

Методика обоснования комплекса средств механизации работ по развертыванию аварийно-спасательных формирований в Арктической зоне Российской Федерации

В. А. Седнев¹, доктор технических наук
Академия Государственной противопожарной службы МЧС России

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

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

Перед Российской Федерацией в Арктике стоит ряд стратегических задач, в том числе сложная экономическая и технологическая задача освоения арктических ресурсов при соблюдении и обеспечении в регионе экологической безопасности.

По различным оценкам подо льдами Арктики залегает не менее 83 млрд баррелей нефти, что составляет 13% мировых неразведанных запасов; почти все запасы природного газа, что есть в регионе, сосредоточены у берегов России; в Баренцевом, Печорском и Карском морях выявлено более 200 перспективных для разработки объектов [1]. Например, Карское море — один из самых крупных нефтегазоносных бассейнов мира, а коэффициент успеха бурения на протяжении почти 30 лет здесь равен 100%, поэтому специалисты изучают ледовые условия в северных морях, исследуют морское дно и максимальные кили торосов, разрабатывают топливо и масла для техники, не замерзающие при -60°C , и др.

Арктика — это не только «золотое дно» ледяного океана, но и экстремально суровые климатические условия, отсутствие инфраструктуры, большие расстояния, которые необходимо преодолевать для доставки сырья и материалов. Причем две трети

территории относятся к зоне Севера, а 60% ее территории находятся в зоне многолетней мерзлоты. Поэтому требуется создать инфраструктуру навигации, связи, технического обслуживания, оказания экстренной помощи на протяжении возрождаемого Северного морского пути (СМП). Через пять лет грузооборот по СМП должен увеличиться в 17 раз, что связано с началом производства сжиженного газа на полуострове Ямал и увеличением грузопотока через Арктику из Европы в Азиатско-Тихоокеанский регион: если Южный морской путь составляет 12 840 морских миль, то СМП — 5770 морских миль. При этом с запада на восток доставляют сжиженный природный газ, железорудный концентрат, сырую нефть, газоконденсат, а с востока на запад — уголь, светлые нефтепродукты, контейнерные грузы и др.

На территории арктического региона добываются газ и нефть, имеются медно-никелевые руды, олово, металлы платиновой группы, редкоземельные элементы, золото, алмазы, вольфрам и др. В то же время промышленное производство, сконцентрировав в себе запасы различных видов энергии, становится источником техногенной опасности и возникновения аварий, сопровождающихся чрезвычайными ситуациями, в результате которых нарушаются нормальные условия жизни и деятельности людей,

¹ e-mail: Sednev70@yandex.ru.

возникает угроза их жизни и здоровью, наносится ущерб имуществу, экономике и природной среде, при этом 90% общего числа чрезвычайных ситуаций имеют техногенную природу. Прямые материальные потери от аварий и катастроф достигают 3—5% валового национального продукта, а косвенные потери превышают прямые в 1,6—2,2 раза.

Типы чрезвычайных ситуаций, опасности для населения и территорий определяются составом представленных в регионе отраслей промышленности. Наибольшую угрозу несут аварии в топливно-энергетическом комплексе и электроэнергетических системах, на объектах жизнеобеспечения, взрывы и пожары, аварии с выбросом опасных химических веществ и др. Особенно опасны промышленные аварии, сопровождаемые выбросами опасных и вредных для биосферы и человека веществ.

Для защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций создана Единая государственная система предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС). В соответствии с указом Президента Российской Федерации от 11 июля 2004 г. № 868 МЧС России является основой созданной в стране системы защиты населения и территорий от бедствий различного характера. Основными задачами МЧС России являются: предупреждение возникновения, прогнозирование развития и снижение размеров ущерба и потерь от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера; ликвидация чрезвычайных ситуаций; защита территорий и населения от чрезвычайных ситуаций, его своевременное оповещение и информирование. Обеспечение безопасности населения и территорий является важнейшей функцией государства, фактором повышения качества жизни населения, устойчивого социально-экономического развития, укрепления национальной безопасности и международного престижа страны. В целях обеспечения безопасного функционирования объектов и территорий и экологической безопасности арктического региона необходимо повышать эффективность системы реагирования на возможные чрезвычайные ситуации, готовность и оперативность действий органов управления и сил РСЧС. Ниже рассмотрена методика обоснования комплекса средств механизации работ по развертыванию аварийно-спасательных формирований в труднодоступных и экстремальных суровых климатических условиях, что повысит оперативность и эффективность действий аварийно-спасательных формирований в условиях Арктики.

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

В соответствии с федеральным законом «Об аварийно-спасательных службах и статусе спасателей» № 151-ФЗ аварийно-спасательные рабо-

ты — 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» от 22 августа 1995 г. № 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 пораженных из поврежденных и горящих зданий и сооружений, из завалов и блокированных помещений; вывоз (вывод) населения из опасных зон и др. Аварийно-спасательные работы проводятся в максимально сжатые сроки, что обусловлено тем, что объемы разрушений и потерь могут возрастать вследствие воздействия вторичных поражающих факторов.

При этом большую часть общего времени, отведенного на выполнение перечисленных объемов работ, занимает время, затрачиваемое аварийно-спасательными формированиями на собственное развертывание и организацию жизнеобеспечения личного состава в районе чрезвычайной ситуации. Причем ряд работ по развертыванию этих 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 развертыванию 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 определенного вида инженерных работ (операций).

В качестве критерия оценки эффективности применения комплекса средств механизации при выполнении инженерных работ принято математическое ожидание относительной доли выполнения с его использованием требуемого объема инженерной работы за отведенное (заданное) время [2]:

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

где $K_{\text{прим}}^i(t_{\text{зад}}^i)$ — коэффициент эффективности применения КСМ при выполнении i -й работы за отведенное на эту работу время $t_{\text{зад}}^i$; $Q_{\text{вып}}^i$ и $Q_{\text{зад}}^i$ — соответственно объем i -й работы, выполненный с использованием КСМ за отведенное время и заданный

(требуемый); $M \left[\frac{Q_{\text{вып}}^i}{Q_{\text{зад}}^i} \right]$ — математическое ожида-

ние относительной доли выполнения требуемого объема работы i -го вида за отведенное 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 отведенное на ее выполнение время.

Приведенная 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 [2]:

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

где $K_{\text{эф}}^i(t_{\text{зад}}^i)$ — коэффициент эффективности применения КСМ при выполнении i -й работы за отведенное время $t_{\text{зад}}^i$ по сравнению с эффективностью выполнения этой же работы за то же время вручную; $Q_{\text{руч}}^i(t_{\text{зад}}^i)$ — объем i -й работы, выполненный личным составом вручную за отведенное время $t_{\text{зад}}^i$; $Q_{\text{ср.п}}^i(t_{\text{зад}}^i)$ — объем i -й инженерной работы, выполненный с использованием МСМ за отведенное время

$t_{\text{зад}}^i$; $M \left[\frac{Q_{\text{руч}}^i(t_{\text{зад}}^i)}{Q_{\text{ср.п}}^i(t_{\text{зад}}^i)} \right]$ — математическое ожида-

ние отношения объема i -й инженерной работы при выполнении его вручную личным составом, к объему, выполненному с использованием КСМ той же инженерной работы за то же отведенное время $t_{\text{зад}}^i$.

Объем работы, выполненный с помощью КСМ (МСМ) за отведенное на выполнение этой работы время, может быть определен так [3]:

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

где $\Pi_{\text{ср}}^i$ — производительность КСМ (МСМ) при выполнении i -й работы; $t_{\text{зад}}^i$ — время для работы КСМ (МСМ) на i -й работе, ч; 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 объема с помощью личного состава вручную:

$$\vartheta = \frac{C_{\text{вр}} - C_{\text{КСМ}}}{C_{\text{вр}}} 100\%, \quad (4)$$

где $C_{\text{вр}}$ — стоимость выполнения i -й работы с помощью личного состава, руб.; $C_{\text{КСМ}}$ — то же с использованием КСМ (МСМ), руб.

Стоимость выполнения i -й инженерной работы с помощью КСМ (МСМ) может быть определена по формуле [3]

$$C_{\text{КСМ}} = C_{\text{вп}} + C_{\text{А}} + C_{\text{А}} + C_{\text{л.с}}, \quad (5)$$

где $C_{\text{вп}}$ — стоимость восполнения потерь, руб.; $C_{\text{А}}$ — 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 так:

$$C_{\text{вп}} = NP_n(P_{\text{тр}}C_{\text{тр}} + P_{\text{ср}}C_{\text{ср}} + P_{\text{кр}}C_{\text{кр}} + P_{\text{нв}}C_{\text{о}}), \quad (6)$$

где N — количество МСМ, привлекаемых для выполнения инженерной работы, шт.; P_n — вероятность выхода из строя МСМ за время выполнения задачи; $P_{\text{тр}}$, $P_{\text{ср}}$, $P_{\text{кр}}$, $P_{\text{нв}}$ — вероятности выхода МСМ в текущий, средний и капитальный ремонты и в невозможные потери; $C_{\text{тр}}$, $C_{\text{ср}}$, $C_{\text{кр}}$ — стоимости текущего, среднего и капитального ремонтов, руб.; $C_{\text{о}}$ — стоимость одного МСМ, руб.

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

$$C_{\text{тр}} = K_{\text{тр}}C_{\text{о}}, C_{\text{ср}} = K_{\text{ср}}C_{\text{о}}, C_{\text{кр}} = K_{\text{кр}}C_{\text{о}}, \quad (7)$$

где $K_{\text{тр}}$, $K_{\text{ср}}$, $K_{\text{кр}}$ — коэффициенты расхода средств на проведение текущего, среднего и капитального ремонтов по отношению к стоимости образца.

Тогда

$$C_{\text{вп}} = NP_n C_{\text{о}} (P_{\text{тр}} K_{\text{тр}} + P_{\text{ср}} K_{\text{ср}} + P_{\text{кр}} K_{\text{кр}} + P_{\text{нв}}). \quad (8)$$

Стоимость амортизационных затрат определяется зависимостью

$$C_{\text{А}} = N \frac{T_{\text{р}}}{T_{\text{А}}} C_{\text{о}} \left[1 - P_n (P_{\text{ср}} + P_{\text{тр}} + P_{\text{нв}}) \right], \quad (9)$$

где $T_{\text{А}}$ — амортизационный срок службы МСМ, ч; $T_{\text{р}}$ — расход ресурса средства за время выполнения инженерной работы, ч.

Стоимость эксплуатационных материалов определяется так:

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

где q_i — норма расхода i -го эксплуатационного материала за час работы, т/ч; C_i — стоимость единицы i -го расходного материала, руб./т; C'_i — стоимость подвоза единицы i -го расходного материала к месту выполнения i -й инженерной работы, руб./т; C''_i — стоимость хранения единицы i -го расходного материала, руб./т.

Стоимость содержания личного состава, привлекаемого к i -й инженерной работе с использованием МСМ, определяется по формуле

$$C_{л.с} = N \frac{T_p}{T_{см}} \left[1 - P_n (P_{cp} + P_{кр} + P_{нв}) \right] Z_{л.с} C_z, \quad (11)$$

где $Z_{л.с}$ — количество специалистов в расчете МСМ; C_z — стоимость содержания одного специалиста, руб.; $T_{см}$ — продолжительность рабочей смены в сутки, ч.

