

УДК 338.312

DOI 10.52928/2070-1632-2021-58-13-24-30

**ТЕОРИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА СЛОЖНОЙ ПРОДУКЦИИ  
(НА ПРИМЕРЕ РАЗРАБОТКИ МЕРЗЛЫХ И ПРОЧНЫХ ГРУНТОВ)****д-р экон. наук, проф. Н.А. ДУБРОВСКИЙ, Е.С. ВЕРЕТЕННИКОВА, О.А. КАМЕКО  
(Полоцкий государственный университет)**

*Рассмотрены методы определения производительностей комплекта и парка машин. Разработана методика расчета производительности комплекта машин, позволяющая определить возможность его формирования с учетом особенностей машин и условий их работы в заданных условиях. Предложена методика определения производительности парка машин с учетом влияния большого количества различных факторов за любой период времени. Данные методики позволяют определять эффективность использования различной техники при осуществлении земляных работ.*

**Ключевые слова:** *производительность машин, парк машин, комплект машин, производительность парка машин, производительность комплекта машин.*

**Введение.** Интенсивное развитие строительного производства невозможно без применения высокопроизводительной техники, комплексной механизации и автоматизации его процессов. Актуальность проведения исследования по выбранной тематике обосновывается тем, что значительное место в технологических процессах при производстве сложной продукции занимают строительные машины и механизмы. В настоящее время они выполняют не вспомогательную роль, а превращаются в один из основных решающих факторов, определяющих эффективность производства. Нельзя обеспечить устойчивый ритм работы производства сложной продукции без средств механизации трудоемких и тяжелых работ, без связующей роли строительных машин и механизмов, выполняющих отдельные операции технологического процесса. Производство сложной продукции, как правило, требует выполнения комплекса различных операций. Количество операций и их содержание зависит от сложности обрабатываемой продукции, то есть ее конструктивных и технологических особенностей. Процесс разработки мерзлых и прочных грунтов, базирующихся на механическом рыхлении прочного слоя является комплексным, состоящим из простых процессов. Поэтому решение проблемы разработки грунтов, имеющих мерзлые и прочные включения, может быть достигнуто только на основе комплексного рассмотрения вопросов рыхления, выемки, формирования комплектов и парков, а также вопросов организации, планирования и управления строительным производством.

Целью данного исследования является разработка методик расчета производительностей комплекта и парка машин (на примере разработки мерзлых и прочных грунтов). Методика определения производительности комплекта машин позволит определять возможность его формирования с учетом особенностей машин и условий их работы в заданных условиях. Методика определения производительности парка машин позволит учитывать влияние большого количества различных факторов за любой период времени. Данные методики позволят определять эффективность использования различной техники при осуществлении земляных работ.

**Основная часть.** Под комплектом машин подразумевается совокупность основных и вспомогательных машин, необходимых для механизированного выполнения всех трудоемких операций, входящих в состав комплексного процесса, или вида работ, взаимно увязанных по эксплуатационной производительности и другим параметрам, обеспечивающих выполнение заданных объемов в установленные сроки [1].

В работах С.Е. Канторера [2] при формировании комплектов (вариантов механизации) вначале составляется перечень основных (ведущих в комплекте) машин, техническая область применения которых соответствует параметрам выполняемой работы. Применительно к отобранным ведущим машинам устанавливается состав соответствующих комплектов машин и выявляются варианты механизации строительного процесса. Эксплуатационная среднечасовая и годовая производительности комплекта машин постоянного состава при выполнении однородных работ измеряется в единицах конечной продукции и принимается равной производительности ведущей машины. При изменении состава комплекта машин эксплуатационная среднечасовая производительность определяется по каждой основной машине комплекта (без учета машин, выполняющих подсобные работы) в единицах продукции этой машины.

В литературе [3; 4] отмечено, что выбор комплекта представляет собой сложную задачу, поэтому в случаях, когда это возможно, рекомендуется использовать простые схемы комплексных механизированных работ, выполняемых минимальным количеством машин.

В исследованиях [5; 6] показано, что организация производства земляных работ должна быть наиболее проста и экономична, предусматривает выполнение работ минимальным количеством машин и обслуживающего персонала, конструкция и параметры машин должны соответствовать условиям работы. В составе каждого комплекта выделяется одна или несколько ведущих машин, которые определяют организацию работ, производительность и темп производства. Состав комплекта машин должен обеспечивать непрерывность работ, а производительность каждой машины – наиболее эффективную работу ведущей машины.

