

В статье приводятся конструкции механизмов с использованием колес, проведен анализ и дана рекомендация использования их в сельхозмашинах и металлорежущих станках.

*V. Pestunov, O. Stecenko*

#### **The Constructive Decisions of Wheel Mechanisms in Agricultural Machines and Other Manufacturing Equipment**

In the article designs of wheel mechanisms are given, the analysis is carried out and the guidelines for their usage in agricultural machines and metal-cutting equipment are given.

Одержано 13.10.09

**УДК 621.878.25**

**С.А. Карпушин, доц., канд. техн. наук, О.В. Яцун, студ.**

*Кировоградский национальный технический университет*

## **Оценка эффективности новых технических и технологических решений при возведении мелиоративных сооружений скреперами**

В статье представлена методика оценки эффективности использования землеройных, мелиоративных машин. Рассмотрен конкретный случай, когда рабочий орган скрепера оборудован новой, в сравнении с традиционной конструкцией – передней «глубокой» заслонкой, задней стенкой с «отвальной» поверхностью и ступенчатой ножевой системой, а сам технологический процесс заполнения ковша осуществляется в несколько этапов.

**экономическая эффективность, скрепер, рабочий орган, заслонка, ножевая система, показатель, производительность, материалоемкость, энергоёмкость**

Для оценки эффективности и эксплуатационных свойств землеройных и мелиоративных машин предложен ряд различных показателей [1-3]. Интерес представляет методика определения эффективности использования машины в случае комплексного применения различных, новых конструктивных и технологических решений рабочего органа и самого технологического рабочего цикла. К примеру, - оценка эффективности предлагаемых в комплексе новых технологического решения – способ заполнения ковша скрепера в две стадии и технических решений рабочего органа скрепера, оборудованного ступенчатой ножевой системой (НС) с выступающими ножами и боковыми косынками, может быть осуществлена путём использования показателей целевого назначения: сопротивление грунта копанию ( $P_k$ ); вес набранного в ковш грунта ( $G_{zp}$ ); удельная энергоёмкость копания ( $P_k/G_{zp}$ ); работа процесса копания ( $A_k$ ); производительность ( $\Pi_{mex}$ ); материалоемкость ( $G_{y\partial}$ ); энергоёмкость ( $N_{y\partial}$ ); обобщённый показатель ( $\Pi_{NG}$ ) [2].

Данные для расчёта указанных показателей получены теоретическим и экспериментальным путём в лабораторных и полевых условиях [4-7].

Производительность машины, являясь наиболее важным показателем оценки технического уровня машины, зависит от степени снижения общего сопротивления грунта копанию  $P_k$  [1, 8]. Для условий проведения лабораторных экспериментальных исследований по отработке рациональной конструкции ножевой системы ( $L_{кон}=\text{const}$ )

вес набираемого в ковш грунта в зависимости от той или иной ножевой системы практически не изменяется (до 2%), что исключает  $G_{ep}$  из системы показателей для оценки эффективности и не позволяет обоснованно подходить к определению производительности машины  $\Pi_{tex}=f(НС)$ .

Оценка эффективности применения на скрепере НС с выступающими ножами и боковыми косынками, в данном случае, может быть установлена по соответствующему показателю, который может быть представлен в виде коэффициента эффективности, учитывающего эффект снижения сил сопротивления грунта копанию [1, 2, 8]

$$k_{эф.Рк} = 1 - \frac{P_2}{P_1},$$

где  $P_2$  - сопротивление грунта копанию рабочим органом с исследуемой ножевой системой;

$P_1$  - то же рабочим органом традиционного типа.

Тогда производительность скрепера оборудованного различными ступенчатыми ножевыми системами может быть определена [1]:

$$\Pi_{ин} = (1 + k_{э.н}) \Pi_{мп},$$

где  $k_{э.н}$  - коэффициент, учитывающий изменение производительности машины в условиях изменения сопротивления грунта копанию, полученный на основании статистических экспериментальных данных различных исследователей;

$\Pi_{мп}$  - производительность машины с рабочим органом традиционного типа (ножевая система с одним выступающим ножом, составляющим 0,5 ширины ковша).

