

УДК 625.7/8

Кустарев Геннадий Владимирович, канд. техн. наук, доц.,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, EVMarsova@rambler.ru

Марсова Екатерина Вадимовна, д-р техн. наук, проф.,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, EVMarsova@rambler.ru

Васильев Юрий Эммануилович, д-р техн. наук, доц.,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, EVMarsova@rambler.ru

Борисов Юрий Владимирович, ст. преподаватель,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, EVMarsova@rambler.ru

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЧЛЕНЕННЫХ УПЛОТНЯЮЩИХ МАШИН ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ НАСЫПНЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Аннотация. Наиболее перспективными, ввиду своей универсальности и эффективности при уплотнении различных видов грунтов, являются уплотняющие агрегаты типа ДЭТ-250М – ПВК-70ЭА. Однако при существующих методах и средствах управления перемещением агрегатов не удается обеспечить полной реализации их технической производительности из-за курсовой нестабильности и существенных потерь на развороты.

Анализ результатов испытаний и проведенных аналитических исследований уплотняющих агрегатов, позволили выявить наряду с высокой эффективностью ряд факторов, существенно ограничивающих полную реализацию их технической производительности. Устранение этого недостатка возможно только за счет внедрения активного сцепного устройства, в котором уплотняющий агрегат служит объектом системы автоматического управления его курсовой устойчивостью.

Ключевые слова: уплотняющий агрегат, активное сцепное устройств, уплотнении грунтов, курсовая устойчивость, потери на разворот.

Kustarev Gennady V., Ph. D., associate professor,
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, EVMarsova@rambler.ru

Marsova Ekaterina V., doctor of technical science, prof.,
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, EVMarsova@rambler.ru

Vasiliev Yuriy E., doctor of technical science, associate professor,
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, EVMarsova@rambler.ru

Borisov Yuriy V., senior lecturer,
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, EVMarsova@rambler.ru

FEATURES OF THE USE OF ARTICULATED SEALING MACHINES IN THE CONSTRUCTION OF BULK ENGINEERING STRUCTURES

Abstract. The most promising, in view of their versatility and efficiency in sealing various types of soils, are sealing aggregates such as DET-250M-PVK-70EA. However, with existing methods and means of controlling the movement of aggregates, it is not possible to fully realize their technical performance due to exchange rate instability and significant losses on turns.

Analysis of test results and conducted analytical studies of sealing aggregates made it possible to identify, along with high efficiency, a number of factors that significantly limit the full realization of their technical performance. Elimination of this disadvantage is possible only through the introduction of an active coupling device, in which the sealing unit serves as an object of the automatic control system of its course stability.

Key words: compacting unit, active coupling devices, soil compaction, course stability, turn-over losses.

Уплотняющие машины подразделяются на трамбующие с дискретным и непрерывным принципом действия, а также укатывающие и виброплиты с непрерывным принципом действия (рис. 1).

Наиболее производительными в условиях строительства линейных насыпных инженерных сооружений, являются уплотняющие машины непрерывного действия укатывающего типа, представленные в отечественном машиностроении достаточно широким спектром самоходных катков и сочлененных уплотняющих агрегатов.

Наибольшее распространение в отечественном транспортном, гидроэнергетическом и других видах строительства в настоящее время нашли сочлененные уплотняющие агрегаты, состоящие из тягача – гусеничного или колесного трактора – и прицепного катка. Причем в зависимости от вида уплотняемого грунта и толщины уплотняемого слоя тип катка, а значит, и тип уплотняющего агрегата варьируются (табл. 1).

Анализ основных характеристик используемых уплотняющих агрегатов [2, 3], представленных в табл. 1, показывает, что наиболее производительными, из-за наибольшей толщины уплотняемого слоя,

и универсальными, из-за непосредственного контакта статической массы катка с грунтом, являются агрегаты, состоящие из гусеничных тягачей и прицепных виброкатков. Наибольший технологический и экономический эффект на всех объектах, строящихся методом послойного наращивания (земляное полотно автомобильных дорог, грунтовые насыпные основания фундаментов производственных и жилых зданий и т.п.), наблюдается при использовании уплотняющих агрегатов с прицепным вибрационным катком, представляющим собой совокупность трактора и прицепного вибрационного катка с электрическим приводом вибратора.



Рис. 1. Классификация уплотняющих машин и агрегатов

Тягач агрегата – трактор, например ДЭТ-250М, имеющий электромеханическую трансмиссию, является универсальным средством, на базе которого могут компоноваться многие машины и агрегаты, предназначенные для производства земляных работ [1, 4].

