

УДК 539.3 (621.878)

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ КОМБИНИРОВАННОЙ НОЖЕВОЙ СИСТЕМЫ 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 исследования металлоконструкции комбинированной ножевой системы скрепера. Установлена необходимость усиления металлоконструкций совкового режущего органа комбинированной ножевой системы и введение в конструкцию быстродействующего устройства для её закрепления к подножевой плите на время разработки грунта.

Ключевые слова: скрепер, металлоконструкция, совковый режущий орган, деформация.

DOI: 10.22281/2413-9920-2018-04-01-40-47

В работах [1, 2] обоснована целесообразность применения комбинированной ножевой системы для скреперов. Преимущества такой ножевой системы заключаются в уменьшенной энергоёмкости разработки грунта и высокой технологичности выполнения скреперных работ. Особенность конструкции заключается в совмещении совкового режущего органа с конструкцией передней заслонки ковша скрепера (рис. 1). Такое конструктивное решение требует исследования металлоконструкций передней заслонки скрепера, поскольку серийная конструкция не проектировалась для восприятия усилий копания.

Для выполнения соответствующих расчетных работ теорией расчета скреперов [3] предусмотрены следующие расчетные положения:

1. Опускание передней заслонки для случая, когда между подножевой плитой и нижней кромкой заслонки попадает твердый недробимый предмет, препятствующий её полному закрыванию.

2. Рассматриваются силы, действующие на прицепной скрепер при наборе грунта под уклон и без толкача. Ковш заполнен грунтом на 80 %, на скрепер действует максимальное тяговое усилие трактора T_1 с учетом проекции веса трактора на направление движения (ковш выглубляют).

3. Рассматривается заполнение ковша на горизонтальной поверхности при максимальном возрастании интенсивности сопротивления на рабочем органе, когда ковш полностью заполнен грунтом, тягач реализует максимальное тяговое усилие по сцепле-

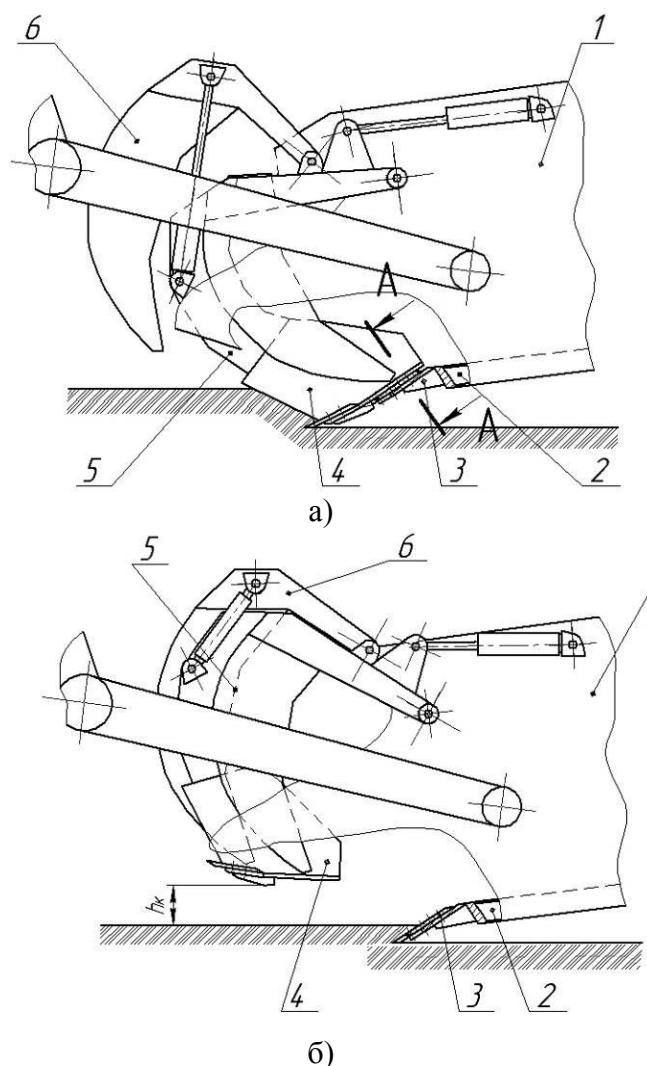


Рис. 1. Комбинированная ножевая система скрепера: а – копание совковым режущим органом; б – копание полной шириной ковша (1 – ковш скрепера; 2 – днище ковша; 3 – ножевая система ковша; 4 – совковый режущий орган; 5 – передняя заслонка скрепера; 6 – дополнительная заслонка)

нию, возникают динамические нагрузки, приложенные к прицепному устройству (от тягача) и в центре масс скрепера, на горизонтальной поверхности ковш заглубляют в грунт с максимальной скоростью.

