

УДК 69.002.5

И.А. Исупов, С.И. Вахрушев

I.A. Isupov, S.I. Vakhrushev

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет

Perm National Research Polytechnic University

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ
КОМПЛЕКТА ПЛАНИРОВОЧНЫХ МАШИН
С САМОХОДНЫМ И ПРИЦЕПНЫМ СКРЕПЕРАМИ**

**RESEARCH OF THE PRODUCTIVITY
OF COMPLETE PLANNING MACHINES
WITH SELF-PROPELLED AND TOWED SCRAPERS**

Рассмотрены расчеты производительности двух комплектов планировочных машин: комплект № 1 – прицепной скрепер ДЗ-12А и пневмоколесный каток ДУ-31А; комплект № 2 – самоходный скрепер ДЗ-11П, пневмоколесный каток ДУ-31А и толкач. Вычислена эксплуатационная и нормативная производительность скреперов с учетом геометрической емкости ковша скрепера, времени полного цикла. Рассчитано количество ведущих машин в комплекте так, чтобы продолжительность работ n-го числа скреперов совпала с продолжительностью работы катков. Проведено технико-экономическое сравнение двух комплектов. Описан полный цикл работы скрепера, продемонстрированы операции рабочего цикла.

Ключевые слова: производительность, самоходный скрепер, прицепной скрепер, толкач, комплект машин, устройство скрепера, повышение производительности, цикл работы скрепера, схемы набора грунта.

Capacity rating of two sets of planning cars, set no. 1 are considered: hook-on scraper DZ-12A and the pneumowheel roller of DU-31A; set no. 2: self-propelled scraper DZ-11P, the pneumowheel roller of DU-31A and pusher. Operational and normative efficiencies of scrapers taking into account of the geometrical capacity of a bucket of the scraper, time of the complete alternation. The number of the leading cars in a set is calculated so that duration of operation n-oho of number of scrapers coincided with a running time of roller. Technical and economic comparison of two sets. Besides, the complete alternation of operation of the scraper is described and operations of a duty cycle.

Keywords: productivity, self-propelled scraper, towed scraper, pusher, set of machines, scraper device, increase of productivity, cycle of operation of the scraper, scheme of a set of soil.

Скрепер – это самоходная или прицепная землеройно-транспортная машина, которая приводится в движение тягачом или двигателем и используется для срезания слоя грунта, его транспортирования и разгрузки, с последующим разравниванием и предварительным уплотнением. Рабочая часть скрепера –

ковш на пневмоколесах, с отвалом, с ножами в нижней части ковша для среза-ния слоя грунта. Скреперы используют для разработки грунтов до IV категории. Для облегчения процесса копания скрепером грунты выше II категории предварительно рыхлят рыхлителями на толщину срезаемой стружки. Главный параметр скрепера – это геометрическая вместимость ковша (m^3) [1].

Производительность скрепера – это количество продукции, выраженное в кубических метрах грунта, которое машина перемещает за единицу времени: час, смену, месяц или год.

Необходимость определения производительности скрепера возникает при подборе комплекта техники для планировочных работ. Она является важнейшей составной частью технической характеристики машины. Подбор машин в комплект основан на сравнении сменной эксплуатационной и нормативной производительности скреперов, подборе вспомогательной грунтоуплотняющей машины (катка), определении количества скреперов, обслуживаемых одним катком. На основании технико-экономического расчета определяется рациональный вариант комплекта планировочных машин, состоящий из скрепера, катка и толкача (для самоходного скрепера).

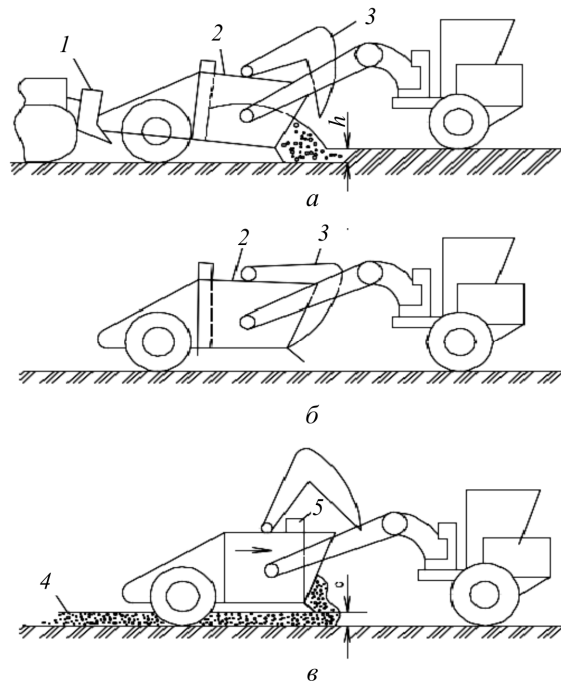


Рис. 1. Операции рабочего цикла самоходного скрепера:

