

УДК 629.112

ОЦЕНКА КОМБИНИРОВАННЫХ МАШИН С ГРУЗОПОДЪЕМНЫМИ УСТРОЙСТВАМИ

© 2017 Р.Л. Сахапов¹, М.М. Махмутов², М.М. Земдиханов¹, М.М. Махмутов¹

¹Казанский государственный архитектурно-строительный университет

²Российский государственный аграрный заочный университет

Статья поступила в редакцию 21.01.2017

Существующие машины с грузоподъемными устройствами можно разделить на 2 группы. К первой группе относятся погрузчики автономные: Карпатец; ПЭ-Ф-1А и ПГ-0,2А. Ко второй группе манипуляторы: МПУ-0,5 и МПБ-0,5. Ранее погрузчики грейферного типа считались съемными, но по мере роста их грузоподъемности они стали автономными, так как на их демонтаж с трактора требуется 1,5-2 дня. Манипуляторы типа МПУ-0,5 предназначены для самозагрузки тракторных поездов и не могут заменить погрузчики, так как имеют низкую производительность.

Ключевые слова: *трактор, грузоподъемная машина, манипулятор, блочно-модульная схема, металлоемкость, производительность*

Для погрузчика или манипулятора энергетическим средством является трактор, потребность в котором определяется по трем наиболее напряженным периодам транспортно-погрузочных работ. В соответствии с этими периодами складывается потребность в технике и в первую очередь в тракторах. Транспортно-технологические процессы периодически выполняются в течение всех напряженных периодов полевых работ [1]. Рациональное сочетание транспортных и полевых работ на базе тракторов класса 0,6 и 1,4 станет возможным если:

- создать быстросъемные (полунавесные) погрузчики к тракторам с возможностью демонтажа в течение 0,5-1 часа;
- создать возможность применения нового погрузчика в агрегате с трактором менее занятым на полевых работах;
- использовать в качестве энергетического средства для самозагружающегося транспортного агрегата полноприводный автомобиль.

В периоды напряженных полевых работ до 45% агрегатов бывает занято выполнением транспортно-технологических операций. Включение в состав транспортно-распределительных и транспортно-сборочных агрегатов погрузчиков-манипуляторов позволяет также высвободить дефицитные тракторы из под погрузчиков [2].

С целью снижения материалоемкости нами предлагается в качестве погрузочного средства использовать погрузчик-манипулятор полунавесной быстросъемный. Для оценки эффективности универсальных и комбинированных машин по разным

оценочным критериям были предложены методики, разработанные Северным М.М., Косачевым Г.Г., Павловым Б.В., а также сотрудниками ВИМ Козловым Е.Г. и другими разработавшими методические указания по экономической оценке комбинированных машин. Г.Г. Косачев [6] предлагает определять средневзвешенную границу экономической эффективности универсальных машин и тракторов по соотношению их производительностей. М.М. Севернев [13] ввел понятие эксплуатационной металлоемкости машин. По его методу оценочным показателем является коэффициент эксплуатационной металлоемкости машины K_G , численная величина которого равна отношению веса использованного металла к выполненному объему работы:

$$K_G = \frac{\Delta G_p + 1/T G_k}{W}, \quad (1)$$

где G_k – конструктивная масса; ΔG_p – масса металла использованного в виде деталей при ремонте и ТО; T – срок службы машины; W – годовая выработка машины.

K_G базовых машин: погрузчика ПЭ-0,8Б (ПЭ-Ф-1А) на ЮМЗ-6 и манипулятора МПУ-0,5 определим по формуле предложенной М.М. Северным, масса погрузчика ПЭ-0,8Б с трактором составит 5000 кг, срок окупаемости – 8 лет, годовой расход металла на запчасти для сложных машин принимают в пределах 10% от массы машины – 500 кг, годовая выработка в хозяйствах нечерноземной зоны в среднем составляет 20 тыс. тонн. После подстановки всех значений получим $K_G=0,05$ кг/т. Манипулятор МПУ - 0,5 массой 850 кг и годовой выработкой 6 тыс. тонн будет иметь следующий $K_G=0,03$.

Новый погрузчик-манипулятор заменит две базовых машины и его показатель составит 0,029 кг/т, в варианте манипулятора - 0,01 кг/т. Удельная металлоемкость нового погрузчика-манипулятора по сравнению с базовыми машинами снизится: в варианте погрузчика на 42%; в варианте манипулятора на 66%.