Все три расчетных случая необходимы для исследования металлоконструкций комбинированной ножевой системы, а первый – только для серийных стандартных передних заслонок, которые не нагружены усилием копания.

Исследования выполнены для прицепного скрепера ДЗ-111 к гусеничному трактору Т-4АП2. Исходные данные для расчета приведены в табл. 1.

Таблица 1

Исходные данные

| № п/п | Параметры | Величина |
|----------------------------|--|----------|
| 1 | Сцепной вес трактора, кН | 80 |
| 2 | Коэффициент сцепления | 0,95 |
| 3 | Вес скрепера порожний, кН | 44,25 |
| 4 | Вместимость ковша скрепера, м ³ | 4,5 |
| 5 | Сила тяги трактора по двигателю, кН | 60 |
| 6 | Угол резания, град | 32 |
| 7 | Ширина резания ковша, м | 2,43 |
| 8 | Ширина резания совковым режущим органом, м | 1,45 |
| Первое расчетное положение | | |
| 9 | Максимальное усилие одного гидроцилиндра, кН | 94,2 |
| Второе расчетное положение | | |
| 10 | Усилие копания P_1 , кН | 74,4 |
| 11 | Вертикальное усилие на ноже P_2 , кН (выглубление) | 37,2 |
| Третье расчетное положение | | |
| 12 | Усилие копания P_1 , кН | 83,5 |
| 13 | Вертикальное усилие на ноже P_2 , кН (заглубление) | 10,9 |

Расчеты металлоконструкции выполнены в редакторе «Компас» методом конечных элементов (прочностной анализ АПМ FEM). В качестве материала принята сталь 20 ГОСТ 1050-88 с пределом текучести 232 МПа.

На рис. 2 и 3 показаны 3D-модели серийной передней заслонки и комбинированной ножевой системы. Комбинированная ноже-

вая система имеет значительный вырез в передней заслонке, что, безусловно, её ослабляет. Кроме того, для должного восприятия усилий копания выполнено усиление совкового режущего органа. Поэтому совковый режущий орган, вмонтированный в серийную переднюю заслонку, имеет усиление, как в задней части сверху наклонной пластиной с поперечным ребром, так и в передней – снизу, наклонным поперечным ребром с козырьками (рис. 4).

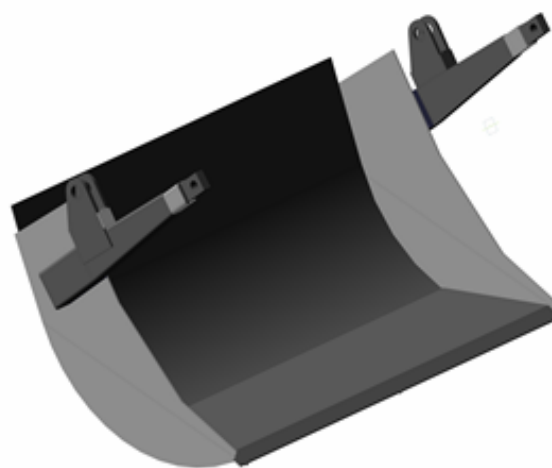


Рис. 2. 3D-модель серийной передней заслонки

На рис. 5 показаны эквивалентные напряжения и перемещения для стандартной передней заслонки в первом расчетном положении (при попадании недробимого предмета между заслонкой и подножевой плитой). На рис. 6 – тоже для комбинированной ножевой системы.