Стоимость выполнения i -й инженерной работы личным составом вручную с использованием шанцевого инструмента (ломов, лопат) может быть определена по формуле [2]

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

где $t_{аб}$ — время работы личного состава по выполнению i -й работы объемом, равным объему такой же инженерной работы, выполненным с использованием МСМ, ч; $Z_{л.с}$ — количество личного состава для выполнения такого же объема i -й работы, какой был выполнен с помощью МСМ.

Критерии эффективности и расчетные зависимости для их определения составляют основу методики. Экономическая оценка включает оценку эффективности применения КСМ при выполнении инженерных работ и экономическую эффективность, определяемую приведенными затратами на выполнение этих работ.

Рассмотрим оценку эффективности применения КСМ в арктических условиях на следующем примере: расчет в составе семи человек (командир и шесть специалистов) выполняет задачу по оборудованию временного жилого городка, время года — зима, грунт промерз 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: рыление мерзлого грунта произвести буровзрывным способом. Для бурения шпуров и скважин в мерзлом грунте расчету придается трактор, оснащенный заблаговременно установленным бульдозерным и буровым оборудованием с комплектом буровых штанг для бурения шпуров диаметром 40 мм и скважин диаметром 80 и 120 мм. Расчет с КСМ, комплектом шанцевого инструмента и необходимым количеством взрывчатых веществ 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 мерзлых грунтах для их рыления с помощью зарядов взрывчатых веществ; рытье (при необходимости) и оборудование временных складов бульдозерным оборудованием. Оборудование палаток осуществляется после рыления мерзлых грунтов личным составом с помощью шанцевого инструмента.

Эффективность применения КСМ в ходе выполнения инженерных работ может быть оценена по относительной доле выполнения с его помощью заданных объемов каждой из работ за отведенное время и количественному сравнению объемов инженерных работ, выполненных с помощью МСМ и личным составом вручную с помощью шанцевого инструмента за одно и то же время в одинаковых условиях.

Эффективность любого средства при выполнении инженерной работы объемом $Q_{зад}$ за отведенное время $t_{зад}$ может быть определена с использованием зависимости [2]

$$K_{прим}^i(t_{зад}^i) = M \left[\Pi_{cp} \right] \frac{M}{N + M} \frac{t_{зад}^i}{Q_{зад}^i}, \quad (13)$$

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 объем i -й работы; $M[\Pi_c]$ — математическое ожидание производительности средств при выполнении работы, сд. раб.ч⁻¹; N и M — интенсивность потока повреждений и восстановлений, ч⁻¹ (N и M

равны соответственно $\frac{1}{T_n}$ и $\frac{1}{T_b}$, где

T_n и T_b — наработка на отказ и время восстановления после отказа, ч).

Производительность МСМ на каждом виде инженерных работ следует считать величиной случайной, изменяющейся по нормальному закону [4]. При задании производительности максимальным Π_{max} и минимальным Π_{min} значениями ее математическое ожидание составит

$$M \left[\Pi_{cp} \right] = \frac{1}{2} (\Pi_{max} + \Pi_{min}). \quad (14)$$

С учетом этого выражение (13) преобразуется к виду

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

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

Отведенное на выполнение задачи по оборудованию временного городка время распределяется следующим образом: бурение шпуров — 8 ч, бурение скважин — 7 ч, очистка местности от снега и посторонних предметов — 1 ч, проведение подрывных работ — 2 ч, рытье траншей вручную для техники — 9 ч. Максимальная производительность МСМ при бурении в мерзлых 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 пересчете на меньшую глубину бурения, равную 0,225 м (три четверти глубины промерзания грунта), максимальная производительность МСМ (с учетом технологических потерь и потерь времени на перемещение в пределах обустройства 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 объемы работ по бурению скважин и шпуров могут быть выполнены в течение 15 (8 + 7) ч. 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:

- при очистке местности в местах размещения палаток и техники

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

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

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

где P_{max}^o и P_{min}^o — максимальная и минимальная производительность КСМ при очистке местности от снега, м²/ч; P_{max}^p и P_{min}^p — максимальная и минимальная производительность КСМ при рытье котлованов, м³/ч; t_3^o и t_3^p — время на выполнение работ соответственно по очистке местности от снега и по рытью котлованов, ч; Q_3^o и Q_3^p — требуемые объемы работ соответственно по очистке местности от снега и по рытью котлованов, м² и м³.