- a* – резание грунта; *б* – транспортирование грунта; *в* – разгрузка грунта;
 1 – бульдозер-толкач; 2 – ковш; 3 – заслонка; 4 – отсыпaeмый слой грунта;
 5 – задняя стенка ковша

Полный цикл работы скрепера состоит из следующих операций [2]:

1) резание грунта и наполнение ковша (рис. 1, *a*): ножи ковша, опущенного на грунт, срезают слой толщиной h , который попадает в ковш при поднятой подвижной заслонке;

2) транспортирование грунта (рис. 1, *b*): когда ковш становится наполненным, он поднимается в транспортное положение, а заслонка опускается, тем самым препятствуя высыпанию грунта из ковша;

3) разгрузка грунта (рис. 1, *в*): заслонка поднята, а грунт вытесняется принудительно из приспущенного ковша выдвигаемой вперед задней стенкой 5 ковша;

4) обратный ход скрепера в забой: ковш поднят в транспортное положение, а заслонка опущена.

Сменная эксплуатационная производительность скрепера характеризуется уравнением [3]

$$\Pi_{\text{см.э}}^c = \frac{3600 \cdot c \cdot q \cdot k_1 \cdot k_b \cdot k_h}{t_{\text{ц}}^c}, \quad (1)$$

где c – продолжительность рабочей смены, ч; q – геометрическая емкость скреперного ковша, м^3 ; k_1 – коэффициент использования вместимости ковша; k_b – коэффициент использования машины по времени; k_h – коэффициент влияния глубины выемки и высоты насыпи; $t_{\text{ц}}^c$ – продолжительность полного цикла, с.

Расчет эксплуатационной и нормативной производительности прицепного и самоходного скрепера. Исходные данные:

- дальность транспортирования грунта – 132 м;
- разрабатываемый грунт – супесь;
- объем выемки – 14 358 м^3 .

В комплекте № 1 (прицепном) ведущей машиной назначим прицепной скрепер ДЗ-12А на базе трактора Т-100М. Его технические характеристики:

- вместимость ковша $q = 6 \text{ м}^3$;
- ширина захвата $l_c = 2,67$ м;
- глубина резания $h = 0,32$ м.

1. Определение сменной эксплуатационной производительности:

$$k_1 = \frac{k_H}{k_{\text{н.п}}}, \quad (2)$$

$$k_1 = \frac{0,75}{1,12} = 0,67,$$

где k_1 – коэффициент использования вместимости ковша; k_H – коэффициент наполнения ковша рыхлым грунтом, принимаем равным 0,75 [3]; $k_{п.р}$ – коэффициент первичного разрыхления грунта.

Время цикла работы скрепера вычисляется по формуле

$$t_{ц}^c = t_3 + t_{г.х} + t_p + t_{п.х} + t_{пов}, \quad (3)$$

где $t_{3(г.х)(р)(п.х)(пов)}^c$ – время загрузки, груженого хода, разгрузки, порожнего хода и поворотов, с.

$$t_3 = \frac{3,6 \cdot L_3 \cdot K_{уск}}{u_3^c}, \quad (4)$$

$$t_p = \frac{3,6 \cdot L_p \cdot K_{уск}}{u_p^c}, \quad (5)$$

$$t_{г.х} = \frac{3,6 \cdot L_{г.х} \cdot K_{уск}}{u_{г.х}^c}, \quad (6)$$

$$t_{п.х} = \frac{3,6 \cdot L_{п.х} \cdot K_{уск}}{u_{п.х}^c}, \quad (7)$$

где $u_3(u_p)(u_{г.х})(u_{п.х})$ – скорость движения скрепера при загрузке, разгрузке, груженом и порожнем ходе, км/ч [3]; $u_3 = 2,9$ км/ч, $u_p = 3$ км/ч, $u_{г.х} = 5,5$ км/ч, $u_{п.х} = 7$ км/ч; $K_{уск}$ – коэффициент ускорения, замедления и переключения передач [3]; $K_{уск} = 1$ при загрузке грунта; $K_{уск} = 1$ при разгрузке грунта; $K_{уск} = 1,2$ при груженом ходе; $K_{уск} = 1,3$ при порожнем ходе; $L_3(L_p)(L_{г.х})(L_{п.х})$ – дальность пути загрузки, разгрузки, грузового хода и порожнего хода, м.

$$L_3 = \frac{2q \cdot k_1 (1 + m_{пр})}{l_c \cdot h_1^c}, \quad (8)$$

$$L_3 = \frac{2 \cdot 6 \cdot 0,67 \cdot (1 + 0,22)}{2,67 \cdot 0,32} = 11,48 \text{ м,}$$

где $m_{пр}$ – коэффициент призмы волочения, принимаем равным 0,22 [3].

