоимость выполнения этих работ составит:

- при устройстве шпуров $C_{\text{эп}}^{\text{шп}} = C'_z \cdot Z'_{\text{л.с}} \cdot T'_p = 12,09 \cdot 9 \cdot 8 = 870,4 \text{ руб.};$
- при устройстве скважин $C_{\text{эп}}^{\text{скв}} = C'_z \cdot Z'_{\text{л.с}} \cdot T'_p = 12,09 \cdot 10 \cdot 7 = 846,3 \text{ руб.};$
- при рытье котлованов $C_{\text{эп}}^{\text{к}} = C'_z \cdot Z''_{\text{л.с}} \cdot T''_p = 12,09 \cdot 9 \cdot 9 = 979,3 \text{ руб.}$

Тогда коэффициент экономической эффективности применения КСМ составит:

- при бурении шпуров

$$\text{Э}_{\text{эф}}^{\text{шп}} = \frac{C_{\text{эп}}^{\text{шп}} - C_{\text{КСМ}}^{\text{шп}}}{C_{\text{эп}}^{\text{шп}}} \cdot 100\% = \frac{870,4 - 753,1}{870,4} \cdot 100\% = 13,5\% ;$$

- при бурении скважин

$$\text{Э}_{\text{эф}}^{\text{скв}} = \frac{C_{\text{эп}}^{\text{скв}} - C_{\text{КСМ}}^{\text{скв}}}{C_{\text{эп}}^{\text{скв}}} \cdot 100\% = \frac{846,3 - 659,0}{846,3} \cdot 100\% = 22,1\% ;$$

- при копании котлованов

$$\text{Э}_{\text{эф}}^{\text{к}} = \frac{C_{\text{эп}}^{\text{к}} - C_{\text{КСМ}}^{\text{к}}}{C_{\text{эп}}^{\text{к}}} \cdot 100\% = \frac{979,3 - 847,0}{979,3} \cdot 100\% = 13,5\% .$$

Таким образом, приведённые затраты на выполнение рассмотренных работ с помощью КСМ в среднем на 16,4 % меньше затрат на их выполнение с помощью шанцевого инструмента. Полученные данные позволяют говорить об экономической эффективности и целесообразности применения КСМ, оснащённого сменным буровым и бульдозерным оборудованием, при выполнении рассмотренных работ.

Литература

1. **Седнев В.А., Бакуров А.П.** Методика оценки эффективности комплекса технических средств механизации аварийно-спасательных работ для ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций в условиях Арктики // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2010. № 1. С. 68-81.
2. **Седнев В.А., Бакуров А.П., Кондрашин А.В.** Методика обоснования состава комплекса технических средств механизации аварийно-спасательных работ в условиях Арктики // Проблемы управления рисками в техносфере. 2011. Т. 20. № 4. С. 52-61.
3. **Волынский В.Ф.** Эффективность военно-инженерной техники: учеб. пос. М.: Военно-инженерная академия, 1995. 160 с.