Таблица 1. Исходные данные для определения показателей эффективности применения КСМ при выполнении буровых и бульдозерных работ

Основной параметр	Обозначение	Значение	Примечание
1. Производительность при бурении мерзлых грунтов шпуров $d = 40$ мм:			
максимальная, шпур/ч	$P_{\text{max}}^{\text{б.шпур}}$	40	$h_6 = 0,75h_z$
минимальная, шпур/ч	$P_{\text{min}}^{\text{б.шпур}}$	30	$h_6 = 0,75h_z$
2. Производительность при бурении мерзлых грунтов скважин $d = 80$ мм:			
максимальная, скважин/ч	$P_{\text{max}}^{\text{б.скв}}$	30	$h_6 = 0,75h_z$
минимальная, скважин/ч	$P_{\text{min}}^{\text{б.скв}}$	20	$h_6 = 0,75h_z$

Окончание табл.1

Основной параметр	Обозначение	Значение	Примечание
3. Производительность очистки местности от снега:			
максимальная, м ³ /ч	$P_{\text{MAX}}^{\text{O}}$	1145	$P^{\text{O}} = V_p h_{\text{отв.}}$
минимальная, м ³ /ч	$P_{\text{МИН}}^{\text{O}}$	1012	$P^{\text{O}} = V_p h_{\text{отв.}}$
4. Производительность при рытье котлованов:			
максимальная, м ³ /ч	$P_{\text{MAX}}^{\text{P}}$	10	
минимальная, м ³ /ч	$P_{\text{МИН}}^{\text{P}}$	9	
5. Требуемые объемы работ:			
при бурении шпуров, шт.	$Q_3^{\text{шпур}}$	300	$d = 40 \text{ мм}$
при бурении скважин, шт.	$Q_3^{\text{скв}}$	180	$d = 80 \text{ мм}$
при рытье котлованов для палаток, м ³	Q_p	30×3	
при очистке местности от снега, м ²	Q_o	1305	$h = 0,15—0,20$
6. Количество суток (оборудование городка)		2	12 + 12 = 24 ч
7. Время на выполнение работ:			По опросу специалистов
очистка местности от снега, ч	t_1^{O}	1,0	
бурение шпуров, ч	t_2^{O}	8,0	
бурение скважин, ч	t_3^{O}	7,0	
проведение подрывных работ по рыхлению мерзлых грунтов	$t_4^{\text{пр}}$	2,0	
8. Средняя наработка на отказ МСМ, ч	T	40	
9. Время восстановления МСМ, ч	$T_{\text{в}}$	2	
10. Минимальные скорости КСМ, м/мин:			По паспорту
вперед	V_o		
назад	V_3		
11. Коэффициент буксования:			Для гусеничного движения
наибольший	K_6^{max}	0,25	
наименьший	K_6^{min}	0,15	
12. Рабочие скорости КСМ, м/ч:			
вперед (при $K_6 = 0,15—0,25$)	$V_{\text{ВП}}$		$V_p = V_o(1 - K_6)$
назад (при $K_6 = 0$)	$V_{\text{Н}}$		—
13. Глубина промерзания грунта, м	$h_{\text{гр}}$	0,3	—
14. Толщина снежного покрова, м	h	0,15—0,20	—
15. Размеры котлованов для техники, м:			
длина	L		Длина котлована поверху
ширина	B		
высота	H		

Таблица 2. Данные для определения показателей эффективности при выполнении инженерных работ по оборудованию временного городка

