

УДК 621.865.8

ЗАСТОСУВАННЯ ОБ'ЄМНОГО МОДЕЛЮВАННЯ У СУЧАСНИХ САПР ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ БУДІВЕЛЬНИХ МАШИН МАНІПУЛЯТОРНОГО ТИПУ

ХМАРА Л.А.^{1*}, *д.т.н. проф.*,
КУЛИК І.А.^{2*}, *к.т.н. доц.*,
ПІКУШ Ю.С.^{3*}, *інж.*

^{1*} Кафедра будівельних та дорожніх машин, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 46-79-30, e-mail: leonidkhmara@yahoo.com, ORCID ID: 0000-0003-3050-9302

^{2*} Кафедра будівельних та дорожніх машин, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (067) 993-77-54, e-mail: kulik_i_a@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-2322-9858

^{3*} Дніпродзержинськ, Україна, тел. +38 (066) 345-65-30, e-mail: pikush_yuriy@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-6326-1676

Анотація. Постановка питання. В теперішній час укладання бордюрних каменів (БК) є процесом з дуже високою часткою ручної праці. БК транспортуються вздовж дорожнього полотна за допомогою гакових підвісок і строп. Внаслідок низької продуктивності праці та низької швидкості монтажу БК уздовж дорожнього полотна, дослідження можливості застосування захватного маніпуляторного обладнання для цих робіт є актуальним. **Мета.** Шляхом використання 3D-моделювання у сучасних САПР виконати дослідження технології монтажу бордюрних каменів за допомогою маніпуляторного обладнання (МО) з захватним робочим органом (РО) на різних базових машинах та вже на етапі конструювання підтвердити їх працездатність. **Висновок.** Дослідження робочих процесів маніпуляторного обладнання для вкладання БК за допомогою об'ємних твердотільних моделей в масштабі 1:1 в середовищі САПР шляхом штучного переміщення окремих шарнірно-з'єднаних елементів об'ємної моделі відносно одне одного дозволяє зробити висновок про працездатність розроблених варіантів конструкцій маніпуляторного обладнання. МО з на базі гусеничного трактора слід визначити ефективним при будівництві нових доріг на разі монтажу БК до вкладання верхнього шару дорожнього асфальтового покриття, МО на базі вантажного автомобіля слід визначити ефективним при будівництві та реконструкції доріг коли монтаж БК ведеться за умов вже вкляденого асфальтового покриття, а РО на базі малогабаритного фронтального колісного навантажувача може ефективно використовуватись в обмежених умовах невеличких будівельних майданчиків щільної міської забудови.

Ключові слова. Маніпуляторне обладнання, бордюрний камінь, 3D-моделювання, об'ємна модель.

ПРИМЕНЕНИЕ ОБЪЁМНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В СОВРЕМЕННЫХ САПР ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН МАНИПУЛЯТОРНОГО ТИПА

ХМАРА Л.А.^{1*}, *д.т.н. проф.*,
КУЛИК И.А.^{2*}, *к.т.н. доц.*,
ПИКУШ Ю.С.^{3*}, *инж.*

^{1*} Кафедра строительных и дорожных машин, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 46-79-30, e-mail: leonidkhmara@yahoo.com, ORCID ID: 0000-0003-3050-9302

^{2*} Кафедра строительных и дорожных машин, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (067) 993-77-54, e-mail: kulik_i_a@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-2322-9858

^{3*} Днепропетровск, Украина, тел. +38 (066) 345-65-30, e-mail: pikush_yuriy@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-6326-1676

Аннотация. Постановка вопроса. В настоящее время укладка бордюрных камней является процессом с очень высокой долей ручного труда. БК транспортируются вдоль дорожного полотна с помощью крюковых подвесок и строп. Вследствие низкой производительности труда и низкой скорости монтажа БК вдоль дорожного полотна, исследование возможности применения захватного маніпуляторного оборудования для этих работ является актуальным. **Цель статьи.** Путем применения 3D-моделирования в современных САПР выполнить исследование технологии монтажа бордюрных камней с помощью маніпуляторного оборудования (МО) с захватным рабочим органом на разных базовых машинах и уже на этапе конструирования подтвердить их работоспособность. **Вывод.** Исследