

УДК 621.878.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАДИЦИОННОГО И КОМПОЗИЦИОННОГО БУЛЬДОЗЕРНОГО РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ

Л.А. Хмара, профессор, д.т.н.,
Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры,
г. Днепропетровск,
В.А. Талалай, доцент, к.т.н.,
Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, г. Донецк

Аннотация. Рассмотрены теоретические исследования несущей способности традиционного и композиционного рабочего оборудования. Представлена методика повышения прочностных характеристик как существующих, так и вновь создаваемых инновационных по геометрии конструкций. Доказана эффективность композиционного рабочего оборудования.

Ключевые слова: металлоемкость, прочность, напряжение, усилие, композиционный материал, заполнитель, расчетное положение.

ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК МІЦНОСТІ ТРАДИЦІЙНОГО І КОМПОЗИЦІЙНОГО БУЛЬДОЗЕРНОГО РОБОЧОГО ОБЛАДНАННЯ

Л.А. Хмара, професор, д.т.н.,
Придніпровська державна академія будівництва і архітектури,
м. Дніпропетровськ,
В.А. Талалай, доцент, к.т.н.,
Донбаська національна академія будівництва і архітектури, м. Донецьк

Анотація. Розглянуто теоретичні дослідження міцності традиційного і композиційного робочого обладнання. Представлено методику підвищення міцнісних характеристик як існуючих, так і новостворюваних інноваційних за геометрією конструкцій. Доведено ефективність композиційного робочого обладнання.

Ключові слова: металоємність, міцність, напруга, зусилля, композиційний матеріал, заповнювач, розрахункове положення.

RESEARCH INTO DURABILITY CHARACTERISTICS OF CONVENTIONAL AND COMPOSITE BULLDOZER IMPLEMENTS

L. Khmara, Professor, Doctor of Engineering Sciences,
Pridneprovskaya State Academy of Construction and Architecture, Dnipropetrovsk,
V. Talalay, Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences,
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, Donetsk

Abstract. Theoretical research into bearing capacity of conventional and composite implements has been considered in the paper. Methods to increase durability characteristics of both available and newly developed innovative-geometry structures have been described. The efficiency of composite implements has been proved.

Key words: metal consumption, durability, strain, effort, composite material, filling, calculated position.

Введение

Актуальной задачей современного машиностроения является обеспечение высоких показателей прочностных характеристик рабочего оборудования и его элементов, при этом важной также является необходимость снижения металлоемкости. Решение данной задачи невозможно без применения современных технологий и методик создания высокоэффективных машин. Применение нанотехнологий, а также комбинированного композиционного материала в конструкциях рабочего оборудования позволит повысить несущую способность конструкций рабочего оборудования, а также поспособствует снижению металлозатрат.

Анализ публикаций

Снижение металлоемкости с одновременной возможностью повышения прочностных характеристик металлоконструкций рабочих органов строительных машин является наиболее актуальным способом повышения эффективности машины, а также главной задачей при современном проектировании и создании качественной и долговечной строительной техники [1–5].

Современные материалы и методики создания высокопрочных металлоконструкций позволяют добиться требуемого результата путем применения местного и локального заполнителя [1–5].

До настоящего времени не разработаны конкретные рекомендации, методики по созданию высокопрочной, при этом – минимально металлоемкой, конструкции рабочего оборудования строительной техники.

Цель и постановка задачи

Целью статьи является определение эффективной методики повышения несущей способности рабочего оборудования (РО) бульдозера на основании теоретического исследования с применением программного обеспечения Solid Works Simulation напряжений, возникающих в металлоконструкции при действии на нее эквивалента сил копания в 5 расчетных положениях.

Задачи: 1 – проведение теоретических исследований несущей способности РО бульдо-

зера при помощи программного обеспечения Solid Works Simulation; 2 – разработка методики повышения прочностных характеристик РО; 3 – создание, на основе анализа, усовершенствованных конструкций РО повышенной прочности.

Краткое условие рациональности применения заполнителя

Одним из главных параметров будет являться металлоёмкость

$$\sum_{k=1}^n M_T \geq \sum_{k=1}^n M_k, \quad (1)$$

где $\sum_{k=1}^n M_T$ – суммарная металлоёмкость тра-

диционного рабочего оборудования; $\sum_{k=1}^n M_k$ –

суммарная металлоёмкость композиционного рабочего оборудования;

Определим составляющие параметра металлоёмкости для традиционного рабочего оборудования

$$\sum_{k=1}^n M_T = M_{отв} + 2 \cdot (M_{гц1} + M_{гц2} + M_{т.б}), \quad (2)$$

где $M_{отв}$ – металлоёмкость традиционного отвала (вес отвала), кг; $M_{гц1}$ – металлоёмкость гидроцилиндров подъёма отвала, кг; $M_{гц2}$ – металлоёмкость гидроцилиндров изменения угла наклона отвала, кг; $M_{т.б}$ – металлоёмкость традиционных толкающих брусьев, кг.

Определим составляющие параметра металлоёмкости для композиционного рабочего оборудования

$$\sum_{k=1}^n M_k = M_{к.отв} + 2 \cdot (M_{гц1} + M_{гц2} + M_{к.т.б}), \quad (3)$$

где $M_{к.отв}$ – металлоёмкость композиционного отвала (вес отвала), кг; $M_{к.т.б}$ – металлоёмкость композиционных толкающих брусьев, кг.

Исследование трехмерных эпюр напряжений и запаса прочности

Расчет конструкций обычно ведется исходя из внешних воздействий на нее и ее сопро-

тивления этим воздействиям, а также специфики и особенностей проектируемого узла машины. Сопротивление представляет собой основную функцию несущей конструкции; оно определяется физическими характеристиками и геометрическими параметрами элементов и их соединений. Воздействие, в отличие от сопротивления обычно имеет случайный характер, поэтому расчет конст-

рукций обычно проводится по предельным значениям воздействующих сил [1–4].

Составим эпюры напряжений и запаса прочности для традиционного и композиционного отвалов для 5 расчетных положений с помощью программы Solid Works Simulation (табл. 1–5).