Согласно исследований докт. техн. наук, профессора Л.А. Хмары величина коэффициента  $k_{э.н}$  может быть определена из уравнений регрессии [8]:

$$\text{— для песка } k_{э.н} = 0,078 + 0,683k_{эф.Рк} - 0,068k_{эф.Рк}^2 - 0,032k_{эф.Рк}^3;$$

$$\text{— для супеси } k_{э.н} = 0,064 + 1,53k_{эф.Рк} - 6,79k_{эф.Рк}^2 + 16,21k_{эф.Рк}^3 - 12,28k_{эф.Рк}^4;$$

$$\text{— для суглинка } k_{э.н} = 0,102 + 0,5k_{эф.Рк} + 0,053k_{эф.Рк}^2;$$

$$\text{— для глины } k_{э.н} = 0,147 + 0,215k_{эф.Рк} + 0,43k_{эф.Рк}^2.$$

Результаты расчёта технической производительности  $\Pi_{tex}$  для исследуемых ножевых систем (конструктивные схемы исследуемых ножевых систем приведены в табл.1) при дальности транспортирования  $L_{мп}=1000$ м представлены в виде графиков на рис. 1.

Анализ графиков (см. рис. 1) показывает, что производительность скрепера максимальна при оборудовании ковша НС, обеспечивающей наибольшее снижение сопротивления грунта копанию – 8-12% (ножевая система с двумя выступающими ножами и боковыми косынками). В сравнении с традиционной ножевой системой производительность машины выше на 13-16%.

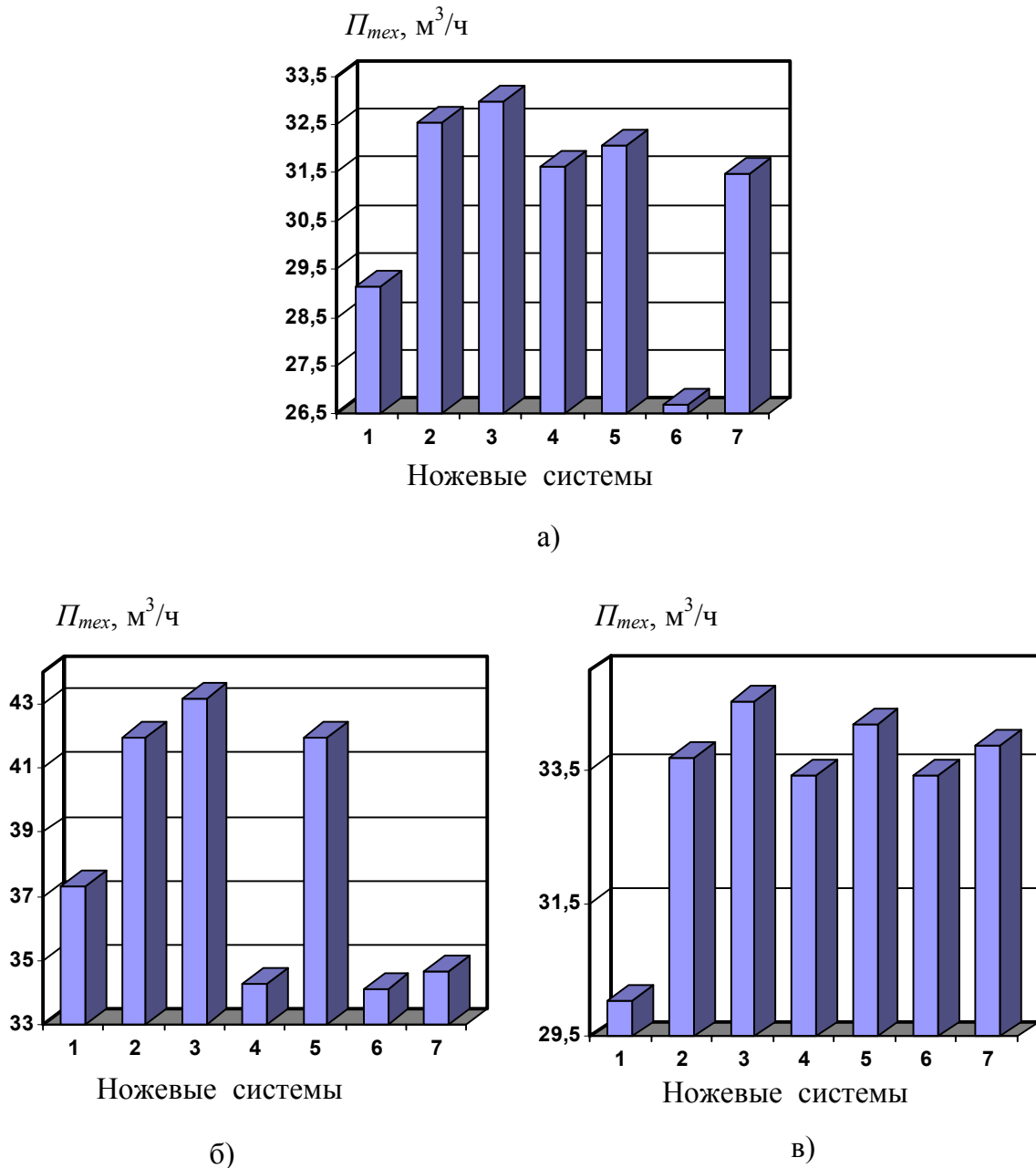
Остальные частные показатели оценки эффективности применения НС с ВН и БК сведены в табл. 1.