Прицепной виброкаток представляет собой двухрамную конструкцию, рамы которой соединены посредством пружинных амортизаторов, оборудованную гладким сварным вальцем. На передней

раме катка, снабженной трехступенным пальцевым шарниром для присоединения к тягачу, установлен электрический двигатель постоянного тока с независимым возбуждением мощностью 120 кВт и с номинальной частотой вращения вала $n = 1400$ об/мин.

Таблица 1

Техническая характеристика машин для уплотнения грунтов

Индекс	Масса, т		Скорость, км/ч	Ширина уплотнения, м
	без балласта	с балластом		
Прицепные кулачковые и решетчатые катки				
ДУ-2	9,2	17,6	0...3	4
ДУ-3	13	29	0...3	2,8
ДУ-26	4,68	9	0...3	1,8
ДУ-27	9,2	17,6	0...3	4
ДУ-32А	9	18	0...3	2,6
ЗУР-25		25	0...3	2,9
Прицепные пневмоколесные катки				
ДУ-4	5,65	25	0...5	2,5
ДУ-5	12,05	45	0...4,5	3,3
ДУ-30	4	12,5	0...5	2,2
ДУ-39Б	6	25	0...5	2,6
Полуприцепные пневмоколесные катки				
ДУ-16В	25,4	35,9	0...40	2,6
ДУ-21	27,8	56,7	0...15	2,08
ДУ-37А	13	22,75	0...30	2,61
ДУ-37В	5,7	15	0...30	2,61
ДУ-74	9	–	0...7	1,7
Самоходные пневмоколесные катки				
ДУ-29	23	30	0...23	2,22
ДУ-31А	8,44	16	0...23	1,9
ДУ-55	–	20	0...15	2,5
ДУ-65	12	–	0...16	1,7
ДУ-100	14	–	0...16	1,95
Самоходные вибрационные (комбинированные) катки				
ДУ-52	16	–	0...10,8	2,0
ДУ-58	15	16	0...6,5	2,0
ДУ-62	13,5	14,1	0...10	2,2
ДУ-64	9,5	–	0...10	1,7
ДУ-99	9,5	–	0...10	1,7
Прицепной вибрационный каток				
А-4	3,8	–	по тягачу	1,5
А-8	8	–		1,6
А-12	11,8	–		2,0

Технические характеристики виброкатков представлены в табл. 2.

Таблица 2

Технические характеристика виброкатков

п/п	Характеристика	Единица измерения	Значение
1	Амплитуда вынуждающей силы	кН	0...735
2	Частота колебаний	Гц	13...25
3	Амплитуда колебаний	мм	0...6
4	Статический момент дебалансов	Нм	0...588
5	Диаметр Еальца	мм	1750
6	Ширина Еальца	мм	2640
7	Рабочая скорость	м/с	0,55...0,83
8	Масса катка	кг	28000
9	Поперечный наклон рабочей площадки	град.	15
10	Максимальный угол складывания по отношению к тягачу	град.	65
11	Техническая производительность: – на суглинке – на галечнике – на камне	м ³ /час	850 900 950
12	Глубина уплотнения: – на суглинке – на галечнике – на камне	м	0,3...0,6 1,0...1,5 1,8...2,0

Опыт строительства показывает, что сочлененные уплотняющие агрегаты, работающие в режимах статического и вибрационного уплотнения, обеспечивают качественное уплотнение грунтов практически всего спектра, используемого при строительстве насыпных инженерных сооружений.

Возможность использования агрегата в статическом режиме позволяет производить предварительное уплотнение мелкофракционных малосвязных грунтов без расширения парка уплотняющих машин [1, 4].

Попытки объединения виброкатков с колесными двухосными и одноосными тягачами показали существенное снижение эффективности работ по уплотнению грунтов из-за значительно более низких тяговых свойств колесных движителей.

Традиционной для прицепных катков и сконструированных на их базе сочлененных уплотняющих агрегатов, является эллиптическая схема

уплотнения. Однако подобная схема предъявляет жесткие требования к минимальным размерам карт уплотнения и маневренности уплотняющих агрегатов.

Аналитические исследования [1, 4], позволили сформулировать выражение для максимального угла «складывания» модулей уплотняющего агрегата, определяющего его минимальный радиус поворота:

$$\varphi = \arctg\left[\frac{(l_t - l_r)^2}{B'} + 90^\circ - \frac{\gamma}{2}\right], \quad (1)$$

где l_t – расстояние от центра тяжести тягача до шарнира сцепного устройства; l_r – расстояние от центра тяжести тягача до края гусеницы; B' – базовый габарит тягача; γ – угол раствора дышла катка.