Таблица 1 Трехмерная эпюра исследования 1-го расчетного положения при действии усилий

$$P_x = G_{\text{сц}} \varphi_{\text{max}} + v \sqrt{\frac{G_6}{g}} c_0$$

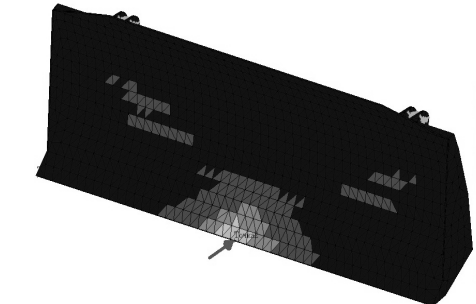
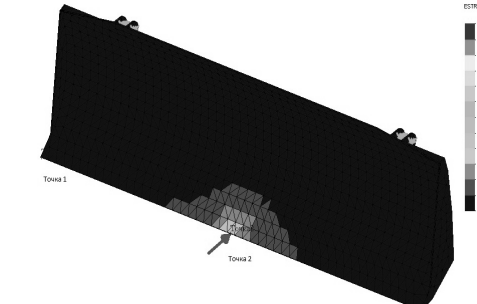
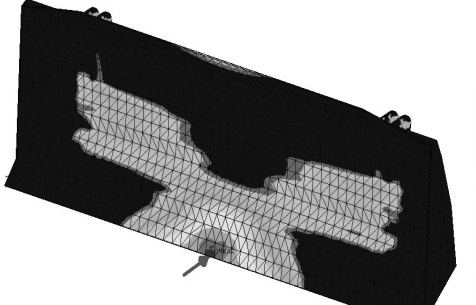
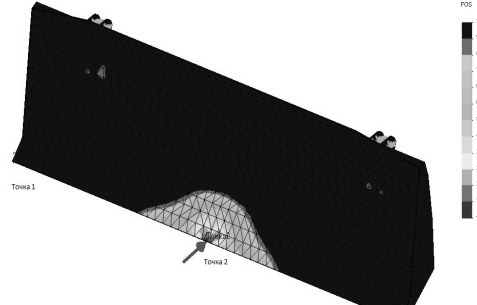
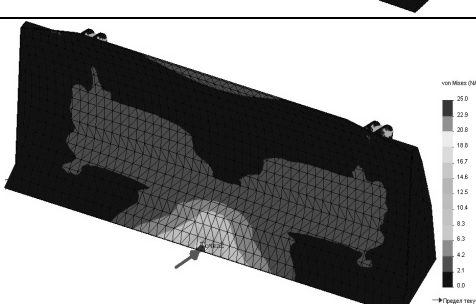
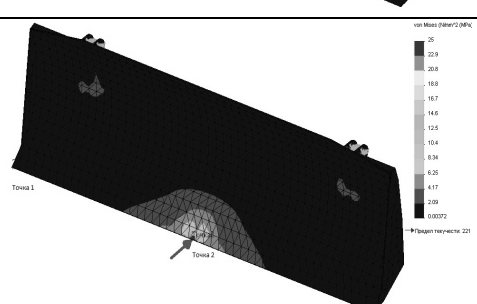
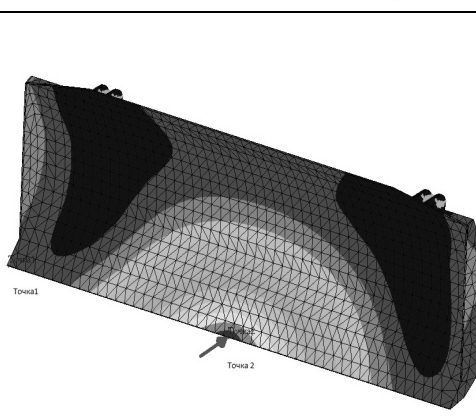
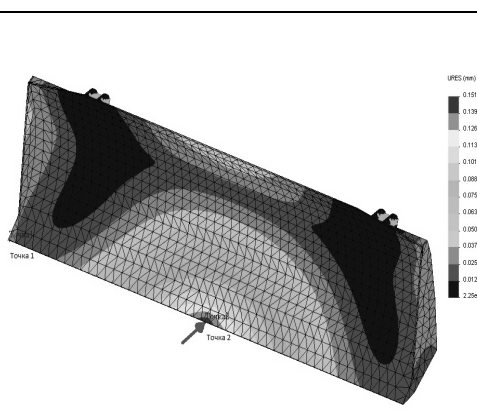
	Традиционный отвал	Композиционный отвал
Н а п р я ж е н и е		
П е р е м е щ е н и е		
Д е ф о р м а ц и я		
З а п а с п р о ч н о с т и		

Таблица 2 Трехмерная эпюра исследования 2-го расчетного положения при действии усилий

$$P_X = (G_6 - P_Z) \phi_{\max} + v \sqrt{\frac{G_6}{g}} c_0 \quad \text{и} \quad P_Z = G_{\text{бм}} \frac{l_A}{l + l_C}$$