Как видно из данных расчёта (см. табл. 1), оборудование РО НС с двумя ВН и БК ведёт к снижению таких показателей, как работа (на 11-13%), энергоёмкость (на 11-15%), материалоемкость (на 13-16%) при повышении производительности (на 13-16%).

Для оценки эффективности комплексного применения нескольких интенсификаторов (в виде конструктивных решений НС, передней заслонки, задней стенки и технологических параметров процесса заполнения ковша в две стадии) могут

быть использованы показатели, представленные в табл. 2.

Из анализа данных (см. табл. 2) следует, что комплексное усовершенствование РО и технологии процесса заполнения ковша способствует повышению производительности скрепера  $\Pi_{tex}$  на 17-25% при дальности транспортирования  $L_{mp} = 1000\text{м}$ . Показатель материалоемкости скрепера  $G_{y\partial}$  при этом снижается на 10-14%, энергоёмкости процесса набора грунта  $N_{y\partial}$ , на 15-18%.



а – песчаный грунт I категории; б – супесь II категории; в – суглинок III категории;

1-7 – НС (см. табл.1)

Рисунок 1 – Техническая производительность скрепера ДЗ-87-1 при различных конструкциях ступенчатых НС,  $L_{mp}=1000\text{м}$ ,  $F_{cmp}=\text{const}$

Таблица 1 - Система основных показателей оценки эффективности применения ступенчатых ножевых систем в условиях традиционного ведения скреперных работ