Сахапов Рустем Лукманович, доктор технических наук, профессор. E-mail: rustem@sakhapov.ru

Махмутов Мансур Магфурович, доктор технических наук, доцент. E-mail: mansur.mahmutov@yandex.ru

Земдиханов Минсур Миналимович, кандидат технических наук, доцент. E-mail: mr.minsur@mail.ru

Махмутов Марат Мансурович, кандидат технических наук, старший преподаватель. E-mail: maratmax@yandex.ru

При определении полных энергозатрат E на выполнение погрузочно-разгрузочных работ как сумму прямых $E_{пр}$ и косвенных E_k можно принять, что энергозатраты на новые машины будут меньше, чем у базовых на долю снижения удельной материалоемкости. В нашем случае трактор класса 1,4 высвобождается из под погрузчика и может до 600 часов выполнять полевые работы в наиболее напряженные периоды. По Г.Г. Косачеву, увеличение сферы применения трактора можно оценить, если привести все дополнительно выполненные работы к условным эталонным гектарам. Это можно сделать только в конкретном случае, а в общем случае эффективность дополнительно введенного трактора лучше оценить через прокатную стоимость трактора. Оценка машины называется прокатной, так как это есть оценка той платы, которая была бы оправдана, если бы такая машина бралась на соответствующий срок в аренду.

Выход из строя трактора в напряженный период полевых работ приведет к увеличению сроков выполнения намеченных работ, следовательно, и к снижению урожайности. Ввод в работу резервного, освободившегося из под погрузчика, трактора позволит устранить простой техники и выполнить работы в намеченные агросроки. Зону зависимости стоимости потерь урожая от сроков выполнения работы можно определить, если к величине прокатной оценки добавить долю сохраненного урожая из-за устранения простоя техники. По Б.В. Павлову [12] прокатная стоимость в момент времени есть, не что иное, как прирост потерь за рассматриваемый период, связанный с остановкой машины в этот момент времени и выполнением соответствующего объема работы в момент t_k . В денежном выражении, ввод дополнительного трактора позволит получить доход:

$$\Delta C = \Delta Q \cdot Ц, \text{ руб.} \quad (2)$$

где ΔC – дополнительный доход от продукции при введении нового трактора; ΔQ – потери продукции вследствие отсутствия резервного трактора.

$$\Delta Q = Q_t - Q_k, \quad (3)$$

где Q_t – количество продукции полученное при исключении простоев; Q_k – количество продукции полученное при нарушении агросроков. $Ц$ – стоимость единицы продукции (руб.)

Замена мобильного энергетического средства. В Европейских странах и Америке существуют погрузчики и манипуляторы, установленные на шасси автомобиля. К числу таких погрузчиков относится гидрокран с захватом грейферного типа, размещенный на раме автомобиля-тягача «Унимог» (Германия, фирма Мерседес-Бенц). Совмещение в одном агрегате погрузочного и транспортного средства позволяет отказаться от приобретения тракторного погрузчика. Использование в качестве энергосредства шасси автомобиля взамен трактора увеличивает коэффициент использования времени за счет сохранения затрат на переезды и маневрирование погрузчика. В условиях Нечерноземья отдельные поля находятся на расстоянии до 5 км от машинного двора коллективного хозяйства. На переезде к месту работы и возврат на машинный двор можно в два раза снизить затраты времени, при использовании автомобильного погрузчика [5, 6].

Определение сменного времени в условиях хозяйства Апастовского района Республики Татарстан и анализа результатов испытаний погрузчика ПЭ-0,8Б в опытном хозяйстве представлены в виде баланса сменного времени погрузчика [7, 9]. В течение смены 8% времени уходит на переезды погрузчика. Если заменить ПЭ-0,8Б на автомобильный погрузчик то время на переезды можно сократить до 4%, а время чистой работы повысить с 207 до 227 минут, то есть на 9,6%. Нами предложена конструкция автомобильного погрузчика на шасси полноприводного автомобиля типа ГАЗ-66. В отличие от базового полноприводного автомобиля ГАЗ-66 за счет использования заднего моста и подвески от грузового автомобиля с полезной массой 4500 кг, на автомобиле заменен бензиновый двигатель на дизельный мощностью 62 кВт.