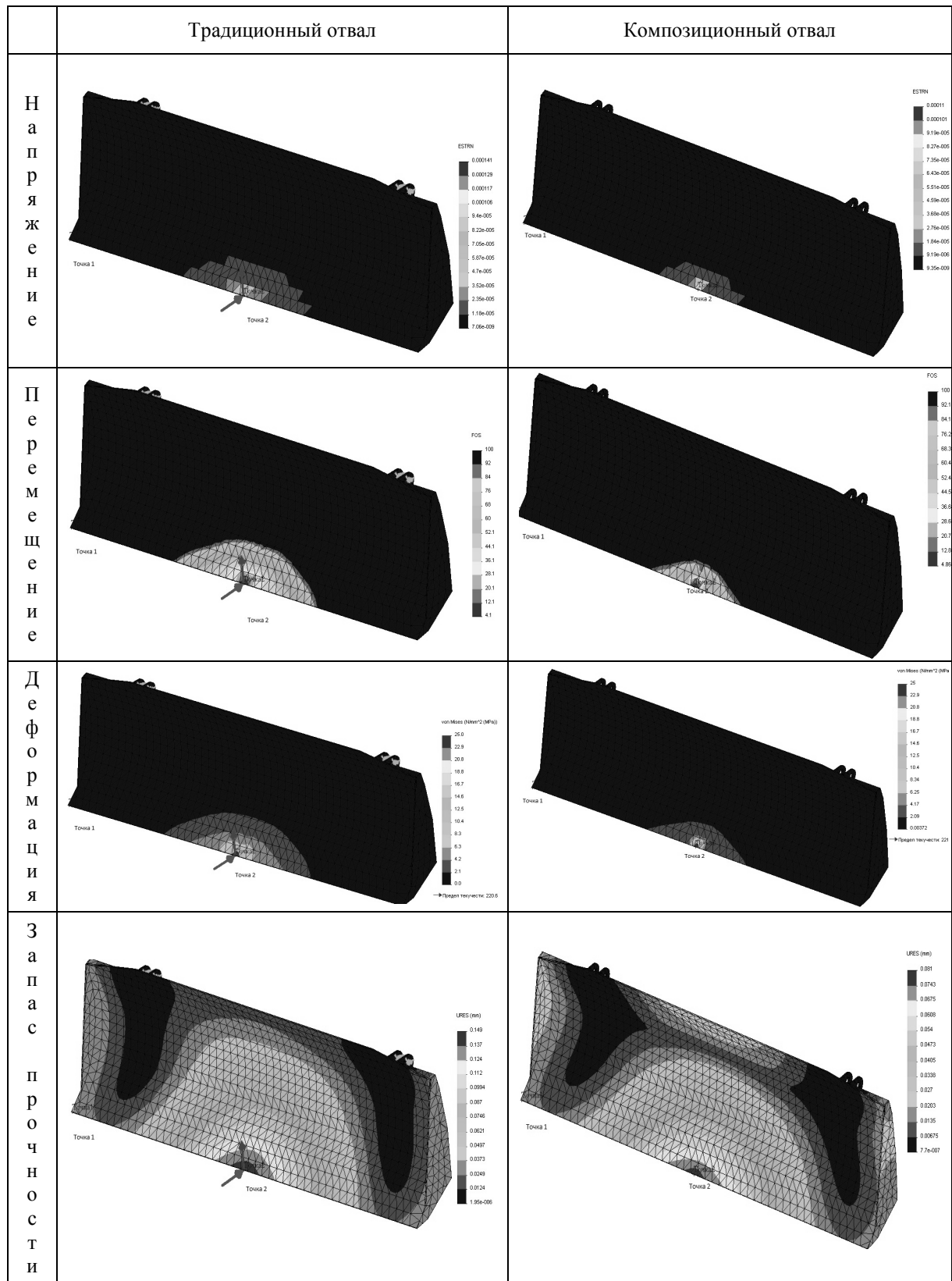


Таблица 3 Трехмерная эпюра исследования 3-го расчетного положения при действии усилий

$$P_X = (G_6 - P_Z) \varphi_{\max} + v \sqrt{\frac{G_6}{g}} c_0 \text{ и } P_Z = G_{6m} \frac{l_A}{l + l_C} \text{ и } P_Y = \frac{G_6 - P_Z}{2} \cdot \frac{B}{l_C + l}$$

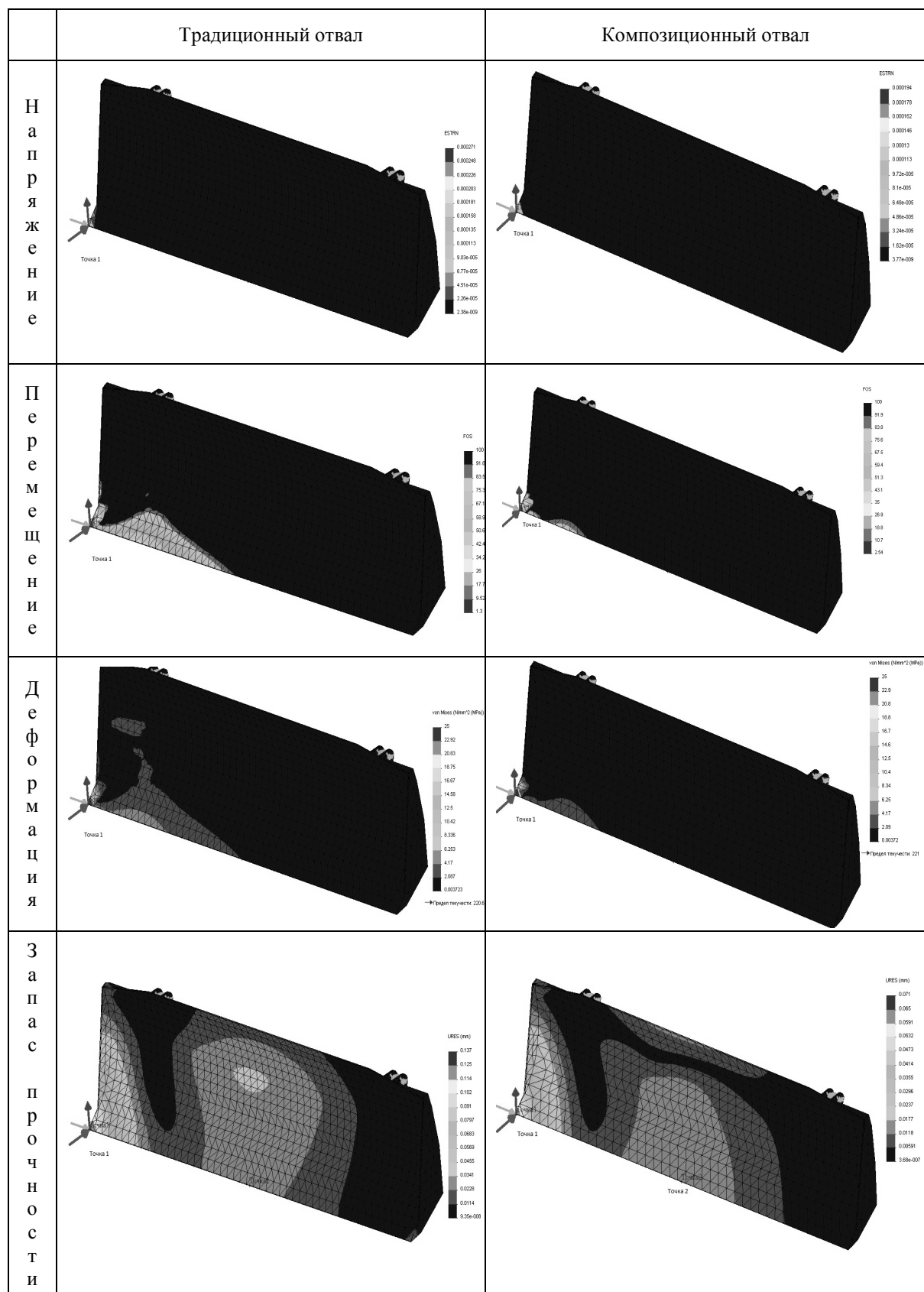


Таблица 4 Трехмерная эпюра исследования 4-го расчетного положения при действии усилий

$$P_x = (G_6 + P_z) \varphi_{\max} + \nu \sqrt{\frac{G_6}{g}} c_0 \text{ и } P_z = G_{6\text{м}} \frac{l_B}{l_C}$$