$$L_p = \frac{q \cdot k_H}{l_c \cdot h_2^c}, \quad (9)$$

$$L_p = \frac{6 \cdot 0,75}{0,3 \cdot 2,67} = 5,62 \text{ м.}$$

$$L_{г.х} = L_{ср} - L_3 - L_p, \quad (10)$$

$$L_{г.х} = 132 - 11,48 - 5,62 = 114,9 \text{ м.}$$

$$L_{п.х} = L_{ср}, \quad (11)$$

$$L_{п.х} = 132 \text{ м.}$$

$$t_3 = \frac{3,6 \cdot 14,48 \cdot 1}{2,9} = 14,25 \text{ с.}$$

$$t_p = \frac{3,6 \cdot 5,62 \cdot 1}{3} = 6,74 \text{ с.}$$

$$t_{г.х} = \frac{3,6 \cdot 114,9 \cdot 1,2}{5,5} = 90,25 \text{ с.}$$

$$t_{п.х} = \frac{3,6 \cdot 132 \cdot 1,3}{7} = 88,25 \text{ с.}$$

$$t_{пов} = 40 \text{ с.}$$

$$t_{ц}^c = 14,25 + 6,74 + 90,25 + 88,25 + 40 = 239,49 \text{ с.}$$

$$\Pi_{с.м.э}^c = \frac{3600 \cdot 8 \cdot 6 \cdot 0,67 \cdot 0,8 \cdot 1}{239,49} = 386,74 \text{ м}^3/\text{смена.}$$

$K_B = 0,8$ [4]; $K_h = 1$ для прицепных скреперов.

2. Определение нормативной производительности:

$$\Pi_H^c = \frac{a \cdot c}{H_{вр}}, \quad (12)$$

$$\Pi_H^c = \frac{100 \cdot 8}{2} = 400 \text{ м}^3/\text{смена,}$$

где a – единичный объем работ, на который приведена норма времени, $a = 100 \text{ м}^3$ [4]; $H_{\text{вр}}^c$ – норма времени разработки и перемещения грунта скрепером: для перемещения на первые 100 м норма времени составляет 1,7 маш.-ч [4]; для перемещения на каждые последующие 10 м – 0,1 маш.-ч [4].

$$H_{\text{вр}} = 1,7 + 0,1 \cdot 3 = 2 \text{ маш.-ч.}$$

3. Определение расчетной продолжительности работы скрепера:

$$T_{\text{р}}^{1c} = \frac{V_{\text{в}}^{\text{пл}}}{\Pi_{\text{н}}^{\text{к}} \cdot S}, \quad (13)$$

$$T_{\text{р}}^{1c} = \frac{14\,358}{400 \cdot 2} = 17,95 \text{ дней,}$$

где S – число смен в сутки.

Округляем и принимаем $T_{\text{р}}^{1c} = 18$ дней.

4. Выбор катков в качестве вспомогательной техники в комплекте.

Выбираем каток ДУ-31А массой 16 т. Длина гона при работе со скреперами принята 200 м. Каток делает 8 проходов.

Определим нормативную производительность катка:

$$\Pi_{\text{н}}^{\text{к}} = \frac{a \cdot c}{H_{\text{вр}}^{\text{к}}}, \quad (14)$$

$$\Pi_{\text{н}}^{\text{к}} = \frac{1000 \cdot 8}{1,56} = 5128,21 \text{ м}^2/\text{смена,}$$

где $a = 1000 \text{ м}^3$ [4]; $H_{\text{вр}}^{\text{к}}$ – норма времени разработки уплотнения площадей и поверхностей катком: на первые четыре проходки при длине гона 100 м норма времени составила 0,92 маш.-ч [4]; на каждый проход сверх четырех нужно прибавлять 0,16 маш.-ч [4].

$$H_{\text{вр}}^{\text{к}} = 0,92 + 4 \cdot 0,16 = 1,56 \text{ маш.-ч.}$$

Определим расчетную производительность работы катка:

$$T_{\text{р}}^{1к} = \frac{V_{\text{в}}^{\text{пл}}}{\Pi_{\text{н}}^{\text{к}} \cdot S \cdot h_1^6}, \quad (15)$$

$$T_p^{1k} = \frac{14\,358}{0,3 \cdot 5128,21 \cdot 2} = 4,67 \text{ дней},$$

где h_1^6 – толщина уплотняемого катком слоя грунта, принимаем по высоте отваливаемой скрепером стружки – 0,3 м [3].

Округляем и принимаем $T_{np}^{1k} = 4,5$ дней.

Определим количество ведущих машин в комплекте со вспомогательной машиной:

$$N_p^c = \frac{T_p^{1c}}{T_p^{1k}}, \quad (16)$$

$$N_p^c = \frac{17,95}{4,67} = 3,84 \text{ шт.}$$

Округляем и принимаем $N_{np}^c = 4$ шт.

