

УДК 621.878.2

Л. А. Хмара д. т. н., проф. (ВУЗ ПГАСА, Днепропетровск);  
С.И. Кононов (ЗГИА, Запорожье)

## ВЫБОР СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН ИЗ ИМЕЮЩЕГОСЯ ПАРКА (НА ПРИМЕРЕ СКРЕПЕРА)

**АННОТАЦИЯ.** У статті розглянута методика вибору скрепера для конкретних умов роботи. Розроблена математична модель і алгоритм, який дозволяє здійснювати ефективний вибір скрепера за показниками питомої матеріалоемності, питомої енергоемності, узагальнюючим показником матеріалоемності і енергоемності. Подано рекомендації по вибору скрепера за техніко-економічних показників і визначено їх вплив на продуктивність.

**Ключові слова:** вибір скрепера, математична модель, алгоритм, матеріалоемність, енергоемність, продуктивність.

**АННОТАЦИЯ.** В статье рассмотрена методика выбора скрепера для конкретных условий работы. Разработана математическая модель и алгоритм, позволяющие осуществлять эффективный выбор скрепера по показателям удельной материалоемкости, удельной энергоемкости, обобщенным показателям материалоемкости и энергоемкости. Даны рекомендации по выбору скрепера по технико-экономическим и эксплуатационным показателям и определено их влияние на производительность.

**Ключевые слова:** выбор скрепера, математическая модель, алгоритм, материалоемкость, энергоемкость, производительность.

**SUMMARY.** In article the question of efficiency of choosing an scrapers is considered. The mathematical model and the algorithm is developed, allowing to carry out an effective choice of an scrapers on factors: specific consumption of materials, specific energy intensity, the generalized index of material and energy intensity. Recommendations about calculation of choosing an scrapers on techno-economic and operational factors and their impact on productivity growth are made.

**Keywords:** choice of scraper, mathematical model, algorithm, specific consumption of materials, specific energy intensity.

---

### Вступление

Скрепер является землеройно-транспортной машиной циклического действия. Он предназначен для послойного резания грунта, транспортировки его к месту укладки и выгрузки в сооружение или отвал. При необходимости выгрузка осуществляется с разравниванием грунта. С помощью скреперов возводят земляные насыпи и плотины, отрывают выемки и осуществляют вертикальную планировку больших площадей.

Стоимость разработки грунта скреперами может быть значительно меньше стоимости разработки экскаваторами с транспортировкой возкой грунта автомобилями-самосвалами. Рациональная дальность перемещения грунта скреперами (в зависимости от его конструкции) от 1 до 5 км.

Набор грунта скрепером осуществляется при совместной работе скрепера с тракто-

ром-толкачом или при работе скреперных поездов.

**Цель работы** – разработка методики выбора скрепера с учетом объёмов и сроков выполнения работ, технико-экономических и эксплуатационных параметров машины, на базе разработанной программы.

### Изложение основного материала.

Выбор скрепера осуществляем методом перебора из выбираемых скреперов по техническим, эксплуатационным и экономическим показателям в соответствии с алгоритмом (рис.1), с использованием математической модели и программы, разработанной на ее основе.