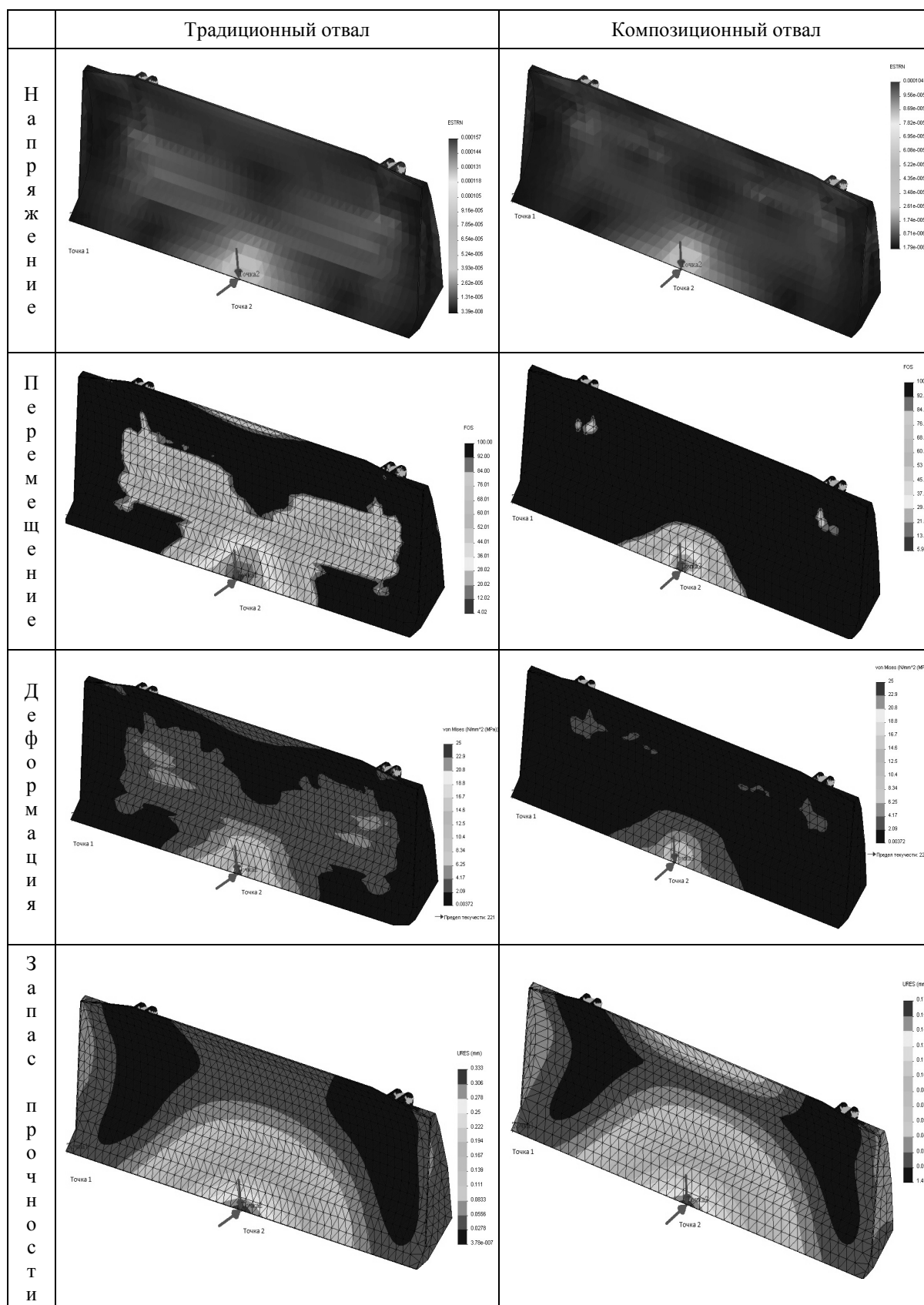
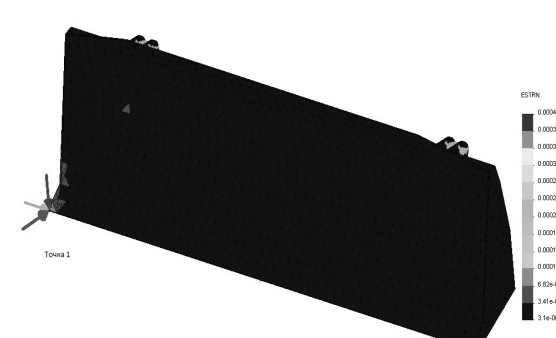
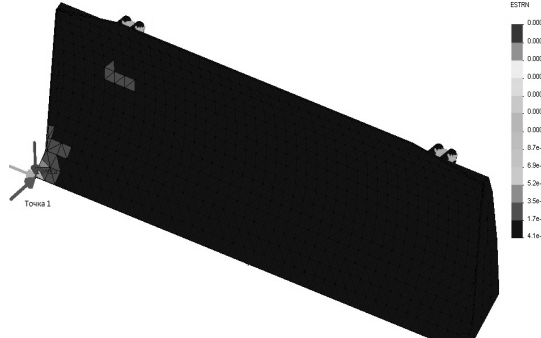
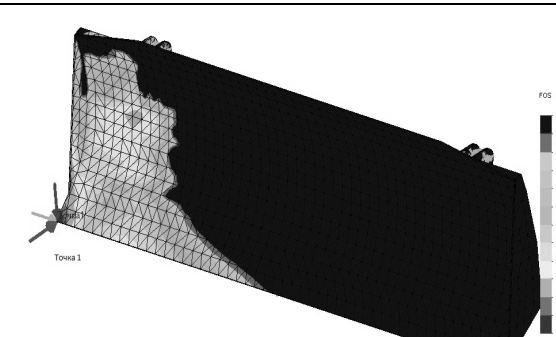
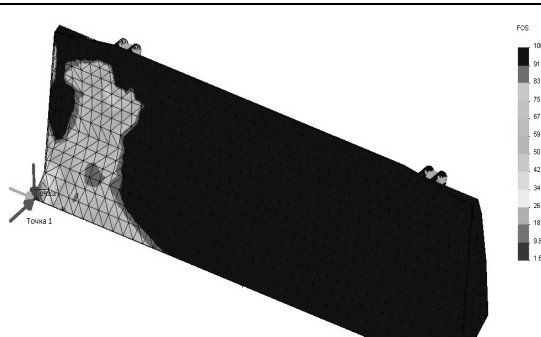
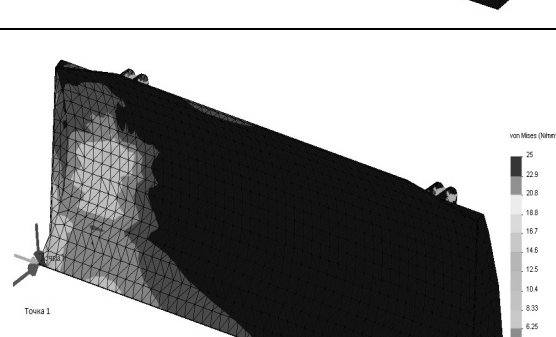
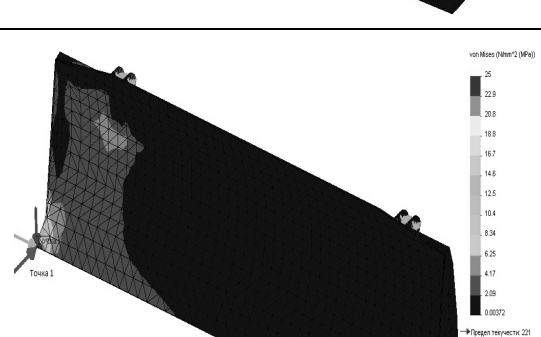
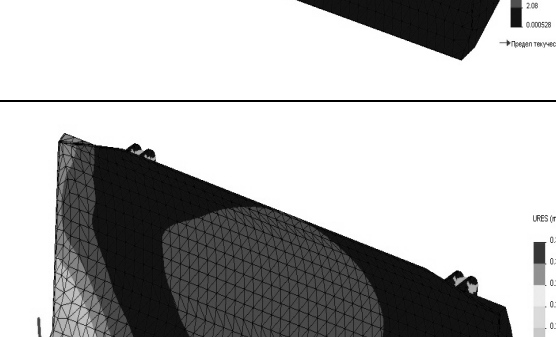
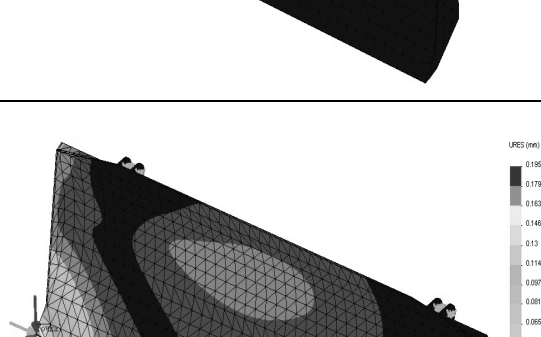