Определим плановую производительность работы катка и скрепера в комплекте:

– производительность катка:

$$\Pi_{\%}^k = \frac{T_p^{1k}}{T_{np}^{1k}} \cdot 100 \%, \quad (17)$$

$$\Pi_{\%}^k = \frac{4,67}{4,5} \cdot 100 \% = 103,8 \% < 120 \%;$$

– производительность скрепера:

$$\Pi_{\%}^c = \frac{T_p^{1c}}{T_{np}^{1k} \cdot N^c} \cdot 100 \%, \quad (18)$$

$$\Pi_{\%}^c = \frac{17,95}{4,5 \cdot 4} \cdot 100 \% = 99,72 \% < 120 \%.$$

Принимаем комплект из четырех скреперов и одного катка.

5. Определение продолжительность работы комплекта машин:

$$T_c^{\text{компл}} = T^c + T_d^c = \frac{V_{\text{в}}^{\text{пл}}}{\Pi_{\text{н}}^c \cdot N^c} + \frac{H_{\text{вр}}^{\text{д.с}} \cdot L_d^c}{N_{\text{чел}} \cdot c}, \quad (19)$$

$$T_c^{\text{компл}} = \frac{14\,358}{400 \cdot 4} + \frac{0,19 \cdot 5}{1 \cdot 8} = 9,09 \text{ смены};$$

$$T_k^{\text{компл}} = T^k + T_d^k = \frac{V_{\text{в}}^{\text{пл}}}{\Pi_{\text{н}}^k \cdot N^k \cdot h_{\text{уп}}^c} + \frac{H_{\text{вр}}^{\text{д.к}} \cdot L_{\text{д}}^k}{N_{\text{чел}} \cdot c}, \quad (20)$$

$$T_k^{\text{компл}} = \frac{14\,358}{5128,21 \cdot 1 \cdot (0,35 \cdot 0,9)} + \frac{0,14 \cdot 5}{1 \cdot 8} = 8,98 \text{ смен},$$

где $H_{\text{вр}}^{\text{д.с}}$ ($H_{\text{вр}}^{\text{д.к}}$) – норма времени на 1 км перемещения машин; $L_{\text{д}}^c$ ($L_{\text{д}}^k$) – дальность перегона бульдозеров и катка, принимаем равной 5 км; $N_{\text{чел}}$ – количество человек, обслуживающих один бульдозер или один каток; $h_{\text{уп}}^c$ – толщина отсыпаемого слоя у скрепера, принимаем равной 0,35 [3].

Принимаем, что $T_6^{\text{компл}} = 9$ смен и $T_k^{\text{компл}} = 9$ смен.

В комплекте № 2 (самоходном) ведущей машиной назначим самоходный скрепер ДЗ-11П на базе МоАЗ-531. Его технические характеристики:

- вместимость ковша $q = 8 \text{ м}^3$;
- ширина захвата $l_c = 2,83 \text{ м}$;
- глубина резания $h = 0,3 \text{ м}$.

1. Определение сменной эксплуатационной производительности

$$k_1 = \frac{0,9}{1,12} = 0,80.$$

$$u_3 = 2 \text{ км/ч},$$

$$u_p = 4 \text{ км/ч},$$

$$u_{\text{г.х}} = 23 \text{ км/ч},$$

$$u_{\text{п.х}} = 40 \text{ км/ч}.$$

$K_{\text{уск}} = 1$ при загрузке грунта; $K_{\text{уск}} = 1$ при разгрузке грунта; $K_{\text{уск}} = 1,2$ при груженом ходе; $K_{\text{уск}} = 1,3$ при порожнем ходе.

$$L_3 = \frac{2 \cdot 8 \cdot 0,80 \cdot (1 + 0,17)}{2,83 \cdot 0,3} = 17,64 \text{ м},$$

$$L_p = \frac{8 \cdot 0,9}{0,475 \cdot 2,83} = 5,36 \text{ м},$$

$$L_{r,x} = 132 - 17,64 - 5,36 = 109 \text{ м,}$$

$$L_{п.х} = 132 \text{ м,}$$

$$t_3 = \frac{3,6 \cdot 17,64 \cdot 1}{2} = 31,75 \text{ с,}$$

$$t_p = \frac{3,6 \cdot 5,36 \cdot 1}{4} = 4,82 \text{ с,}$$

$$t_{r,x} = \frac{3,6 \cdot 109 \cdot 1,2}{23} = 20,47 \text{ с,}$$

$$t_{п.х} = \frac{3,6 \cdot 132 \cdot 1,3}{40} = 15,44 \text{ с,}$$

$$t_{пов} = 25 \text{ с,}$$

$$t_{ц}^c = 31,75 + 4,82 + 20,47 + 15,44 + 25 = 97,48 \text{ с,}$$

$$\Pi_{см.э}^c = \frac{3600 \cdot 8 \cdot 8 \cdot 0,80 \cdot 0,8 \cdot 1}{97,48} = 1512,68 \text{ м}^3/\text{смена.}$$

2. Определение нормативной производительности:

$$\Pi_n^c = \frac{100 \cdot 8}{2,9} = 275,86 \text{ м}^3/\text{смена,}$$

$$H_{вр} = 2,9 \text{ маш.-ч.}$$

3. Определение расчетно-плановой производительности:

$$\Pi_{р.пл}^c = \frac{\Pi_{см.э}^c + \Pi_n^c}{2}, \quad (21)$$

$$\Pi_{р.пл}^c = \frac{1512,68 + 275,86}{2} = 894,27 \text{ м}^3/\text{смена.}$$

В дальнейший расчет включим расчетно-плановую производительность.