Таблица 1. Баланс сменного времени погрузчика

№ п/п	Наименование	Затраты времени, мин	Затраты времени, %
1	получение задания на работу	5	
2	переезд к месту работы	13	
3	переезд на машинный двор	10	8,1
4	переезд на другое место погрузки	16	
5	смена позиции у фронта погрузки	78	
6	ожидание транспортных средств	40	
7	очистка заборных органов	25	
8	ТО и устранение отказов	51	
9	простой из-за отдыха водителя	35	
10	время чистой работы	207	43,1
11	время смены	480	100

Таблица 2. Краткая характеристика базового и нового погрузчика

Характеристики	базовый вариант	новый вариант
шасси погрузчика	трактор ЮМЗ-6Л	автомобиль ГАЗ-66
масса шасси (кг)	3500	3500
масса погрузочного устройства (кг)	1500	1500
собственная масса (кг)	5000	4800
скорость движения (км/ч)	12,0	24,0
мощность двигателя (кВт)	60	62
производительность:		
- за час основного времени (т/ч)	90	90
- за час эксплуатационного времени (т/ч)	40	42
годовая загрузка (час)	600	1400
в т. ч. на транспортных работах		
с самозагрузкой груза	-	800

Как видно из характеристики (табл. 2), у автомобильного погрузчика выше скорость движения и более длительная годовая загрузка [9-11, 14]. Годовой экономический эффект от применения погрузчика на шасси ГАЗ-66М рассчитан в соответствии с ГОСТ 237228-88 и ГОСТ 23730-88. Результаты

расчета годового экономического эффекта от эксплуатации автомобильного погрузчика приведены в табл. 3. Эффективность использования погрузчика зависит от составляющих затрат времени на погрузку и движение транспортных средств, входящих в состав звена.

Таблица 3. Техничко-экономический расчет автомобильного погрузчика

Показатели	базовый вариант	проектируемый вариант
1. Оплата труда водителя $З=a/W_{см}$, (руб./т)	125	119
a – часовая ставка (руб.)	5000	5000
$W_{см}$ – часовая сменная производительность	40	42
2. Затраты на топливо $Г = N_q \cdot \alpha \cdot Ц_t / W_{см} \cdot 100$ (руб/т)	220	211
N – полная мощность (кВт.ч)	60	62
q – удельный расход топлива (кг/кВт.ч)	0,254	0,254
α – коэф. использования мощности (%)	50	50
$Ц_t$ – цена 1 кг топлива (руб.)	1200	1200
3. Отчисления на реновацию ремонт и ТО $P_{уд.} = B \cdot (A+R) / W_{см} \cdot T_r$ (руб./т)	468	191
B – балансовая цена (млн.руб.)	50	50
$A+R$ – отчисления	0,225	0,225
T_r – годовая загрузка (ч)	600	600
4. Эксплуатац. затраты (руб/т) $Э_R=З+Г+P$	813	521
5. Годовой эффект $И = (Э_б - Э_n) \cdot W_{см} \cdot T_r$	7,38 млн. руб.	

Определение рациональной производительности погрузчиков при обслуживании тракторных транспортных средств. Тракторный транспорт имеет повышенную проходимость по сравнению с автомобилями колесной формулы 4х2. Колесные тракторы на транспортных работах используются с загрузкой двигателя на 45-55%. Это происходит в результате невозможности работы на повышенных транспортных передачах из-за высоких среднеквадратических ускорений на сиденье водителя от колебаний остова трактора при движении по неровностям. По данным Белорусского политехнического института с учетом допустимых санитарных норм скорость движения МТЗ-80 не должна превышать 3,5 м/с при расчетной максимальной скорости движения трактора 6,5 м/с.

Скоростные и тяговые свойства колесного трактора по-разному влияют на удельные энергозатраты. Чтобы определить пути рационального сочетания скорости движения и грузоподъемности тракторного поезда, нами рассчитаны удельные

энергозатраты на примере МТЗ-80 с прицепами грузоподъемностью от 2 до 8 т и скорости движения до 6,5 м.с.

Часовой расход топлива определим по формуле:

$$Q_n = N_g = \frac{9,8 \cdot f \cdot G_{арп} \cdot V}{1000 \cdot \eta_{тр}}, \quad (4)$$

где $\eta_{тр}$ – коэффициент учитывающий потери в трансмиссии трактора – 0,85.

После преобразования получим:

$$Q_n = 0,01 \cdot G_{арп} \cdot V_g, \quad (5)$$

где g – удельный расход топлива.