Таблица 5 Трехмерная эпюра исследования 5-го расчетного положения при действии усилий

$$P_X = (G_6 + P_Z) \varphi_{\max} + v \sqrt{\frac{G_6}{g}} c_0 \text{ и } P_Z = G_{6m} \frac{l_B}{l_C} \text{ и } P_Y = (G_6 + P_Z) \frac{B}{2l_C}$$

	Традиционный отвал	Композиционный отвал
Напряжение		
Перемещение		
Деформация		
Запас прочности		

Полученные данные расчета заносим в табл. 6.

Для наглядного отображения распределения напряжений по высоте H_0 традиционного и композиционного отвалов прозондируем полученные эпюры для пяти расчетных положений. Результаты расчетов занесем в табл. 7.

Составим диаграммы зависимостей напряжений, возникающих в рабочем оборудовании, для соответствующих расчетных положений (рис. 1–5).

На основании проведенных теоретических исследований можно сделать вывод, который представлен в графической интерпретации на рис. 6.

Таблица 6 Сопоставительная таблица результатов расчетов, выполненных в SW Simulation

№ расчетного положения	Параметр	Традиционный отвал	Композиционный отвал
1	напряжение, N/mm^2 (МПа)	53,88	46,32
	эквивалентная деформация	0,000152	0,00011
	запас прочности	4,09	4,78
2	напряжение, N/mm^2 (МПа)	53,7451	45,41
	эквивалентная деформация	0,000140	0,00011
	запас прочности	4,1	4,6
3	напряжение, N/mm^2 (МПа)	170,16	150,75
	эквивалентная деформация	0,00027	0,00019
	запас прочности	1,3	1,6
4	напряжение, N/mm^2 (МПа)	64,86	47,31
	эквивалентная деформация	0,00016	0,00011
	запас прочности	4,02	5,01
5	напряжение, N/mm^2 (МПа)	194,11	166,16
	эквивалентная деформация	0,00040	0,00036
	запас прочности	1,14	1,42

Таблица 7 Таблица результатов зондирования напряжения σ_{ij} , МПа для пяти расчетных положений

H_0 , мм	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
σ_{T1}	53,8	47,5	42,3	36,9	30,1	23,8	20,4	19,3	21,2	24,36	26,49
σ_{K1}	46,3	40,9	34,9	27,7	21,4	16,2	15,5	16,2	18,9	21,3	23,4
σ_{T2}	53,7	47,4	42,2	36,8	30,0	23,7	20,3	19,8	21,7	24,8	27,1
σ_{K2}	45,4	40,8	34,8	28,6	20,3	16,1	15,4	16,7	18,4	21,8	24,0
σ_{T3}	170	163	158	153,2	148,4	144,1	140,7	140,2	142,1	145,2	147,4
σ_{K3}	150	138	130	123	117	114	115	118	119	123	125
σ_{T4}	64,9	56,6	48,4	43,1	36,2	29,9	26,59	26,09	27,9	31,1	33,2
σ_{K4}	47,3	34	26	21,8	15,5	10,3	7,69	7,99	9,69	14,1	16,2
σ_{T5}	194	187	180	173	166	160	156	156	156	161	165
σ_{K5}	166	154	144	136	129	125	124	126	128	133	137

