

УДК 539.3 (621.878)

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ТЯГОВОЙ РАМЫ СКРЕПЕРА

Нилов В.А.¹, Федоров Е.В.²

¹ - Воронежский государственный технический университет (Воронеж, Россия)

² - Учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (Воронеж, Россия)

В работе рассмотрены вопросы нагружения тяговой рамы скрепера на тяговом и транспортном режимах. При копании грунта исследован случай передачи тягового усилия трактора непосредственно на ковш, минуя тяговую раму. Установлено благоприятное влияние на напряженно-деформированное состояние тяговой рамы скрепера её разгрузки от тягового усилия трактора.

Ключевые слова: Скрепер, тяговая рама, суммарные напряжения, деформация.

DOI: 10.22281/2413-9920-2018-04-02-170-179

Скреперные агрегаты выполняют значительный объем земляных работ в дорожном и мелиоративном строительстве, их часто применяют на вскрышных карьерных работах [1]. Как правило, тягач скреперного агрегата и ковш скрепера соединяют тяговой рамой, имеющей значительную массу и габариты.

На тяговом и транспортном режимах работы скреперного агрегата тяговая рама испытывает значительные нагрузки, которые определяют расчетные положения, необходимые для выполнения прочностных расчетов металлоконструкций. Теория и практика создания скреперных агрегатов выработала несколько основных расчетных положений [2]. В работах [3, 4] показана острая необхо-

димость и реальная возможность уменьшения высоты приложения тяговой нагрузки к трактору скреперного агрегата со стороны ковша скрепера (например, скрепер ДЗ-87-1 (рис. 1) на базе двухосного колесного трактора).

Такое конструктивное решение [4] не только уменьшает перераспределение вертикальных нагрузок на мосты колесного тягача, но и полностью разгружает тяговую раму скрепера от значительных растягивающих нагрузок при копании. На транспортном режиме (рис. 2) сила тяги трактора 1 передается на ковш 2 через седельное шаровое устройство 3 и тяговую раму 4. Для копания грунта (рис. 3) оператор перемещает шаровое седельное-сцепное устройство 3 ближе к



Рис. 1. Полуприцепной скрепер ДЗ-87-1 с шаровым седельно-сцепным устройством

тягачу 1 и опускает ковш 2. При этом буксирная скоба 5 входит в зацепление с буксирным крюком 6 тягача 1. В результате сила тяги тягача 1 передается на ковш 2 при копании грунта, минуя тяговую раму 4.

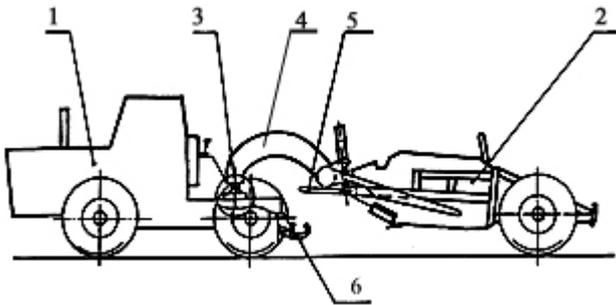


Рис. 2. Транспортировка грунта:
1 – тягач; 2 – ковш; 3 – шаровое седельно-сцепное устройство; 4 – рама тяговая;
5 – скоба буксирная; 6 – крюк буксирный

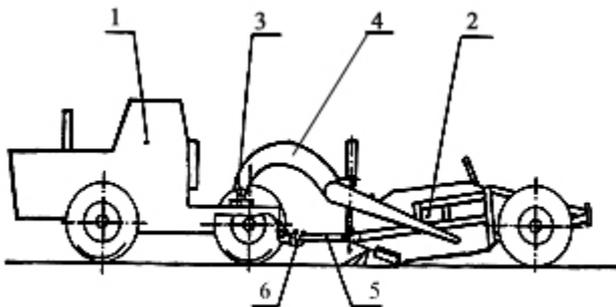


Рис. 3. Копание грунта:
1 – тягач; 2 – ковш; 3 – шаровое седельно-сцепное устройство; 4 – рама тяговая;
5 – скоба буксирная; 6 – крюк буксирный

Вопрос влияния разгрузки тяговой рамы скрепера от тягового усилия трактора на её напряженно-деформированное состояние рассмотрен в [5]. В настоящей работе полученный материал приводится в расширенном изложении и затрагивает не только тяговый, но и транспортный режим работы скреперного агрегата. Рассмотрим расчетные положения тягового и транспортного режимов полуприцепного скрепера [2].

Тяговой режим. Занимает у колесных скреперов около 20% времени цикла. Скрепер разрабатывает грунт под уклон и без толкача. Ковш скрепера заполнен грунтом на 80%, на скрепер действует максимальное тяговое усилие трактора T с учетом проекции веса трактора на направление движения. Глубина резания минимальная, динамиче-

ские нагрузки незначительны. Ковш выглубляют, вертикальная составляющая усилия копания $P_2 = 0,5P_1$ и направлена вниз.