Однако выражение (1), являясь функцией только геометрических размеров тягача агрегата, не учитывает его силовых тяговых возможностей. Трактор-тягач осуществляет поворот по дуге большого радиуса в несколько приемов путем последовательного торможения и растормаживания ближней к центру поворота гусеницы. При этом уплотняющий агрегат испытывает последовательные «складывания» и «выпрямления».

Расчет потребных сил тяги гусениц тягача для осуществления складывания агрегата на угол γ , выполненный по общепринятой методике [4] при обобщении данных о значениях физико-механических свойств грунтов, позволяет определить влияние значений угла складывания агрегата при вариациях значений коэффициентов сцепления, сопротивления прямолинейному движению и повороту на значение необходимой силы тяги забегающей гусеницы (рис. 2–4).

Анализ результатов аналитических исследований показал, что при средних значениях коэффициента сцепления $\varphi = 0,75$,

коэффициента сопротивления прямолинейному движению $f = 0,15$ и коэффициента сопротивления повороту $\mu_{\max} = 0,45$, максимальный угол складывания модулей уплотняющего агрегата не превышает $\gamma = 13,5^\circ$.

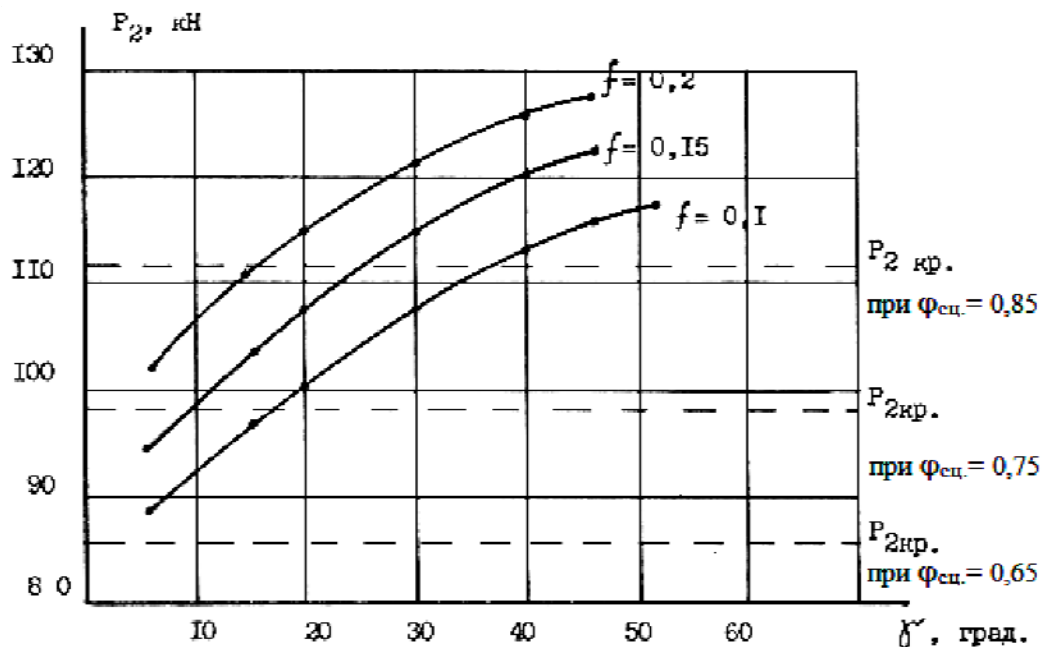


Рис. 2. Влияние угла ϕ и коэффициента сопротивления прямолинейному движению f на необходимую силу тяги забегающей гусеницы при $\mu_{\max} = 0,5$