При выборе комплекта учитываются объемно-планировочные и конструктивные характеристики объекта, технологическая структура и характеристика земляных работ, способы организации работ и сроки их выполнения.

Для определения количества машин, входящих в комплект, используются различные методы: увязка машин по производительности, когда производительность комплектуемых машин соответствует производительности ведущей машины; увязка выбранных машин по производительности с учетом того, что производительность комплектуемых машин на 10–15% выше производительности ведущей машины; согласование работы машин с помощью заделов; обеспечение согласованной работы комплекта с использованием резерва машин (нагруженного, ненагруженного); применение теории массового обслуживания.

Для выбора оптимальных комплектов используются различные технико-экономические показатели.

Расчёты, связанные с определением параметров комплектов машин, осуществляются как вручную, так и с использованием компьютерно-информационных технологий. Несмотря на довольно большое количество исследований, разработанных методик по расчету параметров комплектов машин, применять их в области разработки мерзлых и прочных грунтов в том виде, в каком они приведены, невозможно. Так, при формировании комплектов увязка машин осуществляется по производительности, причём производительность комплектуемых машин на 5–10% выше производительности ведущих.

При разработке мерзлых грунтов это условие практически выдержать сложно. Связано это с тем, что при отрицательной температуре глубина промерзания грунта увеличивается, что влияет на производительность рыления. При разработке одного объекта производительность рыления может быть выше производительности выемки, ниже или они могут быть равными. Следовательно, требуется такая модель и соответствующая ей методика, которые позволяли бы рассчитывать производительность комплекта при любом соотношении производительности входящих в него машин.

Машины, входящие в комплект для разработки мерзлых и прочных грунтов, в течение определенного времени могут работать независимо друг от друга, что достигается с помощью задела. Задел в процессе работы машин с различной производительностью изменяется. Его изменение должно осуществляться в определенных пределах. Он не может быть меньше значения, которое обеспечивает безопасную работу машин и больше некоторой величины, так как подготовленный к выемке мерзлый грунт смерзается. Исходя из этого необходимо проверять возможность формирования комплектов из отобранных машин и целесообразность их использования в данных условиях исходя из того, что заданный объем работ будет выполнен в требуемый срок.

Указанные особенности эксплуатации вызвали необходимость разработки специальных методических основ формирования комплектов машин и определения их производительности.

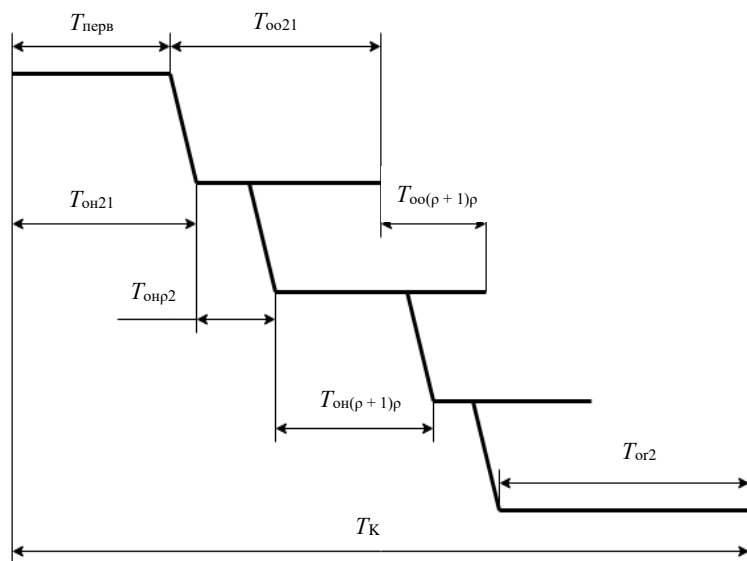
В общем случае производительность комплекта рассчитывается по формуле (1):

$$P_K = \frac{V_K}{T_K}, \tag{1}$$

где  $V_K$  – объем работ, выполненный комплектом, в единицах конечной продукции;

$T_K$  – время работы комплекта при производстве заданного объема продукции, ч.