При $G_{арп} = G_r \cdot (1+K_r)$ получим:

$$Q_n = 0,01 g f G_r (1+K_r) \quad (6)$$

где K_r – коэффициент материалоемкости (коэффициент тары).

Чтобы определить расход топлива за каждый цикл надо знать время цикла:

$$t_{\text{ц}} = t_{\text{п}} + t_{\text{г}} + t_{\text{х}} + t_{\text{р}} \quad (7)$$

Затраты времени на погрузку-разгрузку ($t_{\text{п}} + t_{\text{р}}$) можно принять как удельные затраты на одну тонну груза. На энергозатраты окажут влияние: движение с грузом ($t_{\text{г}}$); возврат под погрузку ($t_{\text{р}}$). Расход топлива при движении с грузом:

$$Q_{\text{цг}} = 0,01 g_{\text{г}} \cdot f \cdot G_{\text{г}} \cdot (1 + K_{\text{т}}) V_{\text{г}} t_{\text{г}}. \quad (8)$$

а при возврате к месту погрузки:

$$Q_{\text{цх}} = 0,01 g_{\text{х}} \cdot f \cdot G_{\text{г}} \cdot K_{\text{т}} \cdot V_{\text{х}} \cdot t_{\text{х}}. \quad (9)$$

Удельный расход топлива – энергозатраты на перевозку 1 тонны груза за цикл (без учета затрат на погрузку разгрузку) определим по формуле:

$$Q_{\text{уд}} = \frac{0,01 f [G_{\text{г}} g_{\text{г}} (1 + K_{\text{т}}) V_{\text{г}} t_{\text{г}} + g_{\text{х}} f G_{\text{г}} K_{\text{т}} V_{\text{х}} t_{\text{х}}]}{G_{\text{г}}} \quad (10)$$

Учитывая, что дальность перевозки груза не изменяет зависимость энергозатрат от скорости движения или грузоподъемности, можно выполнить расчет прямых энергозатрат при фиксированной дальности перевозок, например 3 км. Для случая, когда $f=0,1$, а $N=40$ кВт.ч расчетная $Q_{\text{уд}}$ составит при агрегатировании МТЗ-80 с прицепами грузоподъемностью от 2 до 8 тонн и скорости движения от 2,7 до 6,5 м/с, при допущении, что среднеквадратические ускорения на сиденье водителя находятся в пределах допустимых санитарных норм. При заданной мощности двигателя (N) с увеличением грузоподъемности ($G_{\text{г}}$) должна снижаться скорость движения. Зависимость грузоподъемности и скорости представлена в табл. 4.

Таблица 4. Зависимость грузоподъемности и скорости

Параметр	Грузоподъемность (кг)			
	2000	4000	6000	8000
$V_{\text{г}}$	6,5	4,3	3,2	2,7
$t_{\text{г}}$	0,12	0,19	0,25	0,31
$t_{\text{х}}$	0,12	0,14	0,16	0,16
$Q_{\text{удг}}$	1,8	1,8	1,8	1,8
$Q_{\text{удх}}$	8,0	5,4	4,2	3,4
$Q_{\text{уд}}$	9,8	7,2	6,0	5,2

Для более наглядного представления распределения энергозатрат с учетом затрат времени на погрузку и разгрузку груза построен график рис. 1. Составляющие удельного расхода топлива на графике представлены в виде площадей:

- а) затраты на перемещение груза.
- б) затраты за время погрузки-разгрузки груза.
- в) затраты на перемещение собственной массы агрегата.

Удельные энергозатраты по п. а) и б) не зависят от изменения грузоподъемности, а расход энергии на грузометаллооборот увеличивается пропорционально изменению коэффициента металлоемкости $K_{\text{т}}$. Удельный расход топлива сравниваемых агрегатов можно определить из соотношения:

$$Q_{\text{удн}} = (K_{\text{т}}^{\text{н}} Q_{\text{уд}}^{\text{б}}) / K_{\text{т}}^{\text{б}}, \quad (11)$$

где $K_{\text{т}}^{\text{н}}$ и $Q_{\text{уд}}^{\text{н}}$ – соответственно коэффициент тары и удельный расход нового агрегата; $K_{\text{т}}^{\text{б}}$ и $Q_{\text{уд}}^{\text{б}}$ – соответственно коэффициент тары и удельный расход базового агрегата.