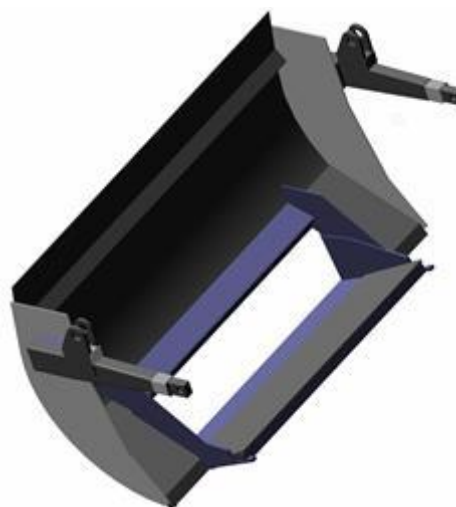


Рис. 3. 3D-модель комбинированной ножевой системы

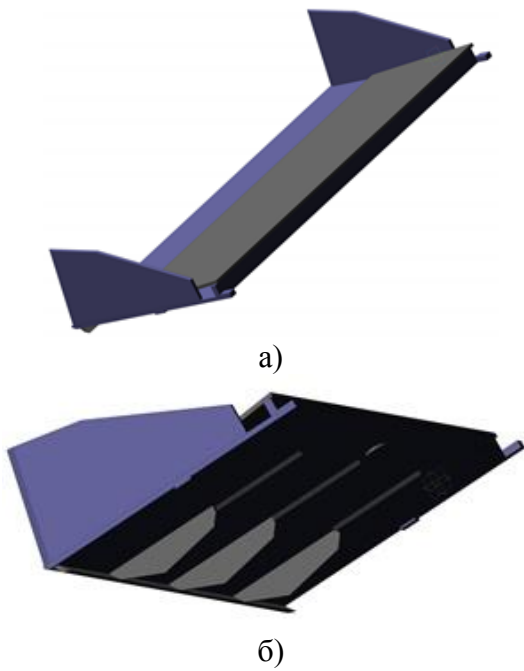


Рис. 4. 3D-модель совкового режущего органа:
а) усиление сверху; б) усиление снизу

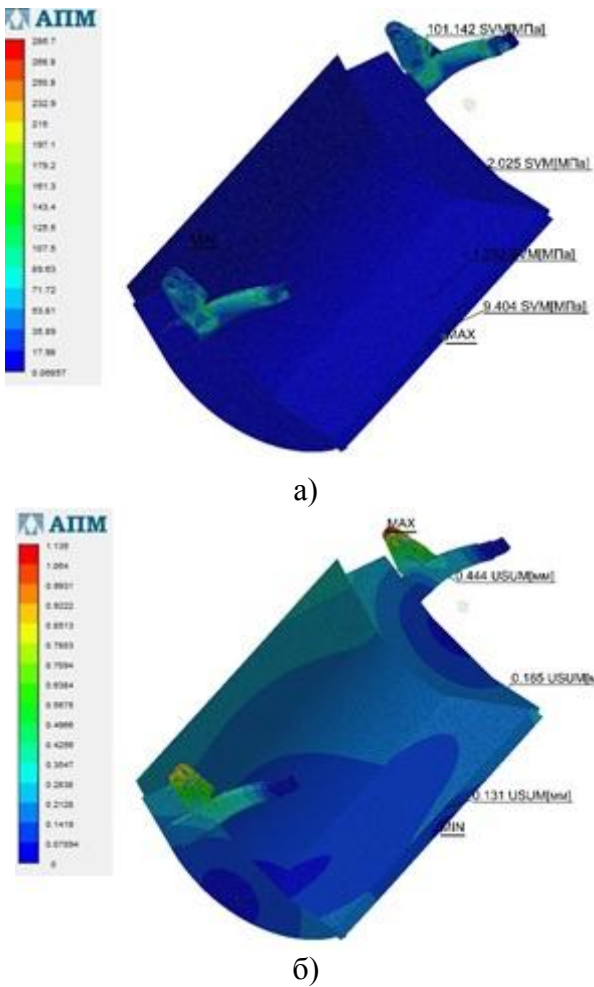


Рис. 5. Первое расчетное положение для стандартной передней заслонки:
а – эквивалентные напряжения;
б – перемещения

Из полученных данных (рис. 5) видно, что для серийной передней заслонки напряжения и перемещения в зоне недробимого препятствия находятся в допустимых пределах, а коэффициент запаса по текучести составляет 9,3. Для сравнения: перемещения в балках крепления передней заслонки к ковшу составляют 0,44 мм при коэффициенте запаса по пределу текучести 2,9.