Транспортный режим. Занимает у колесных скреперов до 80% времени цикла. Скрепер движется по горизонтальной неровной поверхности с ковшом, заполненным «шапкой». На машину действуют активные силы – вес груженого скрепера $\kappa_\delta * G$, окружная сила на ведущих колесах P_k и реактивные нормальные реакции грунта на колеса, силы сопротивления качению P_f на колесах. Расчетная величина веса скрепера определена с учетом коэффициента динамичности, который для самоходных скреперов следует принимать $\kappa_\delta = 2,0$. Для полуприцепного скрепера к двухосному тягачу κ_δ можно принимать равным 1,5.

Исходные данные для расчета тяговой рамы приведены в табл. 1.

Таблица 1

Исходные данные для расчета тяговой рамы

Тяговой режим		
1	T – тяговое усилие трактора, кН	75,33
2	$P_{ин}$ – сила инерции ковша с грунтом, кН	13,88
3	G_p – вес рамы тяговой, кН	9,61
4	G_k – вес ковша скрепера, кН	15,0
5	G_{gp} – вес грунта в ковше, кН	57,6
6	P_1 – усилие на ноже горизонтальное, кН	89,21
7	P_2 – усилие на ноже вертикальное, кН	44,6
8	Уклон забоя, град	15
Транспортный режим		
1	$T=R_2f$ – тяговое усилие трактора, кН	7,0
2	$G_p=\kappa_\delta G_p$ – вес рамы тяговой, кН	14,4
3	$G_k=\kappa_\delta G_k$ – вес ковша скрепера, кН	22,5
4	$G_{gp}=\kappa_\delta G_{gp}$ – вес грунта в ковше, кН	118,8

Исследование напряженно-деформированного состояния тяговой рамы выполнено в одинаковых с работой [5] условиях с помощью программы АРМ, интегрированной в графический редактор «Компас» версии 16.1. Расчет выполнен для исходных данных, приведенных выше в табл. 1, для трех расчетных случаев нагружения тяговой рамы:

- первый расчетный случай – сила тяги трактора T приложена к шаровому шарниру арки-хобота;

- второй расчетный случай – сила тяги T приложена непосредственно к ковшу, минуя тяговую раму;

- третий расчетный случай – транспортный режим скрепера.

На рис. 4 представлены схемы сил, действующих на ковш скрепера и его тяговую раму при копании грунта.

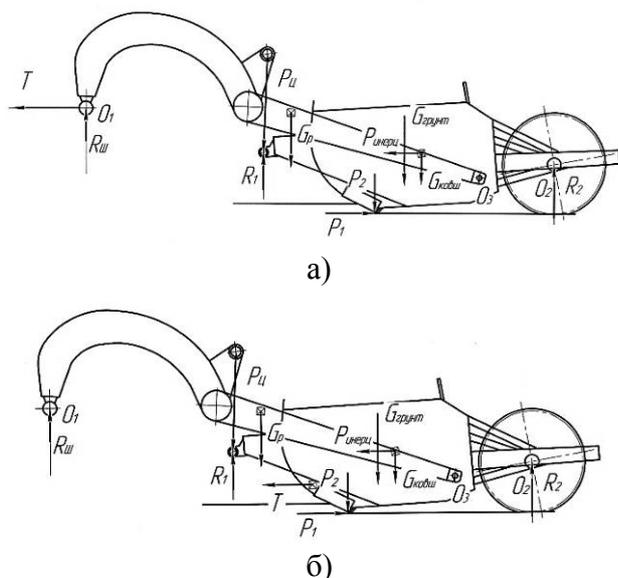


Рис. 4. Схемы нагружения тяговой рамы скрепера при копании грунта, сила тяги трактора приложена: а - к шаровой опоре; б - непосредственно к ковшу

Расчет выполнен для материала тяговой рамы с пределом текучести 235 МПа. При построении конечноэлементной сетки длина конечного элемента принята величиной 18 мм. Поскольку тягач и скрепер не имеют общей рамы, то при назначении закреплений принято закрепление в упряжном шарнире по всем трем осям, а шаровая опора по оси X имеет

возможность перемещения (не закреплена). Объемная модель тяговой рамы скрепера приведена на рис. 5.

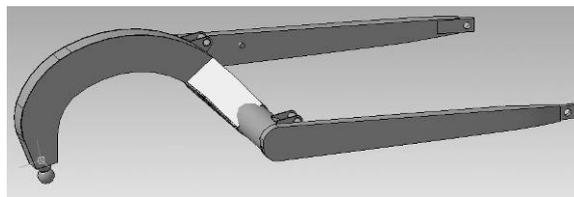


Рис. 5. Объемная модель тяговой рамы скрепера

На рис. 6-11 представлены результаты исследования напряженно-деформированного состояния тяговой рамы при копании грунта (первое и второе расчетные положения), а на рис. 12-14 – результаты на транспортном режиме скрепера (третье расчетное положение).

В табл. 2 даны внешние нагрузки, действующие на ковш скрепера и его тяговую раму в расчетных положениях копания и транспортирования грунта, а в табл. 3 – нагрузки, действующие на тяговую раму в этих расчетных положениях.