| №<br>п/п | Показатель                                                                                          | Обозначение                                  | Ножевые системы                                                                   |                                                                                    |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     | Условие<br>оптимиза-<br>ции пара-<br>метров РО |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
|          |                                                                                                     |                                              |  |  |  |  |  |  |  |                                                |
| 1        | 2                                                                                                   | 3                                            | 4                                                                                 | 5                                                                                  | 6                                                                                   | 7                                                                                   | 8                                                                                   | 9                                                                                   | 10                                                                                  | 11                                             |
| 1        | Коэффициент неоднородности распределения плотности грунта (по ширине $B$ )                          | $k_n^*$                                      | 1,11                                                                              | 1,017                                                                              | 1,006                                                                               | 1,048                                                                               | 1,03                                                                                | 1,084                                                                               | 1,003                                                                               | $k_n \rightarrow \min$                         |
| 2        | Сопротивление копанью, кН:                                                                          |                                              |                                                                                   |                                                                                    |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     | $P_k \rightarrow \min$                         |
|          | -песок                                                                                              | $P_k$                                        | 47,878                                                                            | 45,174                                                                             | 44,054                                                                              | 47,329                                                                              | 46,228                                                                              | 48,158                                                                              | 47,664                                                                              |                                                |
|          | -супесь                                                                                             | $P_k$                                        | 55,627                                                                            | 52,834,1                                                                           | 50,655                                                                              | 56,294                                                                              | 52,843                                                                              | 56,357                                                                              | 55,899                                                                              |                                                |
|          | -суглинок                                                                                           | $P_k$                                        | 143,245                                                                           | 37,754                                                                             | 129,724                                                                             | 140,577                                                                             | 132,895                                                                             | 140,461                                                                             | 136,2                                                                               |                                                |
| 3        | Удельное сопротивление копанью, при $h=\text{const}$ ( $L_{\text{кон}}=0,135$ м кН/м <sup>2</sup> : | $P_{y\partial} = \frac{P_k}{F_{\text{cmp}}}$ |                                                                                   |                                                                                    |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     | $P_{y\partial} \rightarrow \min$               |
|          | -песок                                                                                              | $P_{y\partial}$                              | 178,11                                                                            | 168,05                                                                             | 163,88                                                                              | 176,07                                                                              | 178,97                                                                              | 179,15                                                                              | 177,31                                                                              |                                                |
|          | -супесь                                                                                             | $P_{y\partial}$                              | 206,94                                                                            | 196,54                                                                             | 188,44                                                                              | 209,42                                                                              | 196,58                                                                              | 209,65                                                                              | 209,95                                                                              |                                                |
|          | -суглинок                                                                                           | $P_{y\partial}$                              | 532,88                                                                            | 512,45                                                                             | 482,58                                                                              | 522,95                                                                              | 494,38                                                                              | 522,52                                                                              | 506,67                                                                              |                                                |
| 4        | Вес набранного грунта, Н:                                                                           |                                              |                                                                                   |                                                                                    |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     | $G_{\text{сп}} \rightarrow \max$               |
|          | -супесь                                                                                             | $G_{\text{сп}}^*$                            | 74,4                                                                              | 75,2                                                                               | 75,5                                                                                | 75,1                                                                                | 75,15                                                                               | 74,6                                                                                | 75,25                                                                               |                                                |
|          | -суглинок                                                                                           | $G_{\text{сп}}^*$                            | 81,8                                                                              | 82,95                                                                              | 83,4                                                                                | 82,7                                                                                | 82,75                                                                               | 82,4                                                                                | 83,05                                                                               |                                                |
| 5        | Вес машины                                                                                          | $G$                                          | 117,72                                                                            | 117,72                                                                             | 117,72                                                                              | 117,72                                                                              | 117,72                                                                              | 117,72                                                                              | 117,72                                                                              | $G \rightarrow \min$                           |

Продолжение таблицы 1

| 1  | 2                                                                                                            | 3                                          | 4                        | 5                       | 6                       | 7                       | 8                       | 9                       | 10                       | 11                           |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|------------------------------|
| 6  | Вес скреперного оборудования                                                                                 | $G_{ск}$                                   | 43,36                    | 43,36                   | 43,36                   | 43,36                   | 43,36                   | 43,36                   | 43,36                    | $G_{ск} \rightarrow \min$    |
| 7  | Удельная энергoёмкость заполнения РО:<br><br>-супесь<br>-суглинок                                            | $P_{к.уд} = \frac{P_{к}}{G_{зр}}$          | 0,748<br>1,75            | 0,703<br>1,661          | 0,671<br>1,555          | 0,75<br>1,7             | 0,703<br>1,61           | 0,755<br>1,705          | 0,743<br>1,64            | $P_{к.уд} \rightarrow \min$  |
| 8  | Работа процесса копания, Дж:<br><br>-супесь<br>-суглинок                                                     | $A_{к} = \int_0^{L_{коп}} P_{к} L_{коп}$   | 43<br>100                | 41<br>89                | 37,8<br>88              | 42,2<br>94,5            | 39,8<br>92,5            | 45<br>109,5             | 42,6<br>91               | $A_{к} \rightarrow \min$     |
| 9  | Техническая производительность, $L_{тр} = 1200 \text{ м}^3/\text{ч}$ :<br><br>-песок<br>-супесь<br>-суглинок | $\Pi_{мех} = \frac{3600 V k_n}{k_p t_{ц}}$ | 29,13<br>37,293<br>30,05 | 32,52<br>41,95<br>33,69 | 32,96<br>43,15<br>34,53 | 31,62<br>34,27<br>33,42 | 32,07<br>41,95<br>34,19 | 26,71<br>34,12<br>33,42 | 31,489<br>34,65<br>33,87 | $\Pi_{мех} \rightarrow \max$ |
| 10 | Материалоёмкость, $L_{тр} = 1000 \text{ м}^3/\text{ч}$ :<br>-песок<br>-супесь<br>-суглинок                   | $G_{уд} = \frac{G}{\Pi_{мех}}$             | 4,041<br>3,157<br>3,917  | 3,62<br>2,81<br>3,49    | 3,57<br>2,73<br>3,41    | 3,72<br>3,44<br>3,52    | 3,67<br>2,81<br>3,44    | 4,41<br>3,45<br>3,52    | 3,74<br>3,39<br>3,48     | $G_{уд} \rightarrow \min$    |
| 11 | Энергоёмкость, кВт ч/м <sup>3</sup> :<br>-песок<br>-супесь<br>-суглинок                                      | $N_{уд} = \frac{N_e}{\Pi_{мех}}$           | 4,16<br>3,25<br>4,04     | 3,73<br>2,89<br>3,6     | 3,68<br>2,81<br>3,51    | 3,84<br>3,54<br>3,63    | 3,78<br>2,89<br>3,55    | 4,54<br>3,56<br>3,63    | 3,85<br>3,5<br>3,58      | $N_{уд} \rightarrow \min$    |