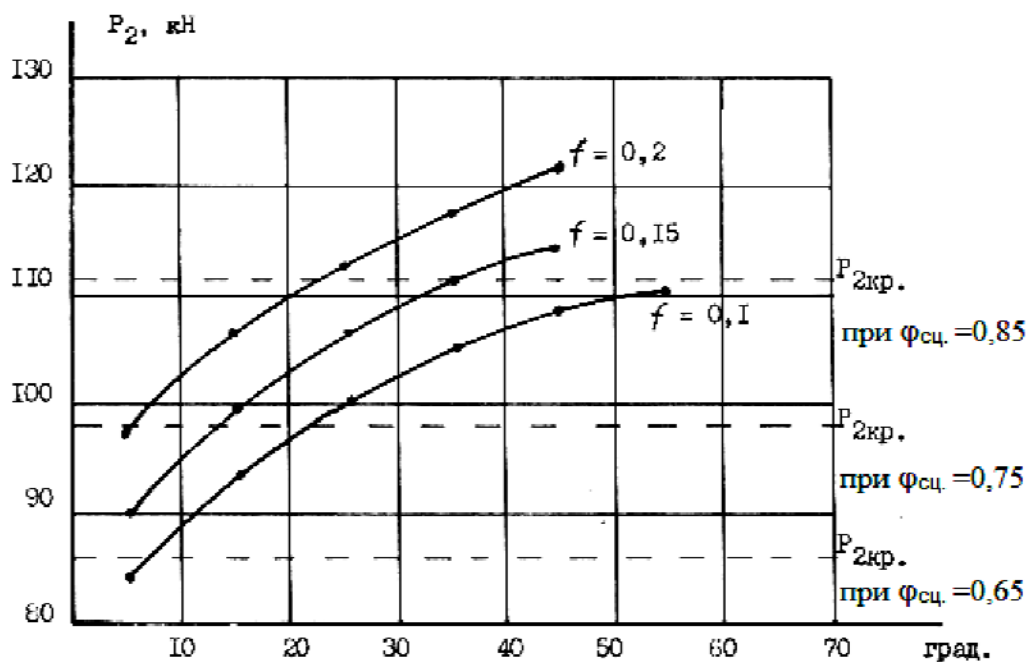


Рис.3. Влияние угла ϕ и коэффициента сопротивления прямолинейному движению f на необходимую силу тяги забегающей гусеницы при $\mu_{\max} = 0,45$

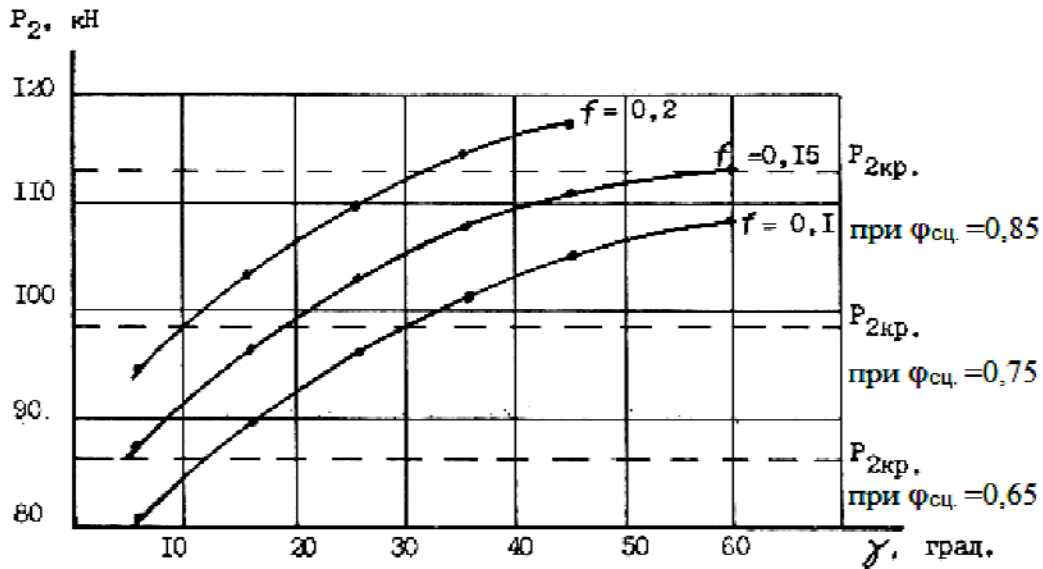


Рис.4. Влияние угла φ и коэффициента сопротивления прямолинейному движению f на необходимую силу тяги забегающей гусеницы при $\mu_{max} = 0,4$

Как следует из анализа данных исследований в области поворотливости и управляемости одномодульных [3] и сочлененных транспортных машин [1, 4] линейная скорость уплотняющего агрегата и радиус кривизны траектории при развороте являются функциями их конструктивных параметров:

$$V_p = V_y \frac{R_p}{R_p + \frac{B_r}{2}}; \quad (2)$$

$$R_p = \frac{L_k + L_T \cdot \cos \varphi}{\sin \varphi}, \quad (3)$$

где φ – эксплуатационный угол складывания агрегата, рад.