Интересно отметить, что разгрузка тяговой рамы скрепера от значительного тягового усилия трактора $T = 75,33$ кН приводит к незначительному уменьшению усилия (табл. 3) в гидроцилиндрах ковша P_u , при этом вертикальная реакция на шаровой опоре R_u значительно уменьшается (с 63,88 кН до 50,0 кН, т.е. на 21,7%). Вертикальная реакция в упряжном шарнире R_3 (точка O_3 на рис. 4) при этом возрастает (с 29,2 кН до 42,3 кН, Вертикальная реакция в упряжном шарнире R_3 (точка O_3 на рис. 4) при этом возрастает (с 29,2 кН до 42,3 кН, т.е. на 44,8%).

Таблица 2

Расчетные положения и внешние нагрузки

Расчетные положения	Внешние нагрузки, кН						
	T	G_p	G_k	G_{gp}	$P_{ин}$	P_1	P_2
Копание грунта (сила тяги приложена к тяговой раме)	75,33	9,61	15	57,6	13,88	89,21	44,6
Копание грунта (сила тяги приложена к ковшу)	-	9,61	15	57,6	13,88	89,21	44,6
Транспортирование грунта ($\kappa_d=1,5$)	7,0	14,41	22,5	118,8	-	-	-

Примечание. Вертикальная составляющая P_2 силы копания приложена вниз.

Таблица 3

Расчетные положения и нагрузки в металлоконструкциях тяговой рамы

Расчетные положения	Нагрузки в элементах металлоконструкции, кН			
	$R_{ш}$	$P_{ц}$	R_3	R_2
Копание грунта (сила тяги приложена к тяговой раме)	63,88	82,76	29,2	62,92
Копание грунта (сила тяги приложена к ковшу)	50	82,18	42,3	75,13
Транспортирование грунта ($\kappa_d=1,5$)	53,82	91,39	50	100

Внешние нагрузки на тяговую раму на транспортном режиме изменяются неоднородно. Вертикальная нагрузка на шаровую опору $R_{ш}$ уменьшается (с 63,88 кН до 53,82 кН, т.е. на 15,7%), усилие в гидроцилиндрах подъема ковша увеличивается (с 82,76 кН до 91,39 кН, т.е. на 10%). Значительно увеличиваются вертикальные нагрузки в упругом шарнире R_3 (с 29,2 кН до 50 кН, т.е. на 71,2%) и на задний мост ковша R_2 (с 62,92 кН до 100 кН, т.е. на 58,9%).

Данные, приведенные на рис. 6 и 7, свидетельствуют о существенном нагружении всех элементов тяговой рамы и значительных перемещениях её элементов (4,29...5,45 мм). Причем, максимальные перемещения зафиксированы в поперечной балке, где суммарные напряжения не являются максимальными и составляют всего 25,3 МПа. Максимальные суммарные напряжения зафиксированы в нижнем поясе арки-хобота (154,2 МПа) и шаровой опоре (163,8 МПа).

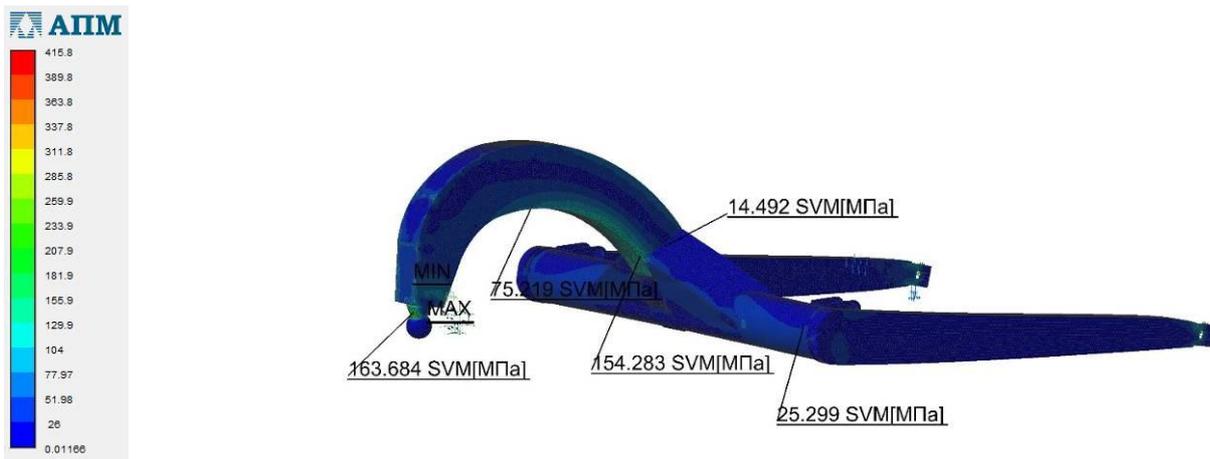


Рис. 6. Суммарные напряжения в тяговой раме при копании грунта (тяговая нагрузка передается через неё)

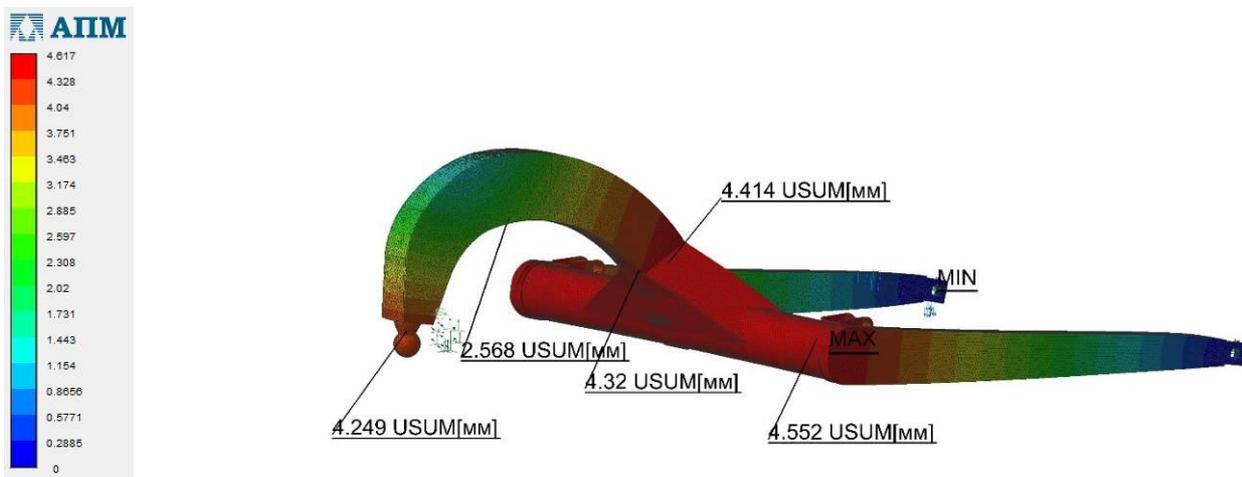


Рис. 7. Суммарные перемещения в тяговой раме при копании грунта (тяговая нагрузка передается через неё)

Как видно из данных, приведенных на рис. 6-8, сила тяги тягача T и вертикальная реакция R_2 в шаровом шарнире (рис. 4, а) нагружают арку-хобот тяговой рамы существенным изгибающим моментом, создавая значительные растягивающие напряжения по её нижнему периметру. Коэффициент запаса по пределу текучести составляет всего 1,39...1,85 (рис. 8), что недостаточно для нормальной эксплуатации тяговой рамы при таких расчетных нагрузках и требует перехода на малолегированную сталь 10ХСНД вместо стали 20 или усиления нижнего пояса арки-хобота тяговой рамы.

Разгрузка тяговой рамы от усилия тягача существенно улучшает её напряженно-деформированное состояние. Суммарные напряжения составляют 63,2...48,5 МПа (уменьшаются на 61,3...68,6%), перемещения составляют всего 0,93...2,13 мм (уменьшаются на 78...50,7%).

Коэффициент усталостной прочности по пределу текучести (рис. 11) увеличивается до значений 3,7...9,5 (на 64...66,3%). Это объясняется тем, что одновременно с исключением силового воздействия на тяговую раму со стороны тягача одновременно уменьшается и величина вертикальной реакции R_2 на шаровую опору.

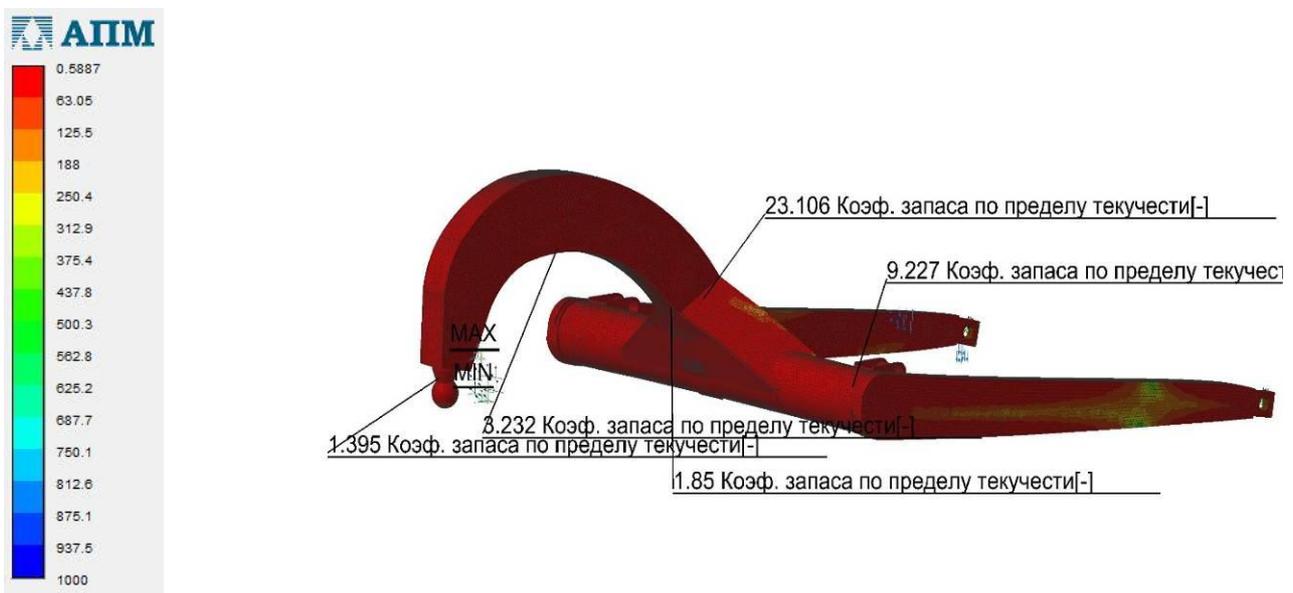


Рис. 8. Коэффициент запаса в тяговой раме при копании грунта (тяговая нагрузка передается через неё)

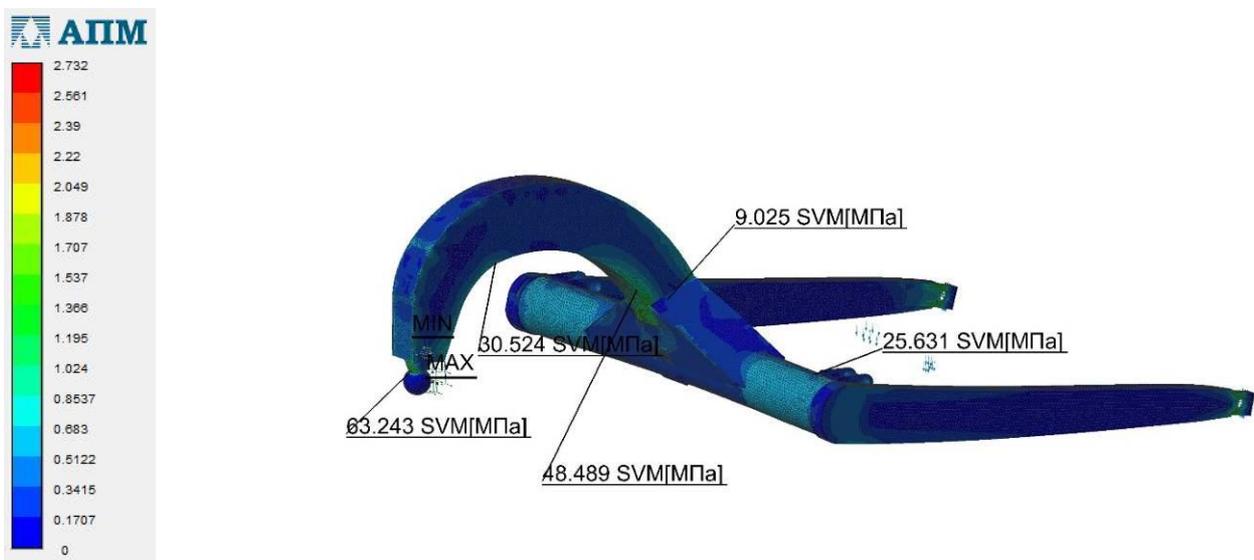


Рис. 9. Суммарные напряжения в тяговой раме при копании грунта (тяговая нагрузка передается сразу на ковш)

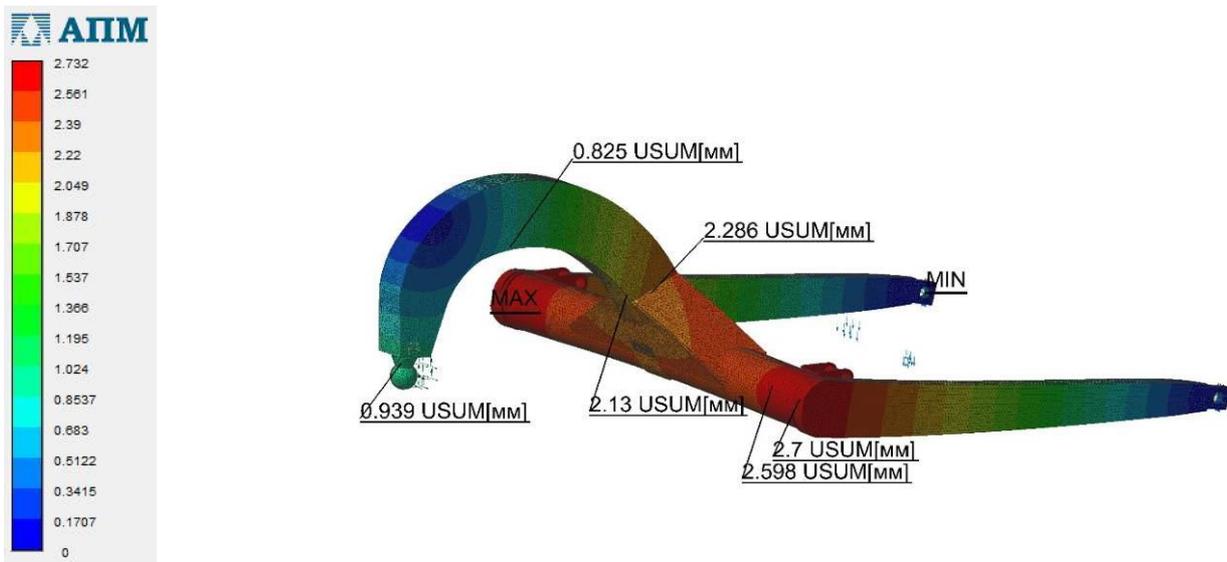


Рис. 10. Суммарные перемещения в тяговой раме при копании грунта (тяговая нагрузка передается сразу на ковш)