Аналогичные показатели для комбинированной ножевой системы (рис. 6) за счет увеличения жесткости задней части совкового режущего органа меньше и составляют: эквивалентные напряжения 2...4 МПа, перемещения 0,015...0,032 мм при коэффициенте запаса по пределу текучести 62...67. Параметры деформации балок крепления к ковшу практически не изменились и составляют

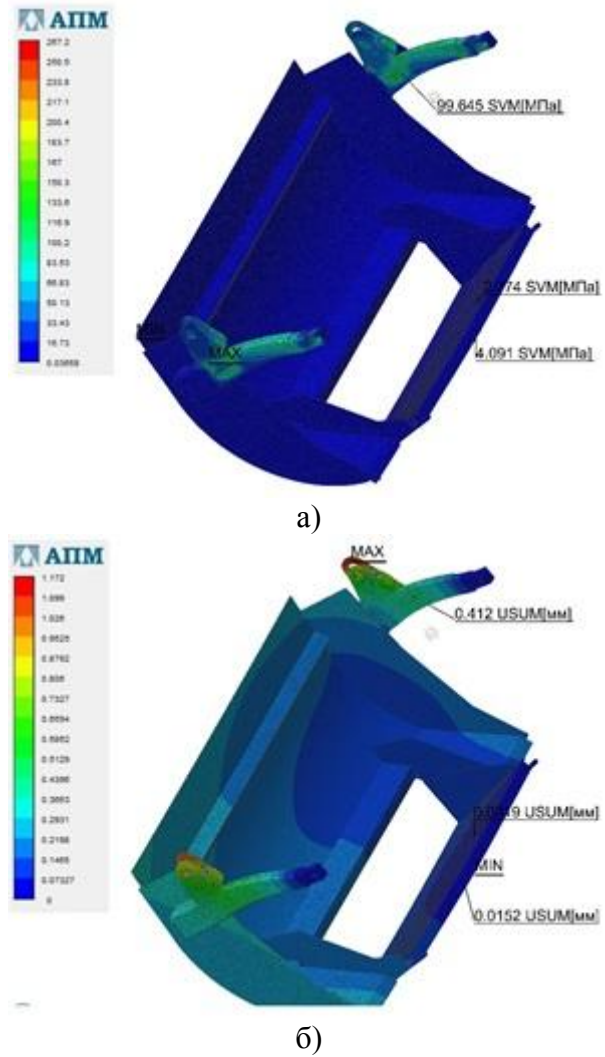


Рис. 6. Первое расчетное положение для комбинированной ножевой системы:
а – эквивалентные напряжения;
б – перемещения

0,412 мм при коэффициенте запаса по пределу текучести 2,9.

Поэтому можно утверждать, что проведенное усиление задней части совкового режущего органа (рис. 4, а) улучшает условия работы комбинированной ножевой системы в первом расчетном положении.

При расчете металлоконструкций большое значение имеет не только система приложенных сил и их величина, но также и условия закрепления. Поэтому последовательно рассмотрим их. На рис. 7 приведены параметры нагружения комбинированной ножевой системы во втором расчетном положении (выглубление ковша) при её закреплении в шарнирах крепления к ковшу и шарнирах присоединения гидроцилиндров (гидроцилиндры заперты и касание совкового режущего органа с подножевой плитой отсутствует). В этом случае эквивалентные напряжения на кромке ножей составляют 23,5...21,5 МПа при перемещениях 3,6...2,9 мм при коэффициенте запаса по пределу текучести 9,2...9,4.