Основные параметры	Обозначение	Количественное значение	Примечание
1. Производительность при устройстве в мерзлых грунтах:			Ломами на $h = 23—25$ см
шпуров $d = 40$ мм:			
максимальная, шпур/ч	$P_{\max_ручн}^{б.шпур}$	5	
минимальная, шпур/ч	$P_{\min_ручн}^{б.шпур}$	3	
скважин $d = 80$ мм:			
максимальная, скважин/ч	$P_{\max_ручн}^{б.скв}$	3	
минимальная, скважин/ч	$P_{\min_ручн}^{б.скв}$	3	
2. Производительность при рытье в разрыхленных мерзлых грунтах котлованов для техники:			Лопатами БСЛ-110 (2 человека)
максимальная, м ³ /ч	$P_{\max_ручн}^p$	1,5	
минимальная, м ³ /ч	$P_{\min_ручн}^p$	1,0	
3. Производительность при очистке местности от снега и посторонних предметов ($h_{сн} = 30$ см):			Лопатами БСЛ-110 или фанерными
максимальная, м ² /ч	$P_{\max_ручн}^o$	130	
минимальная, м ² /ч	$P_{\min_ручн}^o$	100	

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 (расчет из двух человек), при этом производительность по бурению, рытью котлованов под склады и технику по очистке площадок от снега (см. 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 отведенное 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 отведенное время (15 ч) предусмотренного объема работ с помощью шанцевого инструмента необходимо: для очистки участков

местности от снега и посторонних предметов — 8 человек, для бурения шпуров — 9, для бурения скважин — 10, для рытья котлованов — 98 человек.

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

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

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

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

Таблица 3. Исходные данные для определения показателей экономической эффективности КСМ

Основной параметр	Обозначение	Количественные значения	Примечание
1. Стоимость (отпускная цена), руб.	C		
2. Амортизационный срок службы, ч	T_A		
3. Годовая стоимость содержания и обучения персонала, руб.	C_z		
4. Стоимость литра, руб.:			
дизельного топлива	C_i^r		
масла	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_T		

В качестве критерия 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:

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

где $\mathcal{E}_{\text{эф}}$ — показатель критерия экономической эффективности; $C_{\text{вр}}$ — стоимость выполнения работы вручную личным составом, руб.; $C_{\text{КСМ}}$ — стоимость выполнения работы с использованием КСМ, руб.

Первоочередными и наиболее трудоемкими являются работы по рыллению мерзлого грунта буровзрывным способом (бурение шпуров и скважин), а впоследствии рытье 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:

$$C_{\text{КСМ}} = C_A + C_{\mathcal{E}} + C_{\text{л.с}} + C_{\text{вп}} \quad (19)$$

где C_A — стоимость амортизации КСМ при выполнении работ по бурению шпуров, скважин или рытье котлованов, руб.; $C_{\mathcal{E}}$ — стоимость эксплуатационных материалов, израсходованных при выполнении работ по бурению шпуров, скважин и рытье

котлованов, руб.; $C_{\text{л.с}}$ — стоимость затрат на содержание расчета КСМ (с учетом времени его работы на каждом виде работ), руб.; $C_{\text{вп}}$ — стоимость восполнения потерь, руб.

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

$$C_A = N \frac{t_p}{T_A} C_0, \quad (20)$$

где N — количество КСМ (МСМ), задействованных на инженерных работах ($N = 1$ шт.); t_p — время выполнения работы i -го вида, ч; T_A — амортизационный срок службы КСМ, ч; C_0 — стоимость КСМ, руб.