Рис. 11. Коэффициент запаса в тяговой раме при копании грунта (тяговая нагрузка передается сразу на ковш)

В целом, полученные результаты подтверждают существенное улучшение напряженно-деформированного состояния тяговой рамы и особенно её наиболее нагруженной части – арки-хобота.

Исследование напряженно-деформированного состояния тяговой рамы на транспортном режиме иллюстрируют рис. 12-14. Они свидетельствуют о том, что максимальные суммарные напряжения в арке-хоботе тяговой рамы в этом случае составляют 52, 3...80,8 МПа, что существенно меньше суммарных напряжений при копании грунта, рис. 6.

Суммарные перемещения в арке-хоботе, также уменьшаются и составляют всего 1,21...2,47 мм, что соответствует перемещениям в арке-хоботе, когда тяговая рама разгружена от силы тяги трактора (рис. 10).

Коэффициент запаса по пределу текучести арки-хобота (рис. 14) превышает аналогичный показатель для копания грунта (рис. 8) примерно на 49...61%.

В табл. 4 и 5 приведены сводные результаты расчета напряженно-деформированного состояния тяговой рамы.

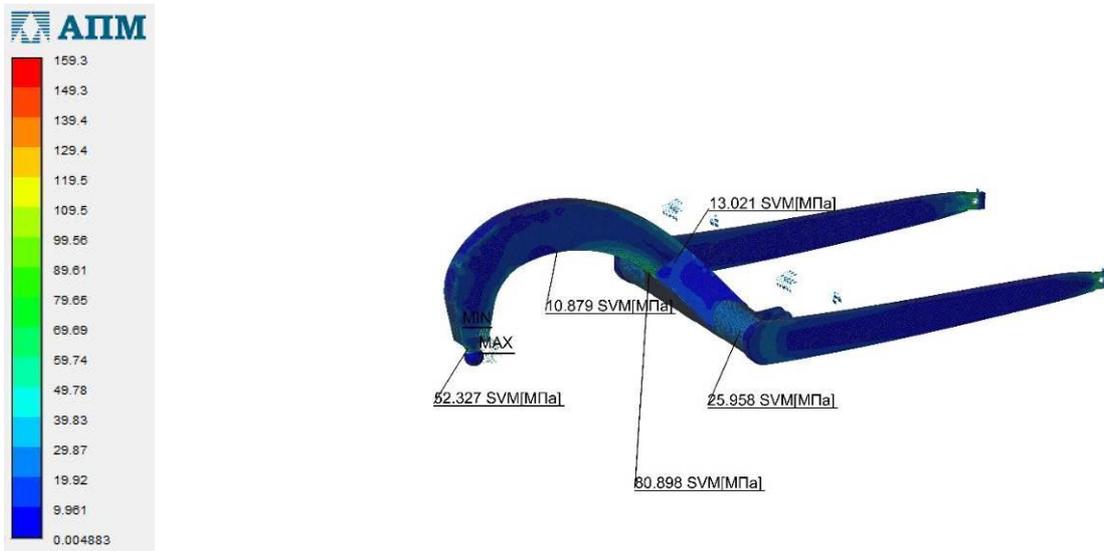


Рис. 12. Суммарные напряжения в тяговой раме на транспортном режиме

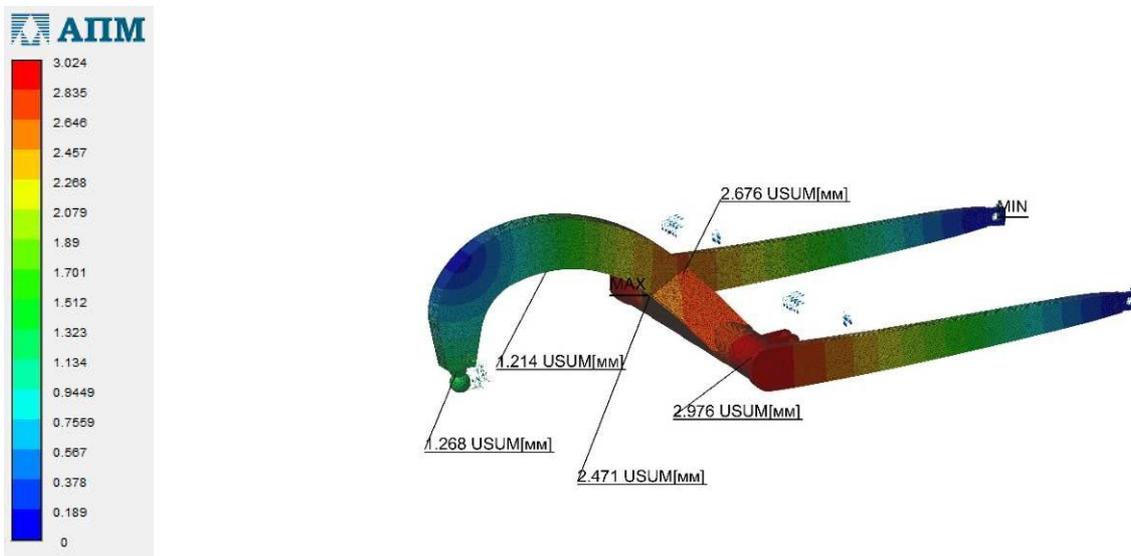


Рис. 13. Суммарные перемещения в тяговой раме на транспортном режиме

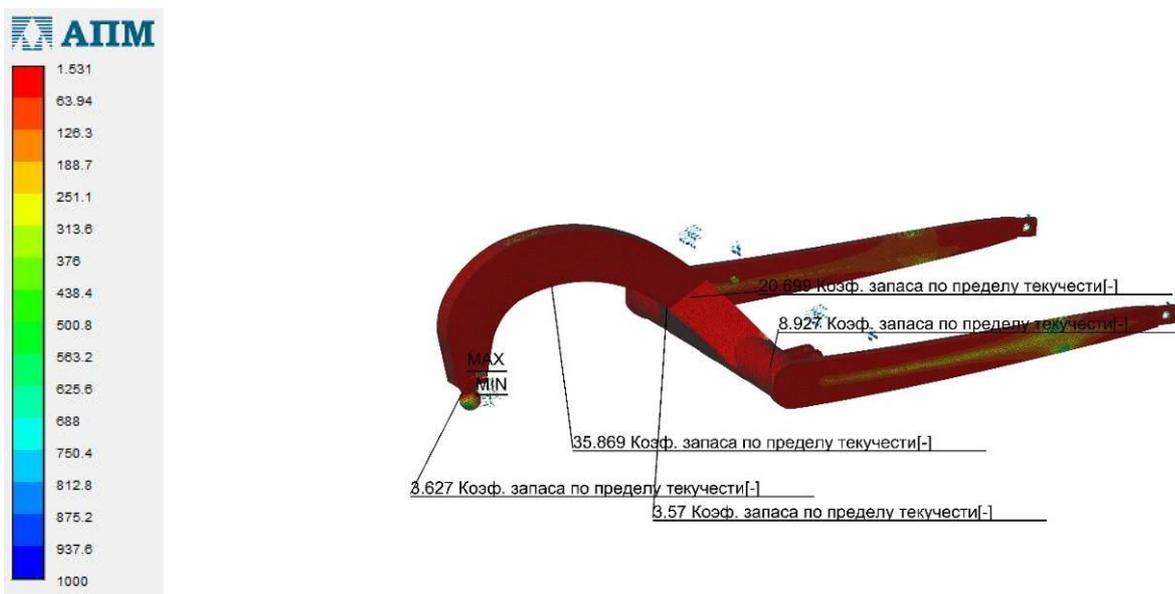


Рис. 14. Коэффициент запаса в тяговой раме на транспортном режиме