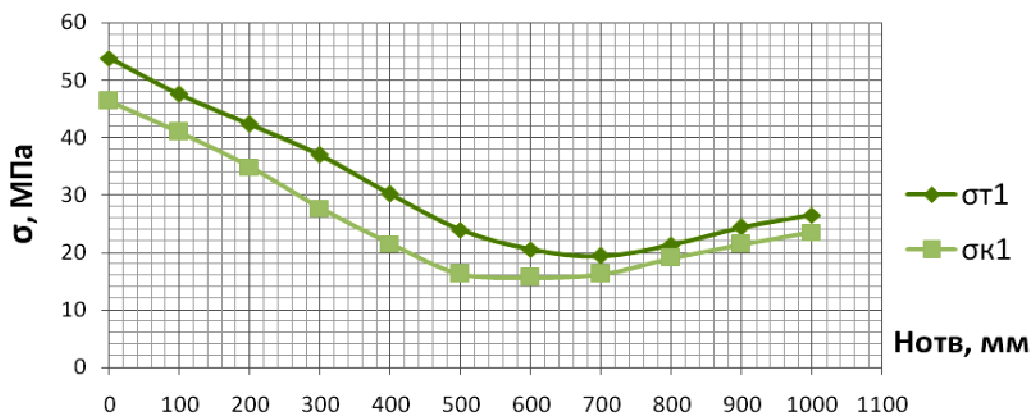


Рис. 1. Сравнительная диаграмма распределения напряжений в рабочих оборудовании для первого расчетного положения

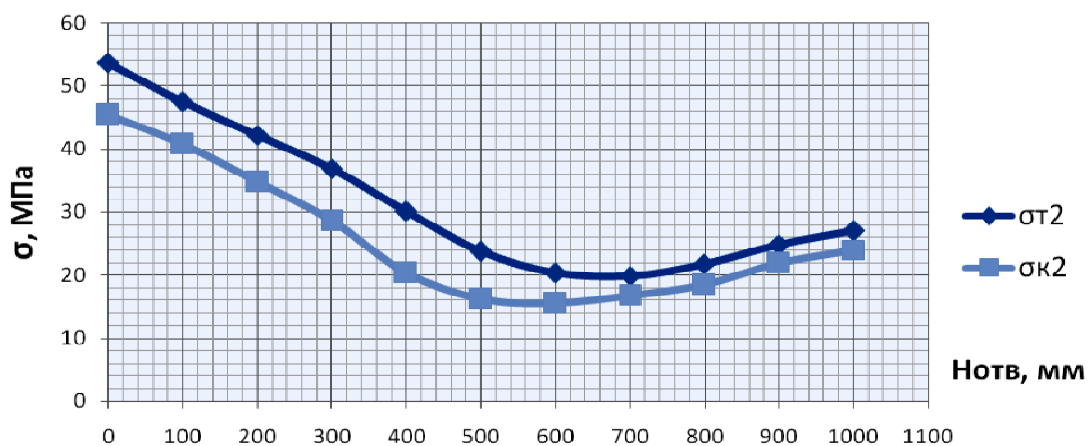


Рис. 2. Сравнительная диаграмма распределения напряжений в рабочих оборудовании для второго расчетного положения

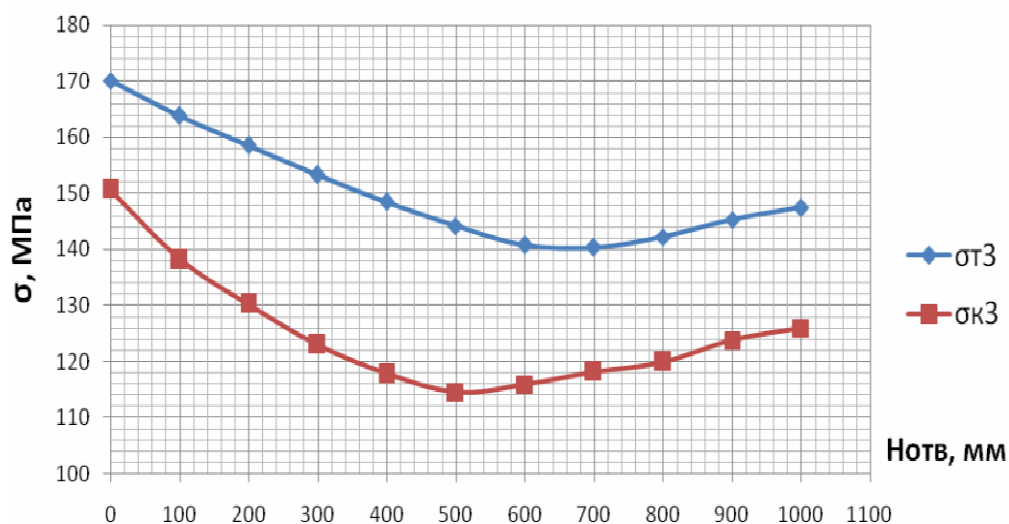


Рис. 3. Сравнительная диаграмма распределения напряжений в рабочих оборудовании для третьего расчетного положения

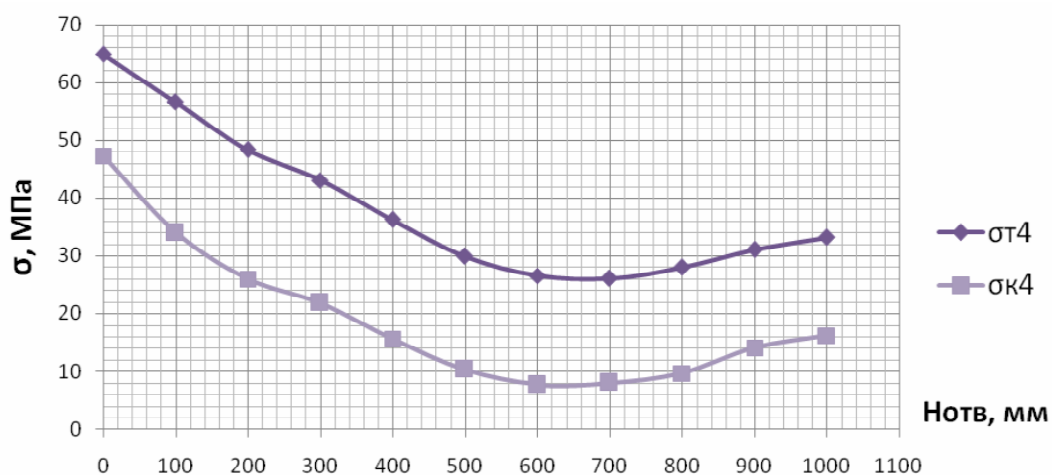


Рис. 4. Сравнительная диаграмма распределения напряжений в рабочих оборудовании для четвертого расчетного положения