Из выражения (3) следует, что радиус поворота агрегата не может быть менее $R = 58,7$ м. Это предопределяет минимальную ширину карты уплотнения (при эллиптической схеме уплотнения) $B = 117$ м.

С учетом того, что при строительстве насыпных инженерных сооружений, за редким исключением, ширина карт уплотнения существенно меньше, можно сделать вывод о необходимости перевода уплотняющего агрегата на челночную схему уплотнения грунтов.

Предварительные испытания уплотняющего агрегата позволили выявить наряду с его высокой эффективностью при уплотнении различных грунтов ряд факторов, существенно ограничивающих полную реализацию технической производительности.

Результаты опытной эксплуатации уплотняющего агрегата показали:

– средняя скорость прямолинейного движения агрегата «вперед» по заданной полосе укатки длиной 50 м с учетом потерь на корректировку траектории составляет 2,5 км/час, при этом среднее количество включений механизма поворота тягача составляет 4;

– средняя скорость прямолинейного движения агрегата «вперед» без корректировки траектории на том же участке составляет 2,75 км/час;

– средняя скорость прямолинейного движения агрегата «назад» по заданной полосе укатки длиной 50 м с учетом потерь на корректировку траектории составляет 1,7 км/час при среднем количестве включений механизма поворота тягача, равном 12;

– движение агрегата «назад» без корректировки курса невозможно ввиду полного складывания уплотняющего агрегата;

– снижение линейной скорости агрегата приводит ввиду специфики его электрического привода к снижению частоты и амплитуды вибрации, причем при оптимальном значении 23 Гц при движении «вперед» среднее значение частоты составляет 22 Гц, а при движении «назад» – 16 Гц, что, в свою очередь, приводит к снижению степени уплотнения грунта и вызывает необходимость увеличения числа проходов по одному следу в среднем на 10% при движении «вперед» и на 30% при движении «назад»;

– в результате корректировки траектории движения агрегата, осуществляемой торможением соответствующих гусениц тягача, происходит разрыхление слоя уплотненного грунта гусеницами на глубину до 0,15 м и создание под останавливаемым в момент поворота вибрирующим вальцем выбоин глубиной также до 0,15 м;

– общая длина разрушенных участков, составляет в среднем при движении «вперед» 14%, а при движении «назад» – 30% от общей длины полосы укатки.

Проведенный анализ позволил сделать следующие основные выводы.

Наиболее перспективными, ввиду своей универсальности и эффективности при уплотнении различных видов грунтов, являются сочлененные уплотняющие агрегаты используемые при строительстве насыпных и инженерных сооружений, работающие в режимах статического и вибрационного уплотнения, обеспечивают качественное уплотнение грунтов практически всего спектра.

Однако при существующих методах и средствах управления такие уплотняющие агрегаты не обеспечивают полной реализации своей технической производительности ввиду курсовой нестабильности агрегата и существенных потерь на развороты. Устранение этого недостатка возможно только за счет внедрения активного сцепного устройства, в котором уплотняющий агрегат служит объектом системы автоматического управления его курсовой устойчивостью.

Список литературы

1. Дудолаев, Ю.А. Активное сцепное устройство тракторного тандема строительных и дорожных машин / Ю.А. Дудолаев, А.И. Гальперина // Строительные и дорожные машины. – 1977. – № 8. – С. 18.
2. Забавников, Н.А. Основы теории транспортных гусеничных машин / Н.А. Забавников. – М.: Машиностроение, 1975. – 448 с.
3. Ульянов, Н.А. Самоходные колесные землеройно-транспортные машины / Н.А. Ульянов. – М.: Машиностроение, 1976. – 359 с.
4. Фаробин, Я.Е. Теория поворота транспортных машин / Я.Е. Фаробин. – М.: Машиностроение, 1975. – 176 с.

References

1. Dudolaev Ju.A., Gal'perina A.I. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny*, 1977, no. 8, p. 18.
2. Zabavnikov N.A. *Osnovy teorii transportnyh gusenichnyh mashin* (Fundamentals of the theory of transport caterpillar vehicles), Moscow, Mashinostroenie, 1975, 448 p.
3. Ul'janov N.A. *Samohodnye kolesnye zemlerojno-transportnye mashiny* (Self-propelled wheel excavation vehicles), Moscow, Mashinostroenie, 1976, 359 p.
4. Farobin Ja.E. *Teorija povorota transportnyh mashin* (Theory of turn of transport vehicles), Moscow, Mashinostroenie, 1975, 176 p.