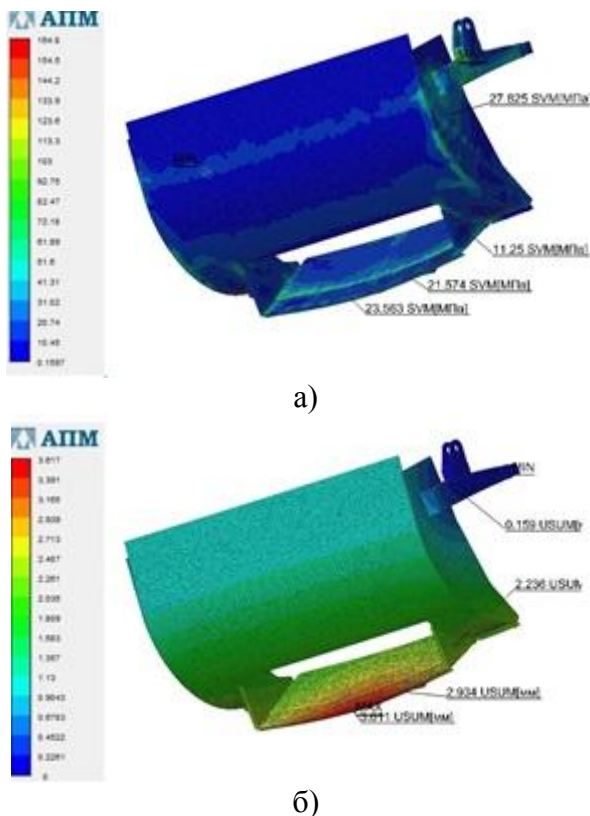


Рис. 7. Второе расчетное положение для комбинированной ножевой системы закрепление в шарнирах балок и гидроцилиндров: а – эквивалентные напряжения; б – перемещения

Усилия, возникающие при копании совковым режущим органом, необходимо сразу передать на подножевую плиту ковша. Если этого не предпринять, то они вызывают значительные напряжения и деформацию ножей совкового режущего органа (рис. 7). Аналогичная работа выполнена при исследовании конструкции роторно-наклонного механизма манипулятора [4]. С этой целью на кафедре «Строительной техники и инженерной механики» Воронежского государственного технического университета разработано быстродействующее устройство для закрепления совкового режущего органа к подножевой плите на время копания. Результаты такого закрепления приведены на рис. 8. Закрепление комбинированной ножевой системы к подножевой плите на время копания уменьшило эквивалентные напряжения в зоне ножей до 17,7...21,9 МПа, перемещения до 1,8...2,49 мм, а коэффициент запаса по пределу текучести повысился до 4,8...13,7.

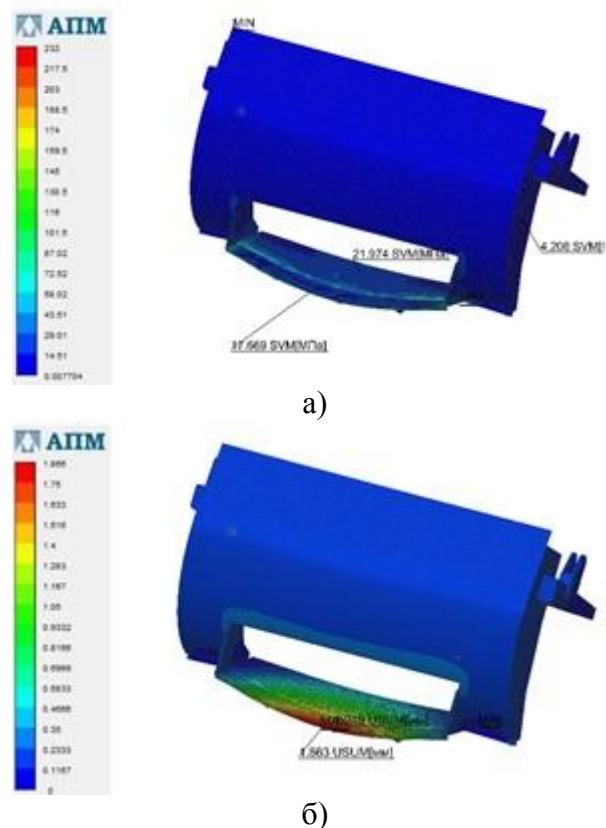


Рис. 8. Второе расчетное положение для комбинированной ножевой системы, закрепление в шарнирах балок и 4-х точках к подножевой плите, гидроцилиндры находятся в плавающем положении: а – эквивалентные напряжения; б – перемещения

Полученные показатели не следует считать достаточными, поэтому для уменьшения деформаций режущей части комбинированной ножевой системы была доработана её передняя часть (рис. 9). Доработка состояла в увеличении сечения режущей кромки и

придания ей выпуклой формы. Эти конструктивные изменения позволили существенно уменьшить величину максимальной деформации при копании, как во втором, так и в третьем расчетных положениях.