4. Определение расчетной продолжительности работы скрепера:

$$T_p^{1c} = \frac{14\,358}{894,27 \cdot 2} = 8,03 \text{ дней.}$$

Округляем и принимаем $T_{np}^{1c} = 8$ дней.

5. Выбор катков в качестве вспомогательной техники в комплекте.

Выбираем каток ДУ-31А массой 16 т. Длина гона при работе со скреперами принята 200 м. Каток делает 8 проходов.

Определим нормативную производительность катка:

$$\Pi_n^k = \frac{1000 \cdot 8}{1,56} = 5128,21 \text{ м}^2/\text{смена,}$$

$$H_{вр}^k = 0,92 + 4 \cdot 0,16 = 1,56 \text{ маш.-ч.}$$

Определим расчетную производительность работы катка:

$$T_p^{1k} = \frac{14\,358}{0,3 \cdot 5128,21 \cdot 2} = 4,67 \text{ дней.}$$

Округляем и принимаем $T_{np}^{1k} = 4,5$ дней.

Определим количество ведущих машин в комплекте со вспомогательной машиной:

$$N_p^c = \frac{8,03}{4,67} = 1,72 \text{ шт.}$$

Округляем и принимаем $N_{np}^c = 2$ шт.

Определим плановую производительность работы катка и скрепера в комплекте:

– производительность катка:

$$\Pi_{\%}^k = \frac{4,67}{4,5} \cdot 100 \% = 103,8 \% < 120 \%;$$

– производительность скрепера:

$$\Pi_{\%}^c = \frac{8,03}{4,5 \cdot 2} \cdot 100 \% = 89,22 \% < 120 \%.$$

Принимаем комплект из двух скреперов и одного катка.

6. Определение продолжительности работы комплекта машин:

$$T_c^{\text{компл}} = \frac{14\,358}{894,27 \cdot 2} + \frac{0,07 \cdot 5}{1 \cdot 8} = 8,07 \text{ смены,}$$

$$T_k^{\text{компл}} = \frac{14\,358}{5128,21 \cdot 1 \cdot (0,35 \cdot 0,9)} + \frac{0,14 \cdot 5}{1 \cdot 8} = 8,98 \text{ смены.}$$

Принимаем $T_c^{\text{компл}} = 8$ смен и $T_k^{\text{компл}} = 9$ смен.

7. Определение количества скреперов, обслуживаемых одним толкачом.

Время цикла толкача:

$$\begin{aligned} t_{\text{ц,тол}} &= t_1 + t_2 + t_3 + t_4, \\ t_{\text{ц,тол}} &= 31,75 + 15 + 20 + 15 = 81,75 \text{ с,} \end{aligned} \quad (22)$$

где t_1 – время загрузки скрепера с толкачом; t_2 – время возвращения толкача в исходную позицию, принято равным 15 с [3]; t_3 – время подхода толкача к очередному скреперу, принято равным 20 с [3]; t_4 – продолжительность переключения передач и остановок перед началом движения, принято равным 15 с [3].

Количество скреперов, обслуживаемых одним толкачом:

$$\begin{aligned} n^c &= \frac{t_{\text{ц}}^c}{t_{\text{ц,тол}}} = \frac{97,48}{81,75} = 1,12, \\ n^c &= \frac{97,48}{81,75} = 1,12. \end{aligned} \quad (23)$$

Принято, что $n^c = 1,12$. На два скрепера необходимо два толкача.

Технико-экономический расчет. Выбор оптимального комплекта машин. Комплект № 1 состоит из четырех скреперов ДЗ-12А на базе трактора Т-100М и одного самоходного катка ДУ-31А.

1. Расчет трудоемкости разработки, перемещения и уплотнения грунта.