Продолжение таблицы 1

| 1  | 2                                                                                                | 3                                                 | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      | 10    | 11                        |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|---------------------------|
| 12 | Обобщённый<br>показатель<br>энергоёмкости<br>материалоёмкости:<br>-песок<br>-супесь<br>-суглинок | $P_{NG} = \frac{N_e G}{P_{mex}^2}$                | 576,7  | 516,58 | 509,69 | 531,3  | 5233,8 | 6228,9 | 533,5 | $P_{NG} \rightarrow \min$ |
|    |                                                                                                  |                                                   | 450,5  | 400,46 | 389,3  | 490,2  | 400,47 | 492,36 | 484,8 |                           |
|    |                                                                                                  |                                                   | 559,05 | 498,64 | 486,5  | 502,67 | 491,35 | 502,7  | 495,9 |                           |
|    |                                                                                                  | $P_{NGH_p} = \frac{N_e G P_{mex}}{P_{mex}^2 k_6}$ | 16,82  | 13,5   | 13,14  | 14,28  | 13,88  | 20,02  | 14,4  |                           |
|    |                                                                                                  |                                                   | 10,27  | 8,11   | 7,67   | 12,16  | 8,11   | 12,27  | 11,89 |                           |
|    |                                                                                                  |                                                   | 15,81  | 12,58  | 11,98  | 12,78  | 12,22  | 12,78  | 12,42 |                           |

Примеч.: – \* Коэф. неоднородности распределения плотности и вес набранного в ковш грунта получены экспериментально в лабораторных условиях. Величины, входящие в приведенные формулы, имеют следующие обозначения:  $F_{cmp}$  – площадь вырезаемой стружки, м<sup>2</sup>;  $L_{kop}$  – длина пути копания, м;  $V$  – объём грунта в ковше, м<sup>3</sup>;  $k_n$  – коэффициент наполнения;  $k_p$  – коэффициент разрыхления;  $G$  – вес металлоконструкции скреперного агрегата, Н;  $N_e$  – мощность двигателя, кВт;  $k_6$  – коэффициент использования по времени;  $t_i$  – время  $i$ -той составляющей цикла, с;  $P_9$  – эксплуатационная производительность, м<sup>3</sup>/ч;  $C_{y0}$  – себестоимость продукции, грн;  $k_{y0}$  – удельные капиталовложения.

Таблица 2 - Сравнительный анализ показателей процесса копания РО скрепера при двухстадийном и традиционном способах заполнения ковша