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

Стоимость амортизации КСМ при взятых данных составит:

- при выполнении работ по бурению шпуров:

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

- при бурении скважин и при тех же данных:

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

- при копании котлованов:

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

Стоимость эксплуатационных материалов (ГСМ) при выполнении запланированных работ определяется по формуле

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

где q_i, q'_i, q''_i — норма расхода i -го эксплуатационного материала за час работы, л/ч; 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:
 - при бурении шпуров

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

- при бурении скважин

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

- при копании котлованов

$$C_{\Sigma}^k = 1 \cdot 9 \frac{200 \cdot 12}{10^3 \cdot 0,83} 20 = 520,5 \text{ руб.};$$

- для масла (1,2% расхода дизельного топлива):
 - при бурении шпуров

$$C_{\Sigma M}^{\text{шп}} = 1 \cdot 8 \cdot 2,89 \frac{1,2}{100} 60 = 1 \cdot 8 \cdot 2,1 = 17 \text{ руб.};$$

- при бурении скважин

$$C_{\Sigma M}^{\text{скв}} = 1 \cdot 7 \cdot 2,1 \approx 15 \text{ руб.};$$

- при рытье котлованов

$$C_{\Sigma M}^k = 1 \cdot 9 \cdot 2,1 = 18,9 \text{ руб.}$$

Общая стоимость эксплуатационных затрат составит:

- при бурении шпуров

$$C_{\Sigma}^{\text{шп}} = 462,7 + 17 = 479,7 \text{ руб.};$$

- при бурении скважин

$$C_{\Sigma}^{\text{скв}} = 404,8 + 15 = 419,8 \text{ руб.};$$

- при копании котлованов

$$C_{\Sigma}^k = 520,5 + 18,9 = 539,4 \text{ руб.}$$

Стоимость затрат на содержание расчета КСМ (двух человек)

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

где C_z — годовая стоимость содержания и обучения одного человека, руб.; t_p — время работы КСМ при выполнении i -й работы, ч; $Z_{\text{л.с}}$ — количество обслуживающего состава КСМ.

Годовая стоимость содержания и обучения одного человека расчета КСМ

$$C_z = C_{80} K_{2008} = 706 \cdot 150 = 105\,900 \text{ руб.},$$

где C_{80} — стоимость содержания специалиста по состоянию на 1 января 1980 г.; K_{2008} — коэффициент перевода затрат к ценам на 1 января 1980 г.

Стоимость затрат на содержание расчета КСМ с учетом времени его работы на каждом виде работ составит:

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

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

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

Стоимость выполнения работ с использованием КСМ составляет:

- при бурении шпуров

$$C_{\Sigma}^{\text{шп}} = 80 + 479,7 + 193,4 = 753,1 \text{ руб.};$$

- при бурении скважин

$$C_{\Sigma}^{\text{скв}} = 70 + 419,8 + 169,2 = 659,0 \text{ руб.};$$

- при копании котлованов

$$C_{\Sigma}^k = 90 + 539,4 + 217,6 = 847,0 \text{ руб.}$$

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

Стоимость выполнения этих работ составит:

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

Тогда коэффициент экономической эффективности применения КСМ составит:

- при бурении шпуров

$$\mathcal{E}_{эф}^{шп} = \frac{C_{вр}^{шп} - C_{МСМ}^{шп}}{C_{вр}^{шп}} 100\% = \frac{870,4 - 753,1}{870,4} 100\% = 13,5\%;$$

- при бурении скважин

$$\mathcal{E}_{эф}^{скв} = \frac{C_{вр}^{скв} - C_{МСМ}^{скв}}{C_{вр}^{скв}} 100\% = \frac{846,3 - 659,0}{846,3} 100\% = 22,1\%;$$

- при копании котлованов

$$\mathcal{E}_{эф}^к = \frac{C_{вр}^к - C_{МСМ}^к}{C_{вр}^к} 100\% = \frac{979,3 - 847,0}{979,3} 100\% = 13,5\%.$$

Таким образом, приведенные 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, оснащенного сменным буровым и бульдозерным оборудованием, при выполнении рассмотренных работ в Арктической зоне Российской Федерации.

Литература

1. Владимиров Д. Великий ледовый путь // Аргументы и факты. — 2014. — № 52. — С. 39.
2. 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.
3. 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.
4. Волынский В. Ф. Эффективность военно-инженерной техники: Учебное пособие. — М.: Воен.-инженер. акад., 1995. — 160 с.