Время  $T_K$  определяется исходя из структуры комплексного процесса разработки мерзлых и прочных грунтов, графическое изображение которого приведено на рисунке 1.



$T_{перв}$  – продолжительность выполнения первого рабочего процесса;

$T_{оо21}$  – время отставания окончания первого рабочего процесса относительно начала второго;

$T_{он21}$  – время отставания начала второго процесса относительно первого;

$T_{оо(\rho+1)\rho}$  – время отставания окончания  $(\rho+1)$ -го рабочего процесса относительно начала  $\rho$ -го;

$T_{онр2}$  – время отставания начала  $\rho$ -го процесса относительно второго;

$T_{он(\rho+1)\rho}$  – время отставания начала  $(\rho+1)$ -го рабочего процесса относительно начала  $\rho$ -го;

$T_{ор2}$  – время раннего окончания второго процесса.

Рисунок 1. – Структура комплексного процесса разработки мерзлых и прочных грунтов

Сообразно рисунку 1 получаем

$$T_K = \sum_{\rho=0}^{n_{pn}-1} T_{он(\rho+1)\rho} + T_{пос}, \quad (2)$$

где  $n_{pn}$  – количество рабочих процессов, выполняемых при разработке мерзлых грунтов;  
 $\rho$  – индекс рабочего процесса ( $\rho = 1, 2 \dots n_{pn}$ );  
 $T_{он(\rho+1)\rho}$  – отставания начала  $(\rho + 1)$ -го процесса относительно начала  $\rho$ -го, ч;  
 $T_{пос}$  – продолжительность выполнения последнего рабочего процесса, ч.  
 Значение  $T_K$  можно рассчитать также по формуле (3)

$$T_K = T_{перв} + \sum_{\rho=0}^{n_{pn}-1} T_{оо(\rho+1)\rho}, \quad (3)$$

где  $T_{перв}$  – продолжительность выполнения первого рабочего процесса, ч;  
 $T_{оо(\rho+1)\rho}$  – время отставания окончания  $(\rho + 1)$ -го рабочего процесса относительно начала  $\rho$ -го, ч.  
 Количество рабочих процессов зависит от характера объектов в начальном и конечном состояниях.  
 При определении  $T_{он(\rho+1)\rho}$  и  $T_{оо(\rho+1)\rho}$  учитываются производительность процессов, соотношение производительностей смежных процессов, степень одновременности их выполнения.

Рабочие процессы могут выполняться последовательно или параллельно-последовательно. При последовательном выполнении процессов каждый последующий начинается только после завершения предыдущего. Значение  $T_{он(\rho+1)\rho}$ , в этом случае, равно или продолжительности выполнения  $\rho$ -го рабочего процесса, или сумме продолжительностей  $\rho$ -го процесса и перерыва, если между  $\rho$ -м и  $(\rho + 1)$ -м процессами есть перерыв.

$$T_{он(\rho+1)\rho} = T_{np}, \quad (4)$$

или

$$T_{он(\rho+1)\rho} = T_{np} + T_{пер(\rho+1)\rho}, \quad (5)$$

где  $T_{np}$  – продолжительность  $\rho$ -го процесса, ч;  
 $T_{пер(\rho+1)\rho}$  – продолжительность перерыва между окончанием  $\rho$ -го и началом  $(\rho + 1)$ -го рабочих процессов, ч.  
 Если рабочие процессы выполняются параллельно-последовательно, то величина опережения зависит от особенностей разрабатываемых объектов, соотношения производительностей смежных процессов, перерывов между ними и т.п. Для организации параллельно-последовательного выполнения процессов необходим задел, который в любой момент параллельного выполнения процессов не должен быть меньше определенного значения, обеспечивающего безопасную и непрерывную работу машин. Его значение

$$V_{з(\rho+1)\rho} = F_{з(\rho+1)\rho} \cdot H_{(\rho+1)}, \quad (6)$$

где  $F_{з(\rho+1)\rho}$  – площадь задела, необходимая для организации нормальной работы машин на  $\rho$ -м и  $(\rho+1)$ -м рабочих процессах, м<sup>2</sup>;

$H_{(\rho+1)}$  – глубина выработки на  $(\rho + 1)$ -м процессе, м.