Таблица 4

Напряженно-деформированное состояние тяговой рамы скрепера

Расчетные положения	Места измерений											
	Шаровая опора			Средина арки-хобота			Стык арки-хобота и поперечной балки			Поперечная балка		
	σ , МПа	S , мм	К-т запаса	σ , МПа	S , мм	К-т запаса	σ , МПа	S , мм	К-т запаса	σ , МПа	S , мм	К-т запаса
Копание грунта (сила тяги приложена к тяговой раме)	163,7	4,25	1,39	75,2	2,57	3,23	14,5	4,14	23,1	25,3	4,5	9,22
Копание грунта (сила тяги приложена к ковшу)	63,2	0,94	33,8	30,5	0,82	9,5	9,0	2,28	18,4	25,6	2,7	9,6
Транспортирование грунта ($\kappa_0=1,5$)	52,3	1,27	3,62	10,8	1,21	35,8	13,0	2,67	20,7	25,9	2,97	8,92

Примечание: Коэффициент запаса определяется по пределу текучести материала.

Таблица 5

Максимальные параметры нагружения тяговой рамы (переход арки-хобота в поперечную балку)

Расчетные положения	Место измерения: арка-хобот, до стыка с поперечиной		
	σ , МПа	S , мм	Коэффициент запаса
Копание грунта (сила тяги приложена к тяговой раме)	154	4,32	1,85
Копание грунта (сила тяги приложена к ковшу)	48,49	2,13	4,46
Транспортирование грунта ($\kappa_0=1,5$)	80,9	2,47	3,57

Табл. 4 показывает, что напряженно-деформированное состояние поперечной балка тяговой рамы практически не зависит от режима работы скрепера, тогда как наиболее нагруженным элементом является арка-хобот тяговой рамы (место перехода арки-хобота в поперечную балку).