Нормативная трудоемкость площадки:

$$Q_{\text{н}}^c = H_{\text{вр}}^c \cdot \frac{V_{\text{в}}^{\text{пл}}}{a} + H_{\text{вр}}^k \cdot \frac{V_{\text{в}}^{\text{пл}}}{a \cdot h_{\text{уп}}} + H_{\text{вр}}^{\text{д.с}} \cdot L_{\text{д}}^c \cdot N^c + H_{\text{вр}}^{\text{д.к}} \cdot L_{\text{д}}^k \cdot N^k, \quad (24)$$

$$Q_{\text{н}}^c = 2 \cdot \frac{14\,358}{100} + 1,56 \cdot \frac{14\,358}{1000 \cdot 0,35 \cdot 0,9} + 0,19 \cdot 5 \cdot 4 + 0,14 \cdot 5 \cdot 1 = 362,77 \text{ маш.-ч.}$$

$$Q_{\text{н}}^{\text{с}} = \frac{Q_{\text{н}}^{\text{с}}}{c}, \quad (25)$$

$$Q_{\text{н}}^{\text{с}} = \frac{362,77}{8} = 45,35 \text{ маш.-см.}$$

Принятая трудоемкость площадки:

$$Q_{\text{пр}}^{\text{с}} = T_{\text{с}}^{\text{компл}} \cdot N^{\text{с}} + T_{\text{к}}^{\text{компл}} \cdot N^{\text{к}} + \frac{H_{\text{вр}}^{\text{д.с}} \cdot N^{\text{с}} \cdot L_{\text{д}}^{\text{с}}}{c} + \frac{H_{\text{вр}}^{\text{д.к}} \cdot N^{\text{к}} \cdot L_{\text{д}}^{\text{к}}}{c}, \quad (26)$$

$$Q_{\text{пр}}^{\text{с}} = 9,09 \cdot 4 + 8,98 \cdot 1 + \frac{0,19 \cdot 4 \cdot 5}{8} + \frac{(0,15 \cdot 1 \cdot 5)}{8} = 45,91 \text{ маш.-см.}$$

Удельная трудоемкость разработки 1 м³ грунта:

$$g_{\text{н}} = \frac{Q_{\text{н}}^{\text{с}}}{V_{\text{в}}^{\text{пл}}}, \quad (27)$$

$$g_{\text{н}} = \frac{45,35}{14\,358} = 0,00316 \text{ маш.-см.}$$

$$g_{\text{пр}} = \frac{Q_{\text{пр}}^{\text{с}}}{V_{\text{в}}^{\text{пл}}}, \quad (28)$$

$$g_{\text{пр}} = \frac{45,91}{14\,358} = 0,00319 \text{ маш.-см.}$$

2. Расчет себестоимости механизированных работ при планировке площадки.

Себестоимость всего объема земляных работ:

$$C_{\text{о}}^{\text{компл.б}} = 1,08 \cdot (C_{\text{м-см}}^{\text{с}} \cdot T_{\text{с}}^{\text{компл}} \cdot N^{\text{с}} + C_{\text{м-см}}^{\text{к}} \cdot T_{\text{к}}^{\text{компл}} \cdot N^{\text{к}}). \quad (29)$$

Стоимость машино-смены для скрепера ДЗ-12А [4]:

$$C_{\text{м-см}}^{\text{с}} = \frac{E^{\text{с}}}{T_{\text{с}}^{\text{компл}}} + \frac{\Gamma^{\text{с}}}{T_{\text{н.г}}^{\text{с}}} + C_{\text{экспл}}^{\text{с}}, \quad (30)$$

$$C_{\text{м-см}}^{\text{с}} = \frac{30}{9,09} + \frac{2516,25}{2250/8} + (0,94 + 0,35 + 1,09 + 0,27 + 0,7) \cdot 8 = 39,05 \text{ руб.}$$

Стоимость машино-смены для катка ДУ-31А [4]:

$$C_{\text{м-см}}^{\text{к}} = \frac{E^{\text{к}}}{T_{\text{к}}^{\text{компл}}} + \frac{\Gamma^{\text{к}}}{T_{\text{н.г}}^{\text{к}}} + C_{\text{экспл}}^{\text{к}}, \quad (31)$$

$$C_{\text{м-см}}^{\text{к}} = \frac{23,7}{8,98} + \frac{4745,7}{2700/8} + (0,15 + 1,2 + 0,3 + 0,7) \cdot 8 = 35,5 \text{ руб.}$$

Годовые расходы [4]:

$$\Gamma^{\text{к}} = \frac{M^{\text{к}} \cdot A^{\text{к}} \cdot 1,1}{100}, \quad (32)$$

$$\Gamma^{\text{к}} = \frac{17,12 \cdot 1000 \cdot 25,2 \cdot 1,1}{100} = 4745,7 \text{ руб.};$$

$$\Gamma^{\text{с}} = \frac{M^{\text{с}} \cdot A^{\text{с}} \cdot 1,1}{100}, \quad (33)$$

$$\Gamma^{\text{с}} = \frac{9,15 \cdot 1000 \cdot 25 \cdot 1,1}{100} = 2516,25 \text{ руб.}$$

где E – единовременные расходы по доставке машины, руб. [4]; Γ – годовые расходы на амортизационные отчисления, восстановление и ремонт машины, руб. [3]; A – амортизационные отчисления, % [4]; $C_{\text{экспл}}$ – эксплуатационные расходы, руб. [4].