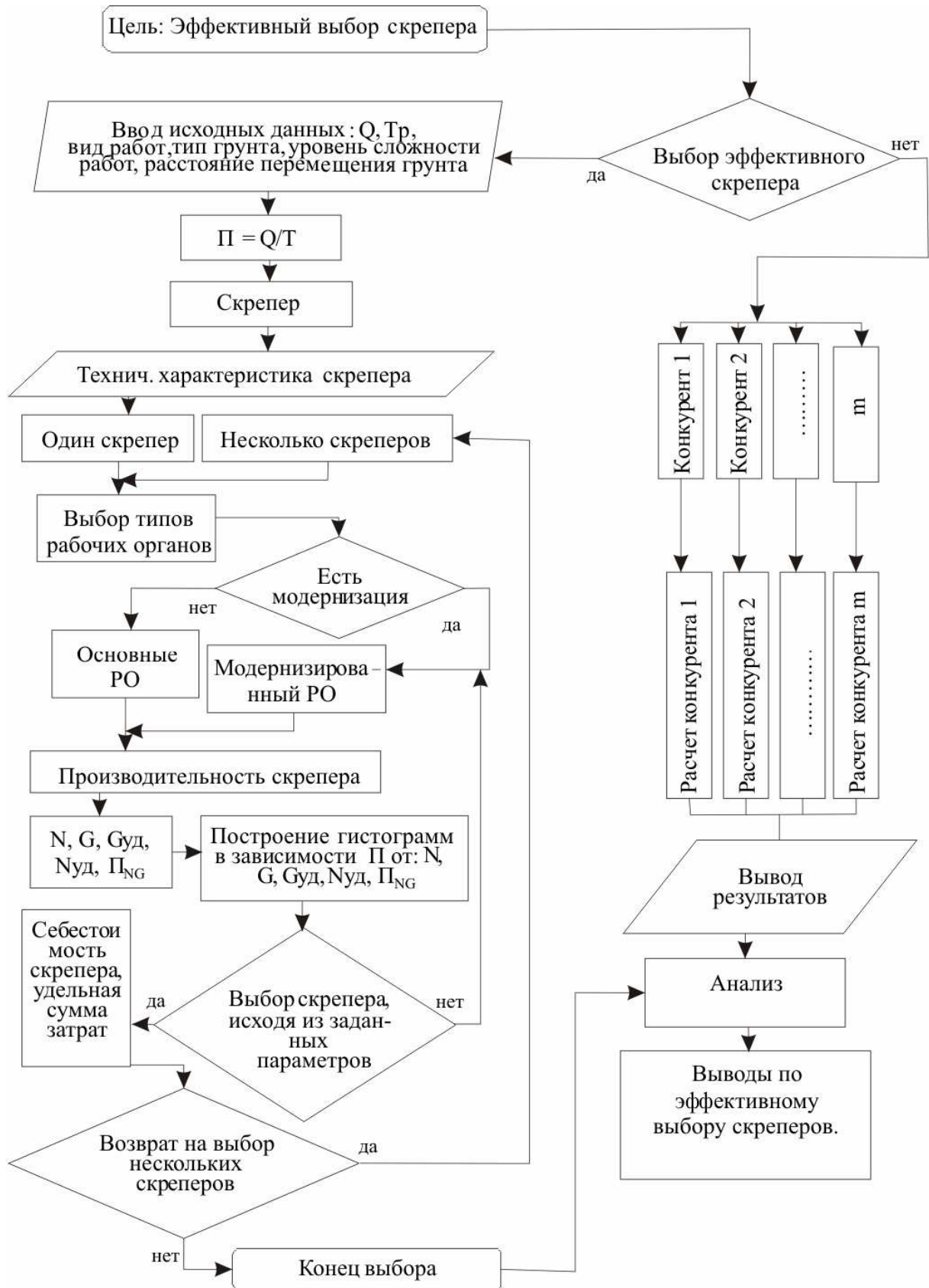


Рис. 1. Алгоритм выбора скрепера

Эффективным является скрепер, отвечающий следующим условиям:

$\Pi \rightarrow \max, G \rightarrow \min, N \rightarrow \min, G_{уд} \rightarrow \min, N_{уд} \rightarrow \min, \Pi_{NG} \rightarrow \min, C_{уд} \rightarrow \min, \Sigma C \rightarrow \min$ , где  $\Pi$  - эксплуатационная производительность скрепера,  $м^3/ч$ ;  $G$  - масса скрепера, кг;  $N$  - мощность скрепера, кВт;  $G_{уд}$  - удельный показатель материалоемкости,  $\frac{кВм \cdot ч}{м^3}$ ;  $N_{уд}$  - удельный показатель энергоёмкости,  $\frac{кВм \cdot ч}{м^3}$ ;  $\Pi_{NG}$  - обобщенный показатель по энергоёмкости и материалоемкости скрепера,  $\frac{кэ \cdot кВм}{\left(\frac{м^3}{ч}\right)^2}$ ;  $C_{уд}$  - удельная сумма затрат,  $\frac{грн \cdot ч}{м^3}$ ;  $\Sigma C$  - общая сумма затрат, грн. [1, 2, 3].

Рассмотрим данную задачу имея заказчика, которому необходимо выполнить определенный объем работ  $Q$ , уложившись в отведенное время  $T_p$ , и подрядчика, у которого имеется парк скреперов.