| № п/п | Показатель                                                                                                                           | Обозн.                                                                              | Заполнение ковша в две стадии $V = 5,8 \text{ м}^3$ | Традиционный процесс $V = 4,5 \text{ м}^3$          |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| 1     | Сопротивление копанию:<br>на I стадии заполнения<br>на II стадии заполнения                                                          | $P_{\kappa 1}$<br>$P_{\kappa 2}$                                                    | 35000<br>35000                                      | —<br>35000                                          |
| 2     | Объём набранного в ковш грунта, $\text{м}^3$                                                                                         | V                                                                                   | 5,8                                                 | 4,5                                                 |
| 3     | Техническая производительность, $\text{м}^3/\text{час}$ $L_{\text{тр}} = 1000\text{м.}$ :<br>– песок<br>– супесь<br>– суглинок       | $P_{\text{тех}}$<br>$P_{\text{тех}}$<br>$P_{\text{тех}}$                            | 34,66<br>45,49<br>37,56                             | 29,13<br>37,293<br>30,05                            |
| 4     | Материалоёмкость, $\text{кН ч}/\text{м}^3$ ,<br>$L_{\text{тр}} = 1000\text{м.}$ :<br>– песок<br>– супесь<br>– суглинок               | $G_{y\partial}$<br>$G_{y\partial}$<br>$G_{y\partial}$                               | 3,58<br>2,73<br>3,3                                 | 4,041<br>3,157<br>3,917                             |
| 5     | Мощность двигателя тягача, кВт                                                                                                       | $N_e$                                                                               | 121,3                                               | 121,3                                               |
| 6     | Энергоёмкость, $\text{кВт ч}/\text{м}^3$<br>– песок<br>– супесь<br>– суглинок                                                        | $N_{y\partial}$<br>$N_{y\partial}$<br>$N_{y\partial}$                               | 3,49<br>2,66<br>3,22                                | 4,16<br>3,253<br>4,04                               |
| 7     | Обобщённый показатель по энергоёмкости и материалоёмкости:<br>– песок<br>– супесь<br>– суглинок<br>– песок<br>– супесь<br>– суглинок | $P_{NG}$<br>$P_{NG}$<br>$P_{NG}$<br>$P_{NG\Pi p}$<br>$P_{NG\Pi p}$<br>$P_{NG\Pi p}$ | 5,03<br>2,92<br>4,28<br>218,25<br>166,29<br>201,39  | 16,82<br>10,27<br>15,81<br>576,7<br>450,5<br>559,05 |

## Список літератури

1. Баловнев В.И., Хмара Л.А. Интенсификация разработки грунтов в дорожном строительстве. - М.: Транспорт, 1993. - 383 с.
2. Машины для земляных работ / Алексеева Т.В., Артемьев К.А., Бромберг А.А., Войцеховский Р.И., Ульянов Н.А. - М.: Машиностроение, 1972. - 504 с.
3. Хмара Л.А., Соколов И.А., Карпушин С.А. Аналитическое определение сопротивления грунта копанью рабочим органом скрепера, оборудованным ножевой системой с выступающими ножами и боковыми косынками // Строительство. Материаловедение. Машиностроение. – Днепропетровск: ПГАСиА. – 1999. – №9. – С. 49-59.
4. Хмара Л.А., Деревянчук М.И., Карпушин С.А. Исследование процесса копания грунта скрепером при двухстадийной технологии загрузки ковша // Интенсификация рабочих процессов строительных машин. - Днепропетровск: ПГАСиА. - 1998. - С. 44-51.
5. Хмара Л.А., Карпушин С.А. Математическое моделирование процесса заполнения грунтом ковша скрепера в две стадии // Интенсификация рабочих процессов строительных и дорожных машин. – Вып. 10. - Днепропетровск: ПГАСиА. - 2000. - С. 43-53.
6. Карпушин С.А. К вопросу оптимизации рациональных технологических параметров процесса заполнения ковша скрепера в две стадии // Вісник академії ПДАБА. – 2000. - № 1. - С. 21-26.
7. Баловнев В.И., Хмара Л.А. Повышение производительности машин для земляных работ. – К.: Будівельник, 1988. – 152 с.

*С. Карпушин, О. Яцун*

### **Оцінка ефективності нових технічних і технологічних рішень при зведенні меліоративних споруд скреперами**

В статті представлена методика оцінки ефективності використання землерийних, меліоративних машин. Розглянуто конкретний випадок, коли робочий орган скрепера обладнаний новою, в порівнянні з традиційною конструкцією – передньою «глибокою» заслінкою, задньою стінкою з «відвальною» поверхнею і східчастою ножевою системою, а сам технологічний процес заповнення ковша здійснюється в декілька етапів.

*S. Karpushin, O. Yatsun*

### **Estimation of efficiency of new technical and technological decisions at erection of reclamative buildings dragshovels**

The method of estimation of efficiency of the use of earth-moving, reclamative machines is presented in the article. A concrete case is considered, when the working organ of dragshovel is equipped new, by comparison to a traditional construction – front «deep» wall, back wall with a «turn» surface and step knife system, and the technological process of filling of scoop is carried out in a few stages.

Одержано 23.11.09