$$C_{\text{о}}^{\text{компл}} = 1,08 \cdot (39,05 \cdot 9,09 \cdot 4 + 35,5 \cdot 8,98 \cdot 1) = 1877,89 \text{ руб.}$$

3. Себестоимость разработки единицы продукции [4]:

$$C_{\text{с}} = \frac{C_{\text{о}}}{V_{\text{в}}^{\text{пл}}}, \quad (34)$$

$$C_{\text{с}} = \frac{1877,89}{14\,358} = 0,13 \text{ руб.}$$

4. Расчет удельных капиталовложений на единицу работ [4].

$$K_{\text{уд}}^{\text{с}} = \frac{C_{\text{п}}^{\text{с}}}{\Pi_{\text{г.экспл}}^{\text{с}}} + \frac{C_{\text{п}}^{\text{к}}}{\Pi_{\text{г.экспл}}^{\text{к}}}, \quad (35)$$

где $C_{\text{п}}^{\text{с}}$ ($C_{\text{п}}^{\text{к}}$) – расчетная стоимость скреперов (катка).

$$C_p^c = M^c \cdot N^c, \quad (36)$$

$$C_p^c = 9150 \cdot 4 = 36\,600 \text{ руб.};$$

$$C_p^k = M^k \cdot N^k, \quad (37)$$

$$C_p^k = M^k \cdot N^k = 17\,120 \cdot 1 = 17\,120 \text{ руб.}$$

$$\Pi_{\text{г.экспл}}^c = \Pi_{\text{см.экспл}}^c \cdot T_{\text{н.г}}^c \cdot N^c, \quad (38)$$

$$\Pi_{\text{г.экспл}}^c = 386,74 \cdot \frac{2250}{8} \cdot 4 = 435\,082,5 \text{ м}^3/\text{год};$$

$$\Pi_{\text{г.экспл}}^k = \Pi_{\text{н}}^k \cdot T_{\text{н.г}}^k \cdot N^k, \quad (39)$$

$$\Pi_{\text{г.экспл}}^k = 3539,82 \cdot \frac{2700}{8} \cdot 1 = 1\,194\,689,25 \text{ м}^2/\text{год.}$$

$$K_{\text{уд}}^c = \frac{36\,600}{435\,082,5} + \frac{17\,120}{1\,194\,689,25} = 0,098 \text{ руб.}$$

5. Расчет приведенных затрат [4]:

$$\Pi_{\text{пр.затр}} = C_e + E_n \cdot K_{\text{уд}}, \quad (40)$$

$$\Pi_{\text{пр.затр}} = 0,13 + 0,12 \cdot 0,098 = 0,1418 \text{ руб.}$$

Комплект № 2 состоит из двух скреперов ДЗ-11П на базе МоАЗ-531 и одного самоходного катка ДУ-31А.

1. Расчет трудоемкости разработки, перемещения и уплотнения грунта.

Нормативная трудоемкость площадки:

$$Q_n^c = 2,9 \cdot \frac{14\,358}{100} + 1,56 \cdot \frac{14\,358}{1000 \cdot 0,35} + 2,9 \cdot \frac{14\,358}{100 \cdot 2} + 0,07 \cdot 5 \cdot 2 + 0,14 \cdot 5 \cdot 1 + 0,07 \cdot 5 \cdot 2 = 690,66 \text{ маш.-ч.}$$

$$Q_n^{c'} = \frac{690,66}{8} = 86,33 \text{ маш.-см.}$$

Принятая трудоемкость площадки:

$$Q_{\text{пр}}^c = 8,07 \cdot 2 + 8,07 \cdot 2 + 8,98 \cdot 1 + \frac{0,07 \cdot 2 \cdot 5}{8} + \frac{(0,15 \cdot 1 \cdot 5)}{8} + \frac{0,07 \cdot 2 \cdot 5}{8} = 41,53 \text{ маш.-см.}$$

Удельная трудоемкость разработки 1 м³ грунта:

$$g_n = \frac{86,33}{14\,358} = 0,00601 \text{ маш.-см.}$$

$$g_{пр} = \frac{54,83}{14\,358} = 0,00289 \text{ маш.-см.}$$

2. Расчет себестоимости механизированных работ при планировке площадки.
Себестоимость всего объема земляных работ:

$$C_o^{\text{компл.б}} = 1,08 \cdot (C_{\text{м-см}}^c \cdot T_c^{\text{компл}} \cdot N^c + C_{\text{м-см}}^k \cdot T_k^{\text{компл}} \cdot N^k + C_{\text{м-см}}^t \cdot T_t^{\text{компл}} \cdot N^t). \quad (41)$$

Стоимость машино-смены для скрепера ДЗ-13:

$$C_{\text{м-см}}^c = \frac{13,8}{8,07} + \frac{5288}{2580/8} + 5,22 = 23,33 \text{ руб.}$$