Теоретическая производительность скрепера определяется по формуле

$$\Pi_m = \frac{Q}{T_p}, \text{ м}^3/\text{ч}. \quad (1)$$

Техническая характеристика скреперов выберется из [4, 5] (табл. 1).

Часовая производительность скрепера [4]:

$$\Pi = \frac{3600VK_n K_\epsilon K_c K_\epsilon}{T_\epsilon K_p}, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (2)$$

где  $V$  - геометрическая вместимость ковша скрепера,  $м^3$ ,  $K_n$  - коэффициент наполнения ковша;  $K_\epsilon = 0,8$  - коэффициент использова-

ния скрепера по времени [4];  $K_c = 0,9$  - коэффициент использования скрепера в зависимости от времени года;  $T_\epsilon$  - время цикла, с;  $K_p = 1,1$  - коэффициент разрыхления грунта [4];  $K_\epsilon$  - коэффициент, учитывающий эффективность комбинированных методов интенсификации воздействия на грунт (табл. 2).

Время рабочего цикла скрепера складывается из слагаемых, соответствующих отдельным операциям:

$$T_\epsilon = 3,6 \left( \frac{l_n}{V_n} + \frac{l_{zp}}{V_{zp}} + \frac{l_p}{0,6V_p} + \frac{l_x}{V_{x.x}} \right) + n_l t_{нов}, \text{ с}, \quad (3)$$

где  $l_n, l_{zp}, l_p, l_x$  - соответственно длины путей наполнения ковша, транспортировки грунта, разгрузки, холостого хода, м;  $V_n, V_{zp}, V_p, V_{x.x}$  - соответствующие скорости движения, км/ч;  $t_{нов}$  - время одного поворота, с;  $n_l$  - число поворотов за рабочий цикл [4].

Длина пути наполнения ковша

$$l_n = \frac{1,25VK_n}{0,6LhK_p}, \text{ м}, \quad (4)$$

где 1,25 - коэффициент, учитывающий потери грунта в боковые валики и призму волочения; 0,6 - коэффициент, учитывающий соотношение средней и максимальной глубин резания;  $h$  - максимальная глубина резания, м;  $L$  - ширина резания, м.

Длина пути разгрузки ковша:

$$l_p = \frac{VK_n}{va}, \text{ м}, \quad (5)$$

где:  $v$  - средняя толщина слоя отсыпки, м;  $a$  - ширина полосы резания, м.

Исходные данные по парку машин

№	Модель	Мощность, $N, кВт$	Общая масса, $G, кг$	Вместительность ковша скрепера, $м^3$	$h, м$	$L, м$	$V_n, км/ч$	$V_{zp}, км/ч$	$K_\epsilon$
1	611A	197	23900	8,00	0,38	2,90	4,00	17,00	1,00
2	621F	246	32090	10,70	0,52	3,02	5,00	14,00	1,27
3	621F	246	32090	10,70	0,52	3,02	5,00	14,00	1,00
4	627F	246	37060	10,70	0,33	3,02	4,00	15,00	1,20
5	ДЗ-74	147	21200	8,00	0,50	2,65	5,00	17,80	1,32
6	ДЗ-11	158	19000	9,00	0,50	2,72	6,00	14,00	1,30
7	ДЗ-32	158	22000	10,00	0,50	2,90	6,00	14,00	1,32

Таблица 2

**Коэффициент, учитывающий эффективность комбинированных методов интенсификации воздействия на грунт**

№ n/n	Конструкция рабочего органа скрепера	Значение коэффициента, $K_3$
1	Базовый рабочий орган	1,00
2	Скрепер с ВСН+ газовоздушная смазка	1,3 ... 1,34
3	Скрепер с ДНСК+ наклон боковых стенок	1,3
4	Скрепер с ДНСК+элеватор	1,15 ... 1,25
5	Скрепер с ДНСК+ газовоздушная смазка	1,25 ... 1,28
6	Скрепер с наклоном боковых стенок + газовоздушная смазка	1,26
7	Скрепер с ДНСК+наклон боковых стенок + газовоздушная смазка	1,23 ... 1,25
8	Антифрикционное покрытие ковша скрепера	1,10 ... 1,15
9	Ковш скрепера с ультразвуком	1,2 ... 1,4
10	Скрепер с ДНСК	1,092 ... 1,218
11	Ковш скрепера с ВСН	1,2 ... 1,25

Примечание: ДНСК - двухножевая система копания; ВСН - выступающий средний нож.