С увеличением грузоподъемности транспортного агрегата повышается его коэффициент полезного действия. На рис. 1 нанесена кривая изменения КПД ($g_{\text{п}}$) в зависимости от грузоподъемности.

$$g_{\text{п}} = Q_{\text{уд}}^{\text{т}} / Q_{\text{уд}}, \quad (12)$$

где $Q_{\text{уд}}^{\text{т}}$ – затраты на перемещение собственной массы агрегата.

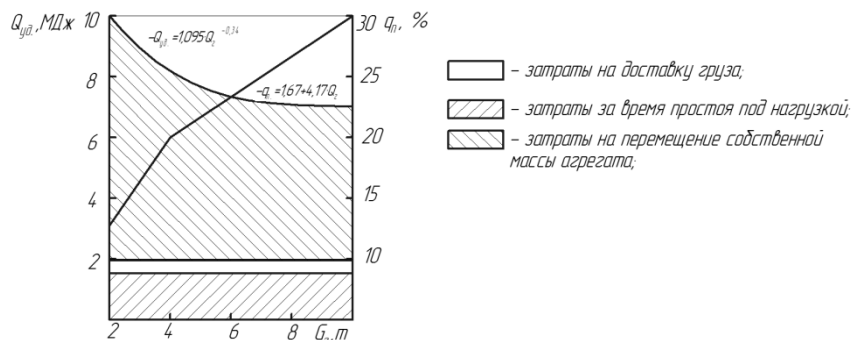


Рис. 1. Зависимость энергозатрат от грузоподъемности

Из рисунка видно, что КПД увеличивается вдвое при росте грузоподъемности с 2 до 8 тонн, но достигает максимальной величины только в 35%.

Поскольку количество рейсов погрузчика-авто-самосвала и транспортных агрегатов будет одинаково, с ростом их грузоподъемности

производительность ГАЗ-66 уменьшается при перевозке груза на малое расстояние. От замены базы погрузчика МТЗ-80 на ГАЗ-66 энергозатраты МДж/т сократятся в 1,5 раза. Новые показатели помещены в п.3 табл. 5. Удельная энергоёмкость по комбинированной схеме определена как средняя от использования на перевозке двух тракторных транспортных агрегата и одного автомобиля. Замена тракторного

энергосредства автомобильным и работа звена по комбинированной схеме позволит высвободить трактор с прицепом. Работа по комбинированной схеме с учетом прямых энергозатрат выгодна при замене прицепа грузоподъемностью 4-4,5 тонны, а с учетом полных энергозатрат – при грузоподъемности 6-7 тонн.

Таблица 5. Показатели энергозатрат погрузчика на шасси ГАЗ-66

№ п/п	Наименование	W _п	Грузоподъемность, т			
			2	4	6	8
1	производительность W _п , т/час	30	6,0	7,5	8,5	9,4
		90	6,6	8,8	10,9	12,4
2	прямые энергозатраты, МДж/час	30	16,6	13,3	11,7	10,6
		90	15,1	11,3	9,1	7,8
3	косвенные энергозатраты на погрузчик, МДж/час	30	5,3	4,2	3,8	3,4
		90	9,2/6,1	6,9/4,6	5,6/3,7	4,8/3,2
4	косвенные энергозатраты на МТЗ-80 + прицеп, МДж/час	30	11,6	11,4	14,1	13,8
		90	10,6	9,7	11,0	10,2
5	суммарные косвенные энергозатраты, МДж/час	30	16,9	15,6	17,9	17,2
		90	19,8	16,6	16,4	15,0
6	общие удельные энергозатраты (1 пог + 3 тр.ср.), МДж/час	30	33,5	28,9	28,6	27,9
		90	34,9	27,9	25,7	22,8
7	производительность авт.-самогруз, т/час	90	11,5	7,7	6,3	5,2
8	прямые энергозатраты (комбин. схема), МДж/час	90	10,8	10,8	10,8	10,8
9	косвенные энергозатраты (комбин. схема), МДж/час	90	8,6	12,9	15,8	19,2
10	снижение общих удельных энергозатрат, МДж/час	90	-3,1	-2,3	-1,9	-1,6
11	общие удельные энергозатраты (комбин. схема), МДж/час	90	19,4	23,7	26,6	30,0
12	средние энергозатраты звена (комбин. схема), МДж/час	90	27,6	24,9	24,7	24,1

Выводы: для условий Республики Татарстан стоимость одного часа работы трактора типа МТЗ-80 обходилась 85,75 руб./час, а стоимость простоя с учетом потерь продукции доходила до 17,2 руб./час. Из общего числа рабочих дней – 12881 день составили незначительные простои МТЗ, которые не влияли на изменение стоимости часа работы. В остальные 47 рабочих дней стоимость часа простоя значительно увеличивалась. На практике не всегда удается комплектовать состав звена с учетом более полной загрузки погрузчика. На ожидание транспортных средств уходит от 10 до 35% сменного времени погрузчика. Простой погрузчика можно исключить, если организовать работу по комбинированным схемам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Артемьев, П.П. Тракторные поезда. – М.: Машиностроение, 1982. 183 с.
2. Габдуллин, Т.Р. Разработка лесопильного узла к одноковшовому экскаватору // Механизация строительства. 2015. №8 (854). С. 6-8.
3. Зимагулов, А.Х. Повышение тягово-цепных качеств колесных тракторов / А.Х. Зимагулов, А.К. Юлдашев. – Казань: Татарское книжное издательство, 1975. 64 с.
4. Косачев, Г.Г. Экономическая оценка сельскохозяйственной техники. – М.: Колос, 1978. 240 с.
5. Махмутов, М.М. Повышение функциональных качеств колесных движителей с устройствами противоскольжения. – Казань, 2006. 160 с.
6. Махмутов, М.М. Оптимизация параметров конусности стойки устройства противоскольжения // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2013. № 6. С. 31-33.
7. Махмутов, М.М. Параметры упаковок различных типов грунтов / М.М. Махмутов, Р.Л. Сахапов // Известия КГАСУ. 2015. №2. С. 294-299.
8. Махмутов, М.М. Влияние исследуемых факторов на производительность снегоуборочной машины / М.М. Махмутов, Р.Л. Сахапов // Известия КГАСУ. 2015. №4. С. 455-460.
9. Скотников, В.А. и др. Основы теории и расчета трактора и автомобиля. – М.: Агропромиздат, 1986. 383 с.
10. Павлов, Б.В. Проектирование комплексной механизации сельскохозяйственных предприятий / Б.В. Павлов, П.В. Пушкарева, П.С. Щеглов – М.: Колос, 1982. 288 с.
11. Сахапов, Р.Л. Механико-технологическое обоснование параметров ресурсосберегающих культиваторов: диссертация ... д.т.н. – Казань, 2002. 381 с.
12. Севернев, М.М. Проблема разработки энерго- и металлосберегающих технологий в сельскохозяйственном производстве. – М.: ЦИИМЭСХ. 1984. Вып. 27. 120 с.
13. Sakhapov, R.L. Integration of universities and business as the condition of formation of the innovative economy / R.L. Sakhapov, S.G. Absalyamova / in the collection: 2013 International Conference on Interactive Collaborative Learning, ICL 2013. 2013. P. 189-191.
14. Sakhapov, R.L. Modeling the dynamics of the chassis of construction machines / R.L. Sakhapov, R.V. Nikolaeva, M.H. Gatiyatullin, M.M. Makhmudov // Journal of Physics: Conference Series. 2016. T. 738. №1. P. 119-121.

EVALUATION OF COMBINED MACHINES WITH LOAD-LIFTING DEVICES

© 2017 R.L. Sakhapov¹, M.M. Makhmutov², M.M. Zemdikhanov¹, M.M. Makhmutov¹

¹Kazan State University of Architecture and Engineering

²Russian State Agricultural Correspondence University

The existing machines with load-lifting devices can be divided into 2 groups. Loaders independent concern to the first group: Karpatets; PE-F-1A and PG-0,2A. To the second group manipulators: MPU-0,5 and MPB-0,5. Earlier loaders of clamshell type were considered removable, but in process of growth of their loading capacity they became independent as on their dismantling from the tractor 1,5-2 days are required. MPU-0,5 manipulators are intended for self-loading of tractor trains and can't replace loaders as have poor performance.

Key words: tractor, load-lifting machine, manipulator, block modular scheme, metal consumption, productivity

Rustem Sakhapov, Doctor of Technical Sciences, Professor.

E-mail: rustem@sakhapov.ru

Mansur Makhmutov, Doctor of Technical Sciences, Associate

Professor. E-mail: mansur.mahmutov@yandex.ru

Minsur Zemdikhanov, Candidate of Technical Sciences,

Associate Professor. E-mail: mr.minsur@mail.ru

Marat Makhmutov, Candidate of Technical Sciences, Senior

Lecturer. E-mail: maratmax@yandex.ru