При определении площади задела учитывают размеры работающих машин, их количество, организацию работ, технику безопасности и т.п. Существенное влияние на  $F_{з(\rho+1)\rho}$  оказывает конфигурация объектов.

При разработке траншей и котлованов, если машина, выполняющая  $(\rho + 1)$ -й процесс, движется поперек

$$F_{з(\rho+1)\rho} = B_0 \cdot (L_{з(\rho+1)\rho} + L_p), \quad (7)$$

где  $L_{з(\rho+1)\rho}$  – длина рабочей зоны машины, выполняющей  $(\rho + 1)$ -й процесс, м;  
 $L_p$  – минимально допустимый разрыв между рабочими зонами машин, выполняющих смежные процессы, м.  
 При расположении захваток вдоль объекта

$$F_{з(\rho+1)\rho} = B_3 \cdot L_3, \quad (8)$$

где  $B_3$  и  $L_3$  – соответственно, ширина и длина захватки, м.  
 Если производительность смежных процессов одинакова, то задел при параллельной работе машин не изменяется.

При  $\Pi_{np} > \Pi_{п(\rho+1)}$  задел увеличивается, а при  $\Pi_{np} < \Pi_{п(\rho+1)}$  он уменьшается.

Исходя из этого при  $\Pi_{np} > \Pi_{п(\rho+1)}$   $(\rho+1)$ -й процесс начинается как только будет создан минимально необходимый задел  $V_{з(\rho+1)\rho}$ , а

$$T_{он(\rho+1)\rho} = \frac{V_{з(\rho+1)\rho}}{\Pi_{np}}. \quad (9)$$

Ввиду того, что при  $P_{пр} < P_{n(\rho+1)}$  задел при параллельном выполнении процессов уменьшается, к началу выполнения  $(\rho + 1)$ -го процесса он должен быть таким, чтобы уменьшаясь его величина компенсировала различие в производительности процессов и достигала своего минимального значения в момент окончания  $\rho$ -го процесса. В данном случае

$$T_{он(\rho+1)\rho} = T_{пр} - \tau_{(\rho+1)\rho}, \quad (10)$$

где  $\tau_{(\rho+1)\rho}$  – время параллельного выполнения  $\rho$ -го и  $(\rho+1)$ -го рабочих процессов, ч.  
Время параллельной работы

$$\tau_{(\rho+1)\rho} = T_{n(\rho+1)} - T_{оо(\rho+1)\rho}. \quad (11)$$

Время отставания окончания  $(\rho+1)$ -го процесса относительно окончания  $\rho$ -го

$$T_{оо(\rho+1)\rho} = \frac{V_{з(\rho+1)\rho}}{P_{n(\rho+1)}}. \quad (12)$$

Тогда

$$T_{он(\rho+1)\rho} = \frac{V_{пр}}{P_{пр}} - \frac{1}{P_{n(\rho+1)}} \cdot (V_{n(\rho+1)} - V_{з(\rho+1)\rho}). \quad (13)$$

Полученные зависимости для определения  $T_{он(\rho+1)\rho}$  позволяют определять его значение, если фактические и расчетные значения начала процессов совпадают. Однако начать тот или иной процесс в расчетные сроки не всегда удается. Между возможным и фактическим началами процессов имеют место перерывы.

Тогда при  $P_{пр} > P_{n(\rho+1)}$

$$T_{он(\rho+1)\rho}^{\Phi} = T_{он(\rho+1)\rho} + T_{нпер(\rho+1)}, \quad (14)$$

где  $T_{нпер(\rho+1)}$  – продолжительность перерыва между возможным и фактическим началами выполнения  $(\rho+1)$ -го процесса.

При  $P_{пр} < P_{n(\rho+1)}$  имеем

$$T_{он(\rho+1)\rho}^{\Phi} = T_{пр} - \tau_{(\rho+1)\rho} + T_{нпер(\rho+1)}. \quad (15)$$

При формировании комплектов необходимо помимо определения их производительности решать вопросы, связанные с выяснением возможности их создания из выбранных машин и целесообразности использования в данных условиях исходя из того, что заданные объемы работ будут выполнены в срок.