Тогда формула часовой производительности скрепера примет вид:

$$\Pi = \frac{3600VK_H K_6 K_c K_3}{3,6 \left( \frac{1,25VK_H}{0,6LhK_p} + \frac{l_{zp}}{v_{zp}} + \frac{VK_H}{0,6v_p} + \frac{VK_H}{0,6LhK_p} + l_{zp} + \frac{VK_H}{ba} \right) + n_1 t_{нов}} = \frac{600K_6 K_3 K_c v_p v_x v_n}{1,25VK_H ba v_p (v_x + v_n) + 0,6LhK_p v_p (l_{zp} v_x + ba v_p + VK_H v_p + n_1 t_{нов} v_x) + VK_H v_p LhK_p v_x} \cdot \text{м}^3/\text{ч} \quad (6)$$

Результаты вычислений приведены в табл. 3.

Таблица 3

**Результаты вычислений**

№	Модель скрепера	$\Pi$ , м <sup>3</sup> /ч.	$\Pi_t$ , м <sup>3</sup> /ч.	$\frac{\Pi_{NG}}{\left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^3/\text{ч}}\right)^2}$	$\frac{N_{уд}}{\frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{м}^3}}$	$G_{уд}$ , $\frac{\text{кг} \cdot \text{ч}}{\text{м}^3}$
1	611А	29,08	16,7	5567,00	6,77	821,81
2	621F	40,24	16,7	4875,00	6,11	797,44
3	621F	31,69	16,7	7863,00	7,76	1012,75
4	627F	38,28	16,7	6220,00	6,43	968,04
5	ДЗ-74	39,19	16,7	2029,00	3,75	540,94
6	ДЗ-11	38,62	16,7	2013,00	4,09	492,02
7	ДЗ-32	46,07	16,7	1638,00	3,43	477,51

Оптимальное решение соответствует меньшей величине показателя эффективности  $\Pi_{NG}$  [1,2,3].

При определении удельных показателей энергоемкости  $N_{уд}$  и материалоемкости  $G_{уд}$  и обобщенного показателя  $\Pi_{NG}$  используется формула (6):

а) обобщенный показатель энергоёмкости и материалоемкости скрепера (рис.2),

$$\Pi_{NG} = \frac{NG}{\Pi}, \frac{\text{кВт} \cdot \text{кВтм}}{\left(\frac{\text{м}^3}{\text{ч}}\right)^2}; \quad (7)$$

б) показатель удельной материалоемкости скрепера (рис. 3),

$$G_{y\delta} = \frac{G}{\Pi} = \frac{G(1,25VK_H bav_{ep} v_p (v_x + v_n) + 0,6Lhk_p v_n v_p (l_{ep} bav_x + bal_{ep} v_{ep} + VK_n v_p + n_1 t_{нов} v_{ep} bav_x) + VK_n v_{ep} Lhk_p v_n v_x)}{600VK_n \kappa_6 Lhk_p v_n v_{ep} bav_p v_x \kappa_c \kappa_3}, \frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{м}^3}; \quad (8)$$

в) показатель удельной энергоёмкости скрепера (рис. 4),

$$N_{y\delta} = \frac{N}{\Pi} = \frac{N(1,25VK_H bav_{ep} v_p (v_x + v_n) + 0,6Lhk_p v_n v_p (l_{ep} bav_x + bal_{ep} v_{ep} + VK_n v_p + n_1 t_{нов} v_{ep} bav_x) + VK_n v_{ep} Lhk_p v_n v_x)}{600VK_n \kappa_6 Lhk_p v_n v_{ep} bav_p v_x \kappa_c \kappa_3}, \frac{\text{кВтм} \cdot \text{ч}}{\text{м}^3}. \quad (9)$$

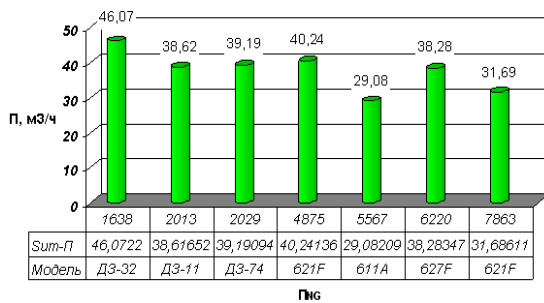


Рис. 2. Зависимость обобщенного показателя по энергоёмкости и материалоемкости от производительности скрепера