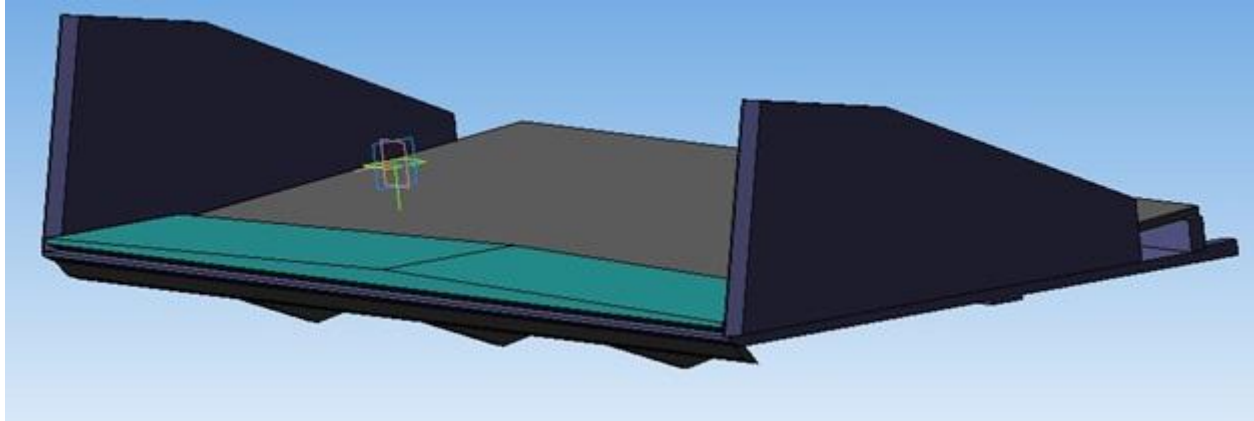


Рис. 9. Усиление конструкция передней части совкового режущего органа

Как видно из данных, приведенных на рис. 10, усиление режущей части позволило значительно уменьшить её нагруженность: эквивалентные напряжения снизились до 14,2...9,37 МПа, перемещения составили всего 0,84...0,85 мм, а коэффициент запаса по пределу текучести возрос до 16,1...15,5.

Третье расчетной положение характеризует процесс заглупления ковша с максимальной интенсивностью и учитывает возникающие при этом динамические нагрузки, при этом вертикальное усилие копания P_2 в зоне ножей направлено вверх, что должно способствовать уменьшению нагруженности режущей кромки комбинированной ножевой системы. Здесь получены наименьшие значения эквивалентных напряжений 10,53...9,34 МПа и перемещений 0,42...0,29 мм (рис. 11), а коэффициент запаса по пределу текучести увеличился до наибольших значений 21,9...66,9.

В табл. 2 приведены параметры нагружения совкового режущего органа комбинированной ножевой системы в различных расчетных положениях и при различном закреплении.

Исследования [5] показали, что комбинированная ножевая система разрабатывает грунт всегда с меньшим углом резания, чем серийный скрепер. Это связано с большим вылетом ножей. Проведенные расчеты подтвердили, что уменьшение угла резания бла-