Возможность создания комплекта из имеющихся машин проверяется по условию

$$T_{он(\rho+1)\rho}^{\Phi} \leq T_{доп} \leq T_{оо(\rho+1)\rho}^{\Phi}. \quad (16)$$

Значение  $T_{доп}$  зависит от особенностей грунта, характера выполняемых работ, температуры наружного воздуха и т.п. Для разработки мерзлых грунтов в качестве  $T_{доп}$  можно принять время, в течение которого подготовленный к выемке грунт начнет повторно омерзаться.

Для решения вопроса о том, сможет ли комплект выполнить к заданному сроку требуемый объем работ, проверяют условие

$$\sum_{\rho=1}^{n_{\rho-1}} T_{он(\rho+1)\rho} + T_{пос} \leq T_{нор}, \quad (17)$$

где  $T_{нор}$  – допустимая продолжительность выполнения заданного объема работ, ч.

Из условия (16) можно определить допустимое значение перерыва между возможным и фактическим началами  $(\rho + 1)$ -го процесса

$$T_{нпер(\rho+1)} \leq T_{доп} - T_{он(\rho+1)\rho}, \quad (18)$$

$$T_{опер(\rho+1)} \leq T_{доп} - T_{оо(\rho+1)\rho}. \quad (19)$$

С другой стороны, время перерыва между возможным и фактическим началами  $(\rho + 1)$ -го процесса должно удовлетворять условию, чтобы все последующие за  $(\rho + 1)$ -м процессы с учетом перерывов были выполнены за отведенное им время.

$$T_{\text{нпер}(\rho+1)} = T_{\text{нор}} - \left( \sum_{\rho=1}^{n_{\text{м-1}}} T_{\text{он}(\rho+1)\rho} + \sum_{\rho=1}^{n_{\text{м-2}}} T_{\text{нпер}(\rho+1)} + T_{\text{пос}} \right). \quad (20)$$

Определив  $T_{\text{нпер}(\rho+1)}$  по полученным зависимостям выбирают наименьшее значение, которое и будет характеризовать допустимое смещение фактического начала для  $(\rho+1)$ -го процесса.

Решение задачи, связанной с расчетом параметров комплектов машин, позволяет перейти к исследованию более крупных и сложных систем, то есть парков машин.

Парк машин – это целесообразная совокупность технических средств, объединенных единством целей преобразования энергии, информации, материалов для получения продукции. Структура парка машин должна обеспечивать своевременность выполнения планируемых работ. На величину потребности в машинах влияют условия и характер строительства, объемы и сроки производства работ, организация их выполнения, квалификация машинистов и другие факторы.

Существуют различные методы определения парка машин. Среднегодовая потребность определяется как отношение объема работ, подлежащих выполнению в течение года, к среднегодовой эксплуатационной производительности одной машины. В современной литературе [7–9] потребность в строительных машинах при перспективном планировании определяется на основе укрупненных данных о рациональной потребности организации в машинах на 1 млн руб. сметной стоимости строительно-монтажных работ. Однако в рассмотренных работах не исследуется вопрос измерения производительности парка машин за более короткие промежутки времени, что бывает необходимо при операционном планировании, управлении и определении эффективности вариантов механизации работ.

Характерным для разработки мерзлых и прочных грунтов является то, что в работах участвуют не отдельные машины, а комплекты машин. Эта особенность вызывает необходимость использования в качестве основного расчетного показателя для определения параметров парка производительность комплекта, а не производительности машины, как в изложенных работах. Для того, чтобы учесть это своеобразие, нами предлагается следующая логическая модель определения производительности парка машин.

Производительность парка машин  $\Pi_{\text{П}}$  зависит от количества комплектов  $n_{\text{К}}$  их производительности, режима строительства, степени использования парка  $K_{\text{ИП}}$ , объема выполняемых работ  $V_{\text{П}}$  и т.п.

$$\Pi_{\text{П}} = f(\Pi_{\text{К}}, n_{\text{К}}, K_{\text{ИП}}, V_{\text{П}}). \quad (21)$$

Часовая производительность парка машин

$$T_{\text{парч}} = \frac{V_{\text{нар}}}{T_{\text{нар}}}, \quad (22)$$

где  $V_{\text{нар}}$  – объем работ, выполненных парком за время, равное  $T_{\text{нар}}$ ;

$T_{\text{нар}}$  – период времени, за который определяется часовая производительность парка машин.