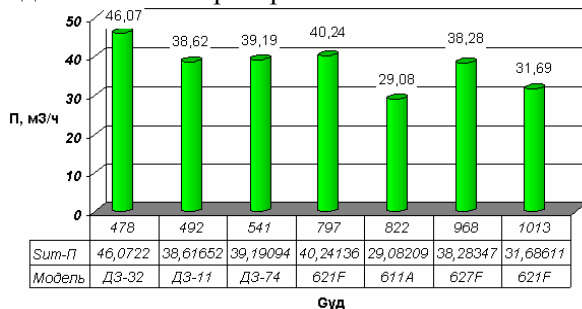


Рис. 3. Зависимость материалоемкости от производительности скрепера

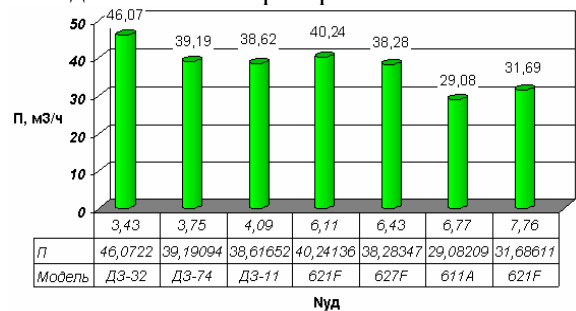


Рис 4. Зависимость энергоёмкости от производительности скрепера

Фактическое время, затраченное скрепером на выполнение требуемого объема, работ,

$$T_{\text{факт. маш}} = \frac{Q}{\Pi}, \text{час}. \quad (10)$$

Суммарная стоимость эксплуатации машины принимается из программного комплекса АВК-5 (5-2.8.0) с учетом всех затрат, принятых по усредненному показате-

лю Госстроя Украины на декабрь 2008 г. (табл. 4). При использовании программы необходимо скорректировать мощность скрепера в ней предложенную, с учетом мощности выбранных машин, так как стоимость 1 машино-часа принимается по мощности из табл. 4:

Стоимость 1 машино-часа, скорректированная с учетом мощности выбранной машины:

$$C_{э.мч} = \frac{N \cdot C_{ABK-5}}{N_{ABK-5}}, \text{ грн}, \quad (11)$$

где  $C_{ABK-5}$  – суммарная стоимость эксплуатации машин для перемещения  $1000\text{ м}^3$  на расстояние 300м;  $N_{ABK-5}$  – ближайшая выбранная мощность машины при расчете стоимости одного машино-часа, кВт;  $N$  – мощность выбранной машины, кВт.

Таблица 4

Расчетная стоимость 1 машино-часа машин\*

№ п/п	Наименования машин и механизмов	Заработная плата всего, грн	Амортизационные отчисления, грн	Быстроизнашивающиеся части, грн	Энергоносители, грн	Гидравлическая жидкость, грн	Смазочные материалы, грн	Ремонт, налоги и сборы, грн	Перебазировка, грн	Стоимость 1 маш.-часа, грн
1	Скреперы самоходные [на колесных тягачах], вместимость ковша 8,0 м <sup>3</sup>	$\frac{24,89}{1231,31}$	$\frac{2,78}{137,53}$	$\frac{5,27}{260,71}$	$\frac{82,66}{4089,19}$	$\frac{3,83}{183,47}$	$\frac{7,23}{357,67}$	$\frac{19,78}{978,52}$	$\frac{0,86}{42,54}$	$\frac{147,30}{7286,93}$

\*В числителе - стоимость 1 машино-часа, в знаменателе - суммарная стоимость.

Суммарная стоимость эксплуатации машин

$$C_{\text{сум.стои}} = \frac{Q}{1000} (C_{\text{экс}} \cdot n_{\text{м.ч}}), \text{ грн}, \quad (12)$$

где  $n_{\text{м.ч}}$  - количество машино-часов ;  
 $C_{\text{экс}}$  - стоимость 1 машино-часа, скорректированная с учетом мощности выбранной машины, грн.