Стоимость машино-смены для катка ДУ-31А:

$$C_{\text{м-см}}^k = \frac{23,7}{8,98} + \frac{4745,7}{2700/8} + (0,15 + 1,2 + 0,3 + 0,7) \cdot 8 = 35,5 \text{ руб.}$$

$$C_o^{\text{компл}} = 1,08 \cdot (23,33 \cdot 8,07 \cdot 2 + 35,5 \cdot 8,98 \cdot 1 + 23,33 \cdot 8,07 \cdot 2) = 1157,63 \text{ руб.}$$

3. Себестоимость разработки единицы продукции:

$$C_e = \frac{1157,63}{14\,358} = 0,080 \text{ руб.}$$

4. Расчет удельных капиталовложений на единицу работ.

Расчетная стоимость скреперов (катка):

$$C_p^c = 20\,500 \cdot 2 = 41\,000 \text{ руб.}$$

$$C_p^k = 17\,120 \cdot 1 = 17\,120 \text{ руб.}$$

$$\Pi_{\text{г.эксп}}^c = 894,27 \cdot \frac{2580}{8} \cdot 2 = 576\,804,15 \text{ м}^3/\text{год.}$$

$$\Pi_{\text{г.эксп}}^k = 3539,82 \cdot \frac{2700}{8} \cdot 1 = 1194\,689,25 \text{ м}^2/\text{год.}$$

$$K_{уд}^6 = \frac{41\,000}{576\,804,15} + \frac{17\,120}{1194\,689,25} = 0,085 \text{ руб.}$$

5. Расчет приведенных затрат:

$$\Pi_{пр.затр} = 0,080 + 0,12 \cdot 0,085 = 0,0902 \text{ руб.}$$

6. Расчет экономической эффективности разработки грунта оптимальным комплектом.

Принимаем оптимальный вариант – комплект № 2, поскольку

$$\Pi_{пр.затр} = 0,0902 \text{ руб.} < \Pi_{пр.затр} = 0,1418 \text{ руб.}$$

Экономическая эффективность второго комплекта, по сравнению с первым комплектом, составляет:

$$\Theta_3 = (C_c^1 - C_c^2) + E_n \cdot (K_{уд}^1 - K_{уд}^2), \quad (42)$$

$$\Theta_3 = (0,080 - 0,130) + 0,12 \cdot (0,085 - 0,098) = 0,052.$$

Эффективность разработки всего объема работ:

$$\Theta'_3 = \Theta_3 \cdot V_B^{пл}, \quad (43)$$

$$\Theta'_3 = 0,052 \cdot 14\,358 = 740,30 \text{ руб.}$$

Технико-экономические показатели двух комплектов машин представлены в таблице.

Технико-экономические показатели комплектов планировочных машин

Наименование показателей	Единицы измерения	Варианты	
		I	II
		ДЗ-12 (Т-100)	ДЗ-11П (МоА3-531)
Общая трудоемкость планировки площадки	маш.-см.	45,91	41,53
Удельная трудоемкость разработки и перемещения 1 м ³ грунта	маш.-см.	0,00319	0,00289
Себестоимость выполнения всего объема планировочных работ	руб.	1877,89	1157,63
Себестоимость единицы объема планировочных работ	руб.	0,13	0,08
Удельные капиталовложения комплексной механизации планировочных работ	руб.	0,098	0,085

Окончание таблицы

Наименование показателей	Единицы измерения	Варианты	
		I	II
		ДЗ-12 (Т-100)	ДЗ-11П (МоАЗ-531)
Приведенные затраты на выполнение единицы объема планировочных работ	руб.	0,1418	0,0902
Количество ведущих машин в комплекте	шт.	4	2
Продолжительность работы комплекта машин	см.	9	8

Проведя сравнение технико-экономических показателей двух вариантов (см. таблицу), оптимальным комплектом планировочных машин назначаем комплект № 2, состоящий из двух скреперов ДЗ-11П на базе МоАЗ-531, катка ДУ-31А и двух толкачей.

Список литературы

1. Землеройные и планировочные машины [Электронный ресурс]. – URL: http://www.megastroika.biz/index/zemlerojnye_i_planirovochnye_mashiny/0-359 (дата обращения: 24.09.2015).

2. Карасев Г.Н. Производительность скрепера // Строительные дорожные машины и техника. – 2009. – № 54. – С. 1–4.

3. Бочкарева Т.М. Технология планировочных и землеройных работ: учеб.-метод. пособие. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2015. – С. 131.

4. ЕНиР. Сб. Е2. Земляные работы. Вып. 1. Механизированные и ручные земляные работы / Госстрой СССР. – М., 1988. – 134 с.

Получено 17.10.2016

Исупов Илья Андреевич – студент, строительный факультет, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: isupivia@gmail.com.

Вахрушев Сергей Иванович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительное производство и геотехника», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: spstf@pstu.ac.ru.