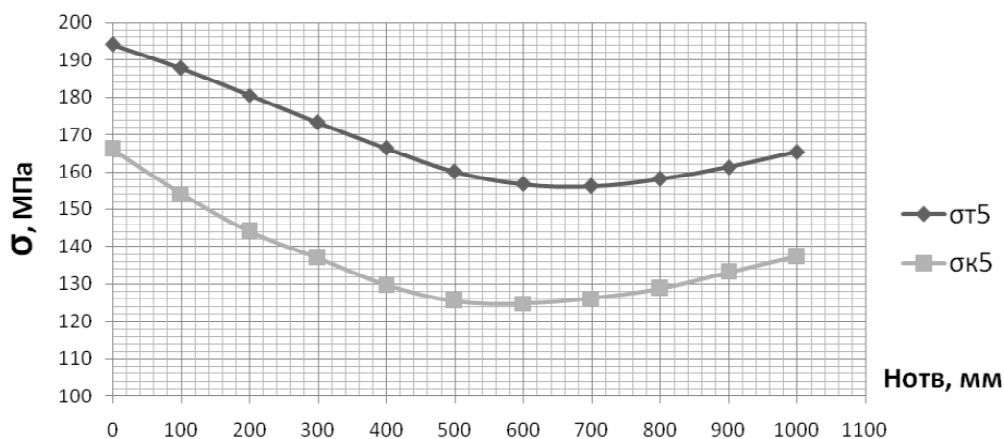


Рис. 5. Сравнительная диаграмма распределения напряжений в рабочих оборудовании для пятого расчетного положения

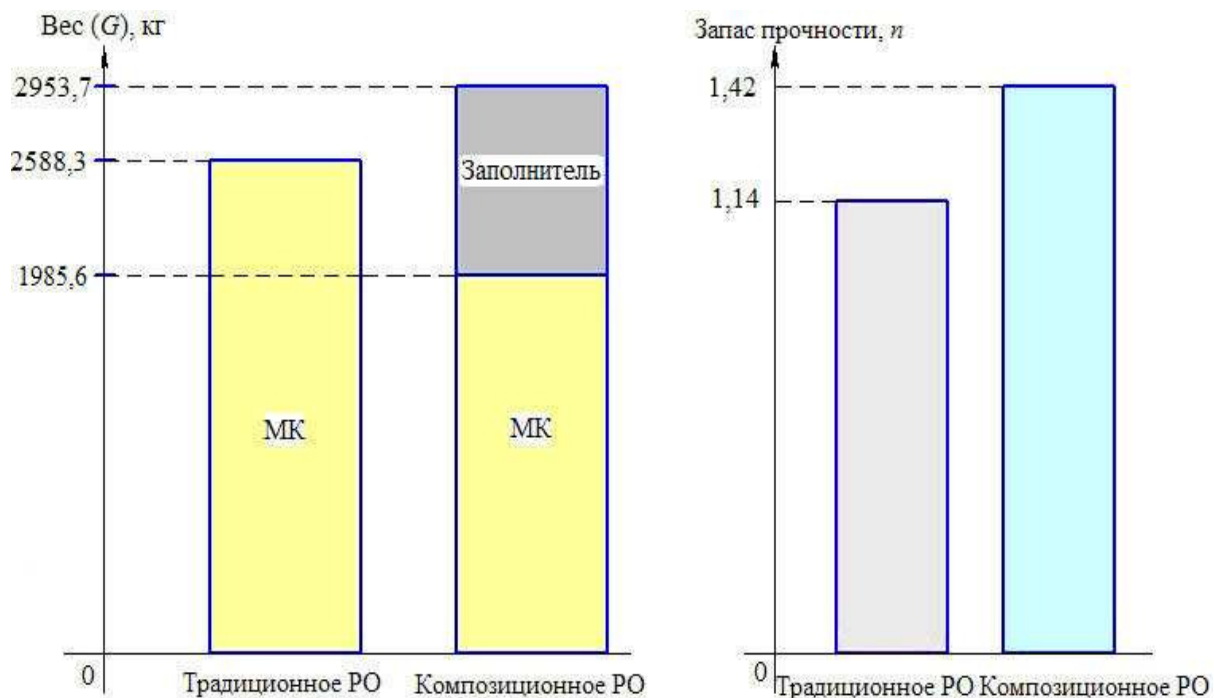


Рис. 6. Сравнительный анализ результатов проведенных теоретических исследований

Конструкции РО с применением композитных материалов

При проектировании металлоконструкций рабочего оборудования строительных и дорожных машин, которые подвержены постоянному воздействию как статических, так и динамических напряжений, целесообразно использовать в качестве заполнителя полых (пустотных) конструкций композитный материал, а также это применение рационально в совокупности с армированием либо микроармированием, если в качестве заполнителя

использовать материал с характеристиками фибробетона [1–6].

Так, одним из примеров создания эффективного рабочего оборудования является методика заполнения пустот в конструкции толкающего бруса бульдозера. Так, были рассмотрены идеи по повышению прочностных характеристик уже существующих конструкций (методом заполнения композиционным материалом), а также методика трубобетонирования с предварительно напряженной арматурой. Данная идея заключа-

ется в следующих конструктивных решениях [1–6]:

1 – создавать труботетонную конструкцию РО с минимальной толщиной стенки, но при этом усилить конструкцию центральным армированием (применением металлического стержня, заключенного в бетон);

2 – приварить с помощью электродуговой сварки к внутренним стенкам профиля заполняемой конструкции элементы для увеличения адгезии.