Удельная сумма затрат

$$C_{\text{уд}} = \frac{C_{\text{сум.стои}}}{P_{\text{экс}}}, \text{ грн} \cdot \text{ч} / \text{м}^3. \quad (13)$$

На основе проведенного исследования разработана программа, которая имеет базу данных на используемые скрепера.

Из рис. 2 – рис. 4 видно, как зависит производительность скрепера от материалоемкости, энергоёмкости, обобщенного показателя энергоёмкости и материалоемкости.

В зависимости от эффективности комбинированных методов интенсификации воздействия на грунт одна и та же модель машины может иметь разную производительность за счет использования, как традиционных конструкторских решений рабочего органа, так и применения методов интенсификации (табл. 5).

Исходя из изложенного наиболее эффективным является скрепер ДЗ-74 с выступающим средним ножом и газовоздушной смазкой. Экономия денежных средств при эффективном выборе составляет от 192,5 до 1197,43 грн или 6,33-39,37%.

Выбор эффективного скрепера с максимальной экономией материальных, энергетических и трудовых ресурсов

№	Модель	Модернизация рабочего органа	Вместимость ковша, м <sup>3</sup>	Время выполнения работ, с	$G_{уд}, \frac{кг \cdot ч}{м^3}$	$N_{уд}, \frac{кВт \cdot ч}{м^3}$	$C_{уд}, \frac{грн \cdot ч}{м^3}$	$P_{NG}, \frac{кг \cdot кВт}{\left(\frac{м^3}{ч}\right)^2}$	$\Sigma C, грн$	Себестоимость 1 м <sup>3</sup> , грн	П, м <sup>3</sup> /ч
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	611A	Базовый рабочий орган	8,00	34,39	821,81	6,77	140,91	5567,00	4097,92	4,10	29,08
2	621F	ДНСК+газовоздушная смазка	10,70	24,85	797,44	6,11	98,43	4875,00	3961,05	3,96	40,24
3	621F	ДНСК+эл эватор	10,70	31,56	1012,75	7,76	158,76	7863,00	4238,34	5,03	31,69
4	627F	ДНСК+эл эватор	10,70	26,12	968,04	6,43	108,76	6220,00	4163,62	4,16	38,28
5	ДЗ-74	ВСН+газовоздушная смазка	8,00	25,52	540,94	3,75	77,59	2029,00	3040,91	3,04	39,19
6	ДЗ-11	ДНСК+наклон боковых стенок	9,00	25,90	492,02	4,09	89,91	2013,00	3471,90	3,47	38,62
7	ДЗ-32	ВСН+газовоздушная смазка	10,00	21,71	477,51	3,43	70,18	1638,00	3233,41	3,23	46,07

**Выводы.** Проведенные исследования и анализ показали, что выбор скрепера возможно осуществлять по показателям удельной материалоемкости, удельной энергоемкости, обобщенному показателю материалоемкости и энергоемкости с учетом объема работ, времени их выполнения, условий ведения работ, экономии материальных и энергетических ресурсов. Для этого разработан подход, включающий математическую модель, алгоритм и программу. Наиболее эффективным является скрепер ДЗ-74 с выступающим средним ножом и газовой смазкой.

### Литература

1. *Строительные работы и манипуляторы*: //Баловнев В.И., Хмара Л.А., Станевский В.П., Немировский П.И. - К.: - Будивельник, 1991. – 137с.

2. *Баловнев В.И., Хмара Л.А.* Интенсификация земляных работ в дорожном строительстве. - М.: - Транспорт, 1983. – 184с.

3. *Строительство. Материаловедение. Машиностроение*// Сб. научн. тр. № 46 «Интенсификация рабочих процессов строительных и дорожных машин. Серия: Подъемно транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование - Днепропетровск: - ПГАСА, 2008. – 211с.

4. *Землеройно-транспортные машины* / Холодов А.М., Ничке В.В., Назаров Л.В. – Харьков: Вища школа, 1982.-192с.

5. *Caterpillar* Эксплуатационные характеристики. Справочник. Издание 30, CAT® Caterpillar Inc., Пеория, Иллинойс, США, 1999.- 620с.

Рецензент: А.В. Фомін, к.т.н., проф. (КНУБА)

Отримано: 01.12.2009р.