При расчете производительности парка учитывается, что не вся техника, входящая в парк, используется в том или ином периоде времени. Часть техники не работает вследствие ее ремонта, перебазирования, нахождения в резерве, по непредвиденным причинам и т.п. Наличие неработающей техники при расчете производительности парка учитывается с помощью коэффициента использования машин по времени.

Тогда

$$T_{\text{парч}} = \frac{V_{\text{нар}}}{T_{\text{нар}}} \cdot K_{\text{ИП}}, \quad (23)$$

где  $K_{\text{ИП}}$  – коэффициент использования парка машин по времени.

Объем выполненных работ за время

$$V_{\text{нар}} = \sum_{c=1}^{n_{\text{к}}} (\Pi_{\text{кс}} \cdot T_{\text{кс}}), \quad (24)$$

где  $n_{\text{к}}$  – количество комплектов машин, работающих в течение времени  $T_{\text{нар}}$ ;

$\Pi_{\text{кс}}$  – производительность  $c$ -го комплекта;

$T_{\text{кс}}$  – время работы  $c$ -го комплекта в течение времени  $T_{\text{нар}}$ , ч.

Коэффициент использования парка по времени

$$K_{\text{ИП}} = \frac{T_{\text{рнар}}}{T_{\text{рнар}} + T_{\text{нрнар}}}, \quad (25)$$

где  $T_{\text{рнар}}$  – суммарное время, которое отработали все машины за рассматриваемый период времени  $T_{\text{нар}}$ , ч;

$T_{нрпар}$  – суммарное время, в течение которого машины находились в ремонте, перебазировании, резерве и т.п., ч.

Суммарное время, отработанное машинами

$$T_{рпар} = \sum_{d=1}^{n_{mo}} T_{pd}, \quad (26)$$

где  $n_{mo}$  – количество машин, занятых на земляных работах в течение времени  $T_{нар}$ ;

$T_{pd}$  – время, которое отработала  $d$ -я машина за период времени равный  $T_{нар}$ .

Нерабочее время

$$T_{нрпар} = T_{рем} + T_{перб} + T_{рез} + T_{нр}, \quad (27)$$

где  $T_{рем}$ ,  $T_{перб}$ ,  $T_{рез}$ ,  $T_{нр}$  – соответственно суммарные времена нахождения машин в ремонте, перебазировании, резерве и простое по прочим причинам в течение исследуемого периода.

Значение  $T_{рпар}$  и  $T_{нрпар}$  определяются исходя из графика режима работы комплектов в течение времени  $T_{нар}$ .

**Заключение.** Таким образом, предложенный метод и зависимости позволяют:

- 1) определять производительность комплекта, возможность его формирования с учетом особенностей машин и условий их работы в заданных условиях;
- 2) рассчитывать производительность парка за любой период времени с учетом влияния большого количества различных факторов;
- 3) определять эффективность использования различной техники при осуществлении земляных работ.

Разработанные методики определения производительностей комплекта и парка машин позволяют оценивать эффективность применения машин и процессов, планирования, организации и управления, что дает возможность повысить эффективность механизированных процессов при производстве сложной продукции.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Канюка, Н.С. Комплексная механизация трудоемких работ в строительстве / Н.С. Канюка, А.В. Резунин, А.А. Новацкий. – Киев : Будивельник, 1977. – 256 с.
2. Канторер, С.Е. Методы обоснования эффективности применения машин в строительстве. – М. : Стройиздат, 1969. – 292 с.
3. Шальков, А.П. Классификация типовых процессов в земляных работах / А.П. Шальков, В.И. Темченко // Механизмы строительства. – 1982. – № 2. – С. 5–6.
4. Иносов, В.Л. Оптимизация работы комплекса машин / В.Л. Иносов, А.С. Фиделев // Горные, строительные и дорожные машины. Республиканский межведомственный научно-технический сборник. – Вып. 25. – Киев : Техника, 1978. – С. 94–97.
5. Ващенко, И.И. Земляные работы / И.И. Ващенко. – Киев : Будивельник, 1976. – 156 с.
6. Повышение эффективности использования парка строительных машин / Л.И. Бланк [и др.]. – М. : Стройиздат, 1980. – 172 с.
7. Усубаматов, Р.Н. О математических моделях производительности технологических машин / Р.Н. Усубаматов, Т.Э. Сартов, А.И. Оморова // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. – 2018. – № 2(46). – С. 120–127.
8. Баловнев, В.И. Определение оптимальных параметров и выбор дорожностроительных машин методом анализа четвертой координаты : учеб. пособие / В.И. Баловнев. – М. : МАДИ, 2014. – 180 с.
9. Шукуров, Н.Р. Оценка эффективности рабочих процессов землеройно-транспортных машин [Электронный ресурс] / Н.Р. Шукуров, Г.М. Мухамадиев, З.Х. Абиджанов // Молодой ученый. – 2020. – № 15(305). – С. 154–157. – URL: <https://moluch.ru/archive/305/68782/>.