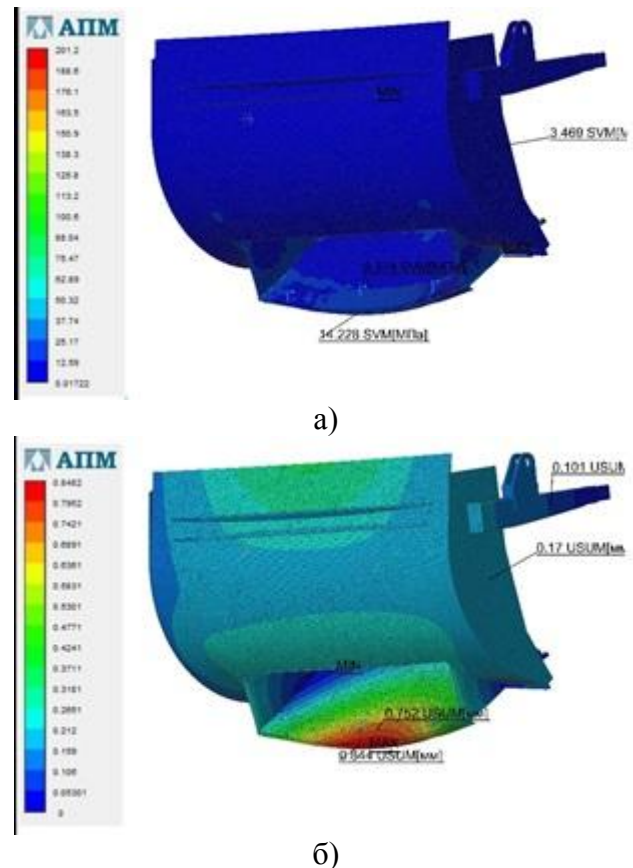


Рис. 10. Второе расчетное положение для комбинированной ножевой системы, закрепление в шарнирах балок и 4-х точках к подножевой плите, гидроцилиндры находятся в плавающем положении: а – эквивалентные напряжения; б – перемещения

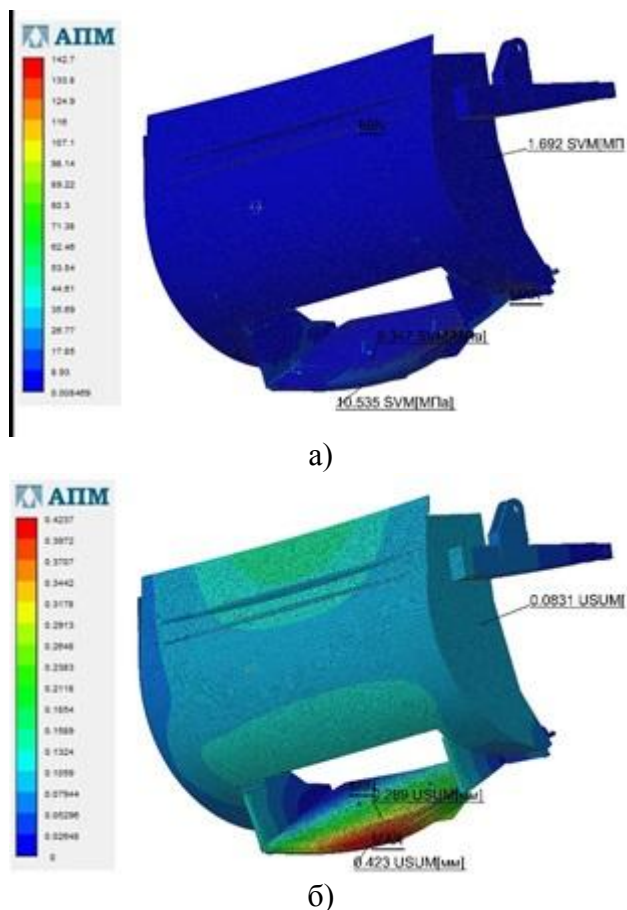


Рис. 11. Третье расчетное положение для комбинированной ножевой системы, закрепление в шарнирах балок и в 4-х точках к подножевой плите, гидроцилиндры в плавающем положении: а – эквивалентные напряжения; б – перемещения

гоприятно сказывается на силовом нагружении ножевой системы. Данные расчеты выполнены для угла резания 32° , а комбинированная ножевая система будет работать при несколько меньших углах резания, что снизит её нагруженность.

Заключение.

Проведенные исследования подтвердили необходимость усиления металлоконструкций совкового режущего органа комбинированной ножевой системы.

Считаем необходимым в целях снижения нагрузок на металлоконструкции передней заслонки ввести в конструкцию комбинированной ножевой системы быстродействующего устройства для её закрепления к подножевой плите на время разработки грунта. Режущую часть комбинированной ножевой системы необходимо усилить как в задней, так и особенно в передней части.

Список литературы

1. Нилов, В.А. Испытания скрепера с комбинированной ножевой системой / В.А. Нилов, Е.В. Федоров // Механизация строительства. – 2015. – № 3. – С. 26-29.
2. Нилов, В.А. Разработка грунта скрепером в условиях свободного резания / В.А. Нилов, Е.В. Федоров // Строительные и дорожные машины. – 2015. – № 12 – С. 14-16.

Таблица 2

Параметры нагружения комбинированной ножевой системы

| № п/п | Особенности закрепления комбинированной ножевой системы | Параметры в зоне ножей | | |
|--|--|------------------------|-------------|--------------------|
| | | SVM, МПа | USUM, мм | Коэффициент запаса |
| II Расчетное положение, выглубление (P_2 направлена вниз) | | | | |
| 1 | Подвешена на шарнирах гидроцилиндра и балок | 23,5...21,5 | 3,6...2,9 | 9,2...9,4 |
| 2 | Подвешена на шарнирах балок. Гидроцилиндры в плавающем положении. Закрепление к подножевой плите в 4-х точках | 17,6...21,9 | 1,8...2,49 | 4,8...13,7 |
| 3 | Подвешена на шарнирах балок. Гидроцилиндры в плавающем положении. Закрепление к подножевой плите в 4-х точках. Ножи усилены сверху | 14,22...9,37 | 0,84...0,75 | 16,1...15,5 |
| III Расчетное положение, заглубление (P_2 направлена вверх) | | | | |
| 4 | Подвешена на шарнирах балок. Гидроцилиндры в плавающем положении. Закрепление к подножевой плите в 4-х точках. Ножи усилены сверху | 10,53...9,34 | 0,42...0,29 | 21,9...66,9 |

3. Артемьев, К.А. Теория и расчет скреперов и скреперных агрегатов / К.А. Артемьев, В.А. Борисенков. – Воронеж: Изд-во Воронежского университета, 1996. – 344 с.

4. Нилов, В.А. Моделирование конструкции роторно-наклонного механизма / В.А. Нилов, А.В. Демидов, Р.А. Жилин // Механизация строительства. – 2016. – № 12. – С. 28-31.

5. Нилов, В.А. Комбинированная ножевая система скрепера / В.А. Нилов, Е.В. Федоров // Строительные и дорожные машины. – 2015. – № 4 – С. 13-15.

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 COMBINED METAL STRUCTURES OF SCRAPER KNIFE SYSTEMS

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 considers the research of steel structures of a combined knife system of a scraper. The necessity of reinforcing the metal structures of the scoop cutting organ of the combined knife system and the introduction of a high-speed device into its construction for fixing it to the foot plate during the development of the soil are established.

Key words: scraper, metalwork, scoop cutting organ, deformation.

DOI: 10.22281/2413-9920-2018-04-01-40-47

References

1. Nilov V.A., Fedorov E.V. *Ispytaniya skrepera s kombinirovannoy nozhevoy sistemoy* [Tests of a scraper with a combined knife system]. *Mekhanizatsiya stroitelstva*, 2015, No.3, pp. 26-29. (In Russian)

2. Nilov V.A., Fedorov E.V. *Razrabotka grunta skreperom v usloviyakh svobodnogo rezaniya* [Development of a soil with a scraper in conditions of free cutting]. *Stroitelnye i dorozhnye mashiny*, - 2015. - No. 12 - p. 14-19. (In Russian)

3. Artemiev K.A., Borisenkov V.A. *Teoriya i raschet skreperov i skrepernykh agregatov* [Theory and calculation of scrapers and

scrapers]. Voronezh, Izdatelstvo Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta, 1996. 344 p. (In Russian)

4. Nilov V.A., Demidov A.V., Zhilin R.A. *Modelirovanie konstruksii rotorno-naklonnogo mekhanizma* [Modeling the design of the rotary-inclined mechanism]. *Mekhanizatsiya stroitelstva*, 2016, No.12, pp. 28-31. (In Russian)

5. Nilov V.A., Fedorov E.V. *Kombinirovannaya nozhevaya sistema skrepera* [Combined knife system of a scraper]. *Stroitelnye i dorozhnye mashiny*, 2015, No.4, pp. 13-15. (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)
08.12.2017

Дата публикации
(Date of publication):
25.03.2018