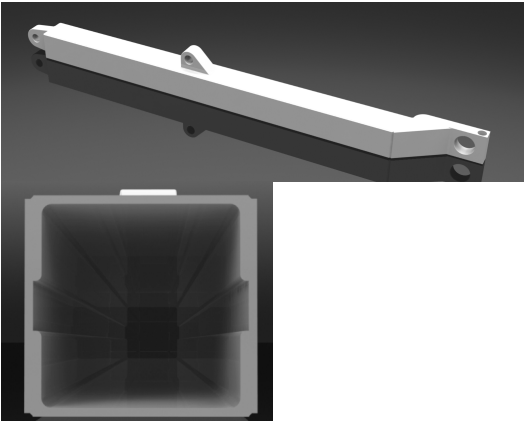
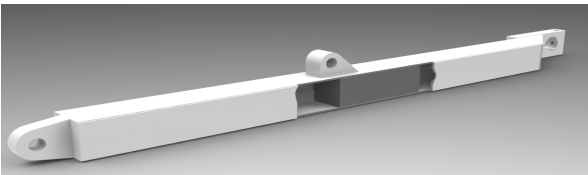
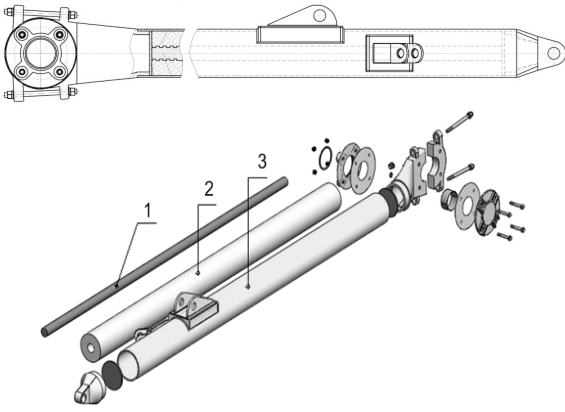
Данные решения были обоснованы исследованиями труботетона, которые свидетельст-

вуют, что труба начинает работать как обойма лишь в стадии, близкой к разрушению бетона; до этого труба является лишь опалубкой, если ее не включить в работу специальными мероприятиями.

Результаты конструирования предложенными методами представлены в табл. 8.

На основании представленных исследований и обоснований предложенных методик была создана конструкция бульдозерного рабочего оборудования (рис. 7) повышенной прочности (на основании методики труботетонирования с центральным армированием).

Таблица 8 Конструкции повышенной прочности

Методика заполнения пустот композиционным материалом	Методика труботетонирования с предварительно напряженной арматурой
Предварительное состояние до упрочнения	
1. Традиционная сварная конструкция, выполненная в виде двух сваренных швеллеров, укрепленных по бокам металлическим листом. 	(конструкция производится только с применением труботетонирования)
После упрочнения	
2. Полость зоны концентрации напряжений, упрочненная заполнителем 	 1 – арматурный стержень; 2 – заполнитель; 3 – труба круглого сечения (основная часть)

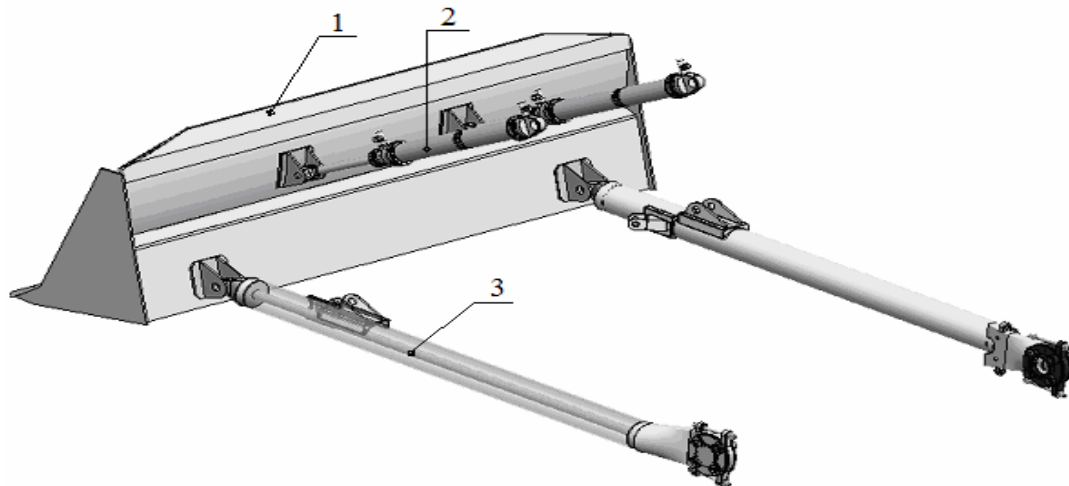


Рис. 7. Бульдозерное рабочее оборудование с повышенной прочностью толкающего бруса:
1 – отвал; 2 – гидроцилиндр подъема; 3 – толкающий брус

Выводы

На основании проведенных исследований можно четко утверждать, что композиционное рабочее оборудование позволяет повысить прочность конструкции на 40 % и снизить металлоемкость конструкции, а также снизить возникающие напряжения и уменьшить деформацию в металлоконструкции, что повышает долговечность и работоспособность оборудования.

Литература

1. Хмара Л.А. Повышение прочностных характеристик металлоконструкций СДМ / Л.А. Хмара, В.А. Талалай // Интерстроймех-2010: сб. докл. междунар. научно-практ. конференции. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2010. – №2. – С. 205–214.
2. Хмара Л.А. Математическое моделирование традиционного и композиционного бульдозерного рабочего оборудования методом конечных элементов / Л.А. Хмара, В.А. Талалай, В.А. Гринюк // Строительство. Материаловедение. Машиностроение: сб. научн. тр. Сер. «Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование». Днепропетровск: ГВУЗ «ПГАСА». – 2011. – Вып. 63. – С. 52–60.
3. Хмара Л.А. Повышение прочностных характеристик элементов рабочего оборудования строительно-дорожных машин путем применения заполнителя / Л.А. Хмара, В.А. Талалай // Техніка будівництва: науково-техн. журнал Київського національного університету будівництва і архітектури. – К.: Клуба, 2010. – Вип. 25. – С. 4–12.
4. Талалай В.А. Определение рациональных геометрических форм металлоконструкций рабочего оборудования строительных машин на основании анализа их прочностных свойств / В.А. Талалай // Современное промышленное и гражданское строительство. – 2010. – Т. 6, №3. – С. 159–168.
5. Хмара Л.А. Эффективные методы повышения прочности металлоконструкций строительных и дорожных машин заполнителя / Л.А. Хмара, В.А. Талалай, В.А. Гринюк // Строительство. Материаловедение. Машиностроение: сб. науч. тр. – Днепропетровск: ПГАСА. – 2010. – Вып. 57. – С. 248–258.
6. Хмара Л.А. Машины для земляных работ: навч. посіб. / Л.А. Хмара, С.В. Кравець, В.В. Ничке та ін.; за заг. ред. Л.А. Хмари та С.В. Кравця. – Рівне – Дніпропетровськ. – Харків [б.в.], 2010. – 557 с.

Рецензент: Е.С. Венцель, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 29 мая 2012 г.