#### REFERENCES

1. Kanyuka, N.S., Rezunin, A.V. & Novatskii, A.A. (1977). *Kompleksnaya mekhanizatsiya trudoemkikh rabot v stroitel'stve*. [Complex mechanization of labor-intensive work in construction]. Kiev: Budivelnik. (In Russ.).
2. Kantorer, S.E. (1969). *Metody obosnovaniya effektivnosti primeneniya mashin v stroitel'stve*. [Methods for substantiating the effectiveness of the use of machines in construction]. Moscow: Stroiizdat. (In Russ.).
3. Shal'kov, A.P. & Temchenko, V.I. (1982). Klassifikatsiya tipovykh protsessov v zemlyanykh rabotakh. *Mekhanizmy stroitel'stva*, (2), 5–6. (In Russ.).
4. Inosov, V.L. & Fidelev, A.S. (1978). Optimizatsiya raboty kompleksa mashin. *Gornye, stroitel'nye i dorozhnye mashiny. Respublikanskii mezhvedomstvennyi nauchno-tehnicheskii sbornik*, (25), 94–97. (In Russ.).
5. Vashchenko, I.I. (1976). *Zemlyanye raboty [Excavation]*. Kiev: Budivelnik. (In Russ.).
6. Blank, L.I., Kievskaya, E.E., Kitov, P., Alekseev, S., Teoharov, V. (1980). *Povyshenie effektivnosti ispol'zovaniya parka stroitel'nykh mashin*. [Increasing the efficiency of using the park of construction machines]. Moscow: Stroiizdat. (In Russ.).
7. Usubamatov, R.N. (2018). O matematicheskikh modelyakh proizvoditel'nosti tekhnologicheskikh mashin. *Izvestiya Kyrgyzskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. I. Razzakova*, (2), 120–127.
8. Balovnev, V.I. (2014). *Opreделение optimal'nykh parametrov i vybor dorozhnoostroitel'nykh mashin metodom analiza chetvertoi koordinaty: ucheb. Posobie [Determination of optimal parameters and selection of road construction machines by the method of analysis of the fourth coordinate: textbook]*. Moscow: MADI. (In Russ.).

9. Shukurov, N.R., Mukhamadiev, G.M. & Abidzhanov, Z.Kh. (2020). Otsenka effektivnosti rabochikh protsessov zemleroino-transportnykh mashin. *Molodoi uchenyi*, (15), 154–157. (In Russ.).  
URL: <https://moluch.ru/archive/305/68782/>.

Поступила 09.06.2021

**THEORY OF PRODUCTIVITY OF PRODUCTION OF COMPLEX PRODUCTS  
(ON THE EXAMPLE OF DEVELOPMENT OF FROZEN AND DURABLE SOILS)**

**N. DUBROVSKY, E. VERETENNIKOVA, O. KAMEKO**

*Methods for determining the productivity of a set and a fleet of machines are considered. A method has been developed for calculating the productivity of a set of machines, which makes it possible to determine the possibility of its formation, taking into account the characteristics of the machines and the conditions of their operation under given conditions. A method is proposed for determining the productivity of a fleet of machines, taking into account the influence of a large number of different factors for any period of time. These techniques allow you to determine the effectiveness of the use of various equipment in the implementation of earthworks.*

**Keywords:** *productivity of machines, park of cars, set of machines, productivity of a park of machines, productivity of a set of machines.*