Выполненные исследования свидетельствуют о благоприятном влиянии на напряженно-деформированное состояние тяговой рамы её разгрузки от силы тяги трактора при копании грунта и подтверждают целесообразность передачи тягового усилия трактора непосредственно на ковш, минуя тяговую раму. При этом нагружение тяговой рамы примерно соответствует её состоянию при транспортировании грунта (табл. 4), а наиболее нагруженная её часть – (переход арки-хобота в поперечную балку) нагружается меньше, чем на транспортном режиме (табл. 5).

речную балку) нагружается меньше, чем на транспортном режиме (табл. 5).

Выводы.

1. Разгрузка тяговой рамы от усилия трактора при копании грунта благотворно сказывается на её напряженно-деформированном состоянии.

2. Напряженно-деформированное состояние тяговой рамы при передаче силы тяги трактора непосредственно на ковш, минуя арку-хобот, улучшается и примерно соответствует её напряженно-деформированному состоянию при транспортировании грунта.

3. Наиболее нагруженная часть тяговой рамы – арка-хобот при этом испытывает меньшие нагрузки, чем на транспортном режиме.

Список литературы

1. Майнминд, В.Я., Арсентьев А.И. Скреперные комплексы на открытых горных разработках / В.Я. Майнминд, А.И. Арсентьев. - М.: Недра, 1976. - 204 с.
2. Артемьев, К.А. Теория и расчет скреперов и скреперных агрегатов / К.А. Артемьев, В.А. Борисенков. - Воронеж: Изд-во ВГУ, 1996. - 344 с.
3. Борисенков, В.А. Испытания полуприцепного скрепера с шаровым седельно-сцепным устройством / В.А. Борисенков, В.А. Нилов, А.В. Гаврилов // Механизация строительства. - 2003. - № 2. - С. 2-5.
4. Патент 2209887, МКИ E02F 3/64. Скрепер / В.А. Нилов, А.В. Великанов, А.А. Косенко, А.В. Гаврилов. - Заявл. 21.03.2002, № 2002107262. Опубл. 10.08.2003. Бюл. № 22.

5. Нилов, В.А. Исследование нагруженности тяговой рамы скрепера с шаровым седельным устройством / В.А. Нилов В.А., Д.А. Степанченко // Высокие технологии в строительном комплексе. - 2018. - № 1. - С 132-135.

Сведения об авторах

Нилов Владимир Александрович – доктор технических наук, профессор, профессор ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», *vladnil1014@mail.ru*.

Федоров Евгений Владимирович – кандидат технических наук, преподаватель ФГК ВОУ ВПО «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)», *geka.fv@mail.ru*.

INVESTIGATION OF THE STRESS-STRAIN STATE OF THE SCRAPER TRACTION FRAME

Nilov V.A.¹, Fedorov E.V.²

¹ - Voronezh State Technical University (Voronezh, Russian Federation)

² - Military educational scientific center air force "Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin" (Voronezh, Russian Federation)

The paper deals with the loading of the scraper traction frame in the traction and transport modes. When digging the soil, the case of transferring the traction force of the tractor directly to the ladle was examined, bypassing the traction frame. A favorable effect on the stress-strain state of the traction frame of the scraper of its unloading from the traction force of the tractor has been established.

Keywords: Scraper, traction frame, total stresses, deformation.

DOI: 10.22281/2413-9920-2018-04-02-170-179

References

1. Meinmind V.Yu., Arsentyev A.I. Scraping complexes on open mining. Moscow, Nedra, 1976. 204 p. (In Russian)
2. Artemiev K.A., Borisenkov V.A. Theory and calculation of scrapers and scraping aggregates tutorial. Voronezh, Publishing House of VSU, 1996. 344 p. (In Russian)
3. Borisenkov V.A., Nilov V.A., Gavrilov A.V. Tests of a semi-trailer scraper with a spherical fifth wheel coupling device.

Mekhanizatsiya stroitelstva, 2003, No. 2, pp. 2-5. (In Russian)

4. Patent RU 2209887, MКИ E02F 3/64. Scraper. Nilov V.A., Velikanov A.V., Kosenko A.A., Gavrilov A.V. Declared 21.03.2002. Published 10.08.2003. Bulletin No. 22. (In Russian)

5. Nilov V.A., Stepanchenko D.A. Study of the workload of the traction frame of a scraper with a spherical saddle device. High technologies in the construction complex, 2018, No.1, pp. 132-135. (In Russian)

Authors' information

Vladimir A. Nilov - Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor at Voronezh state technical University, *vladnil1014@mail.ru*.

Evgeniy V. Fedorov - Candidate of Technical Sciences, Lecturer at Military educational

scientific center air force “Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin”, *geka.fv@mail.ru*.

Дата принятия к публикации
(Date of acceptance for publication)
07.06.2018

Дата публикации
(Date of publication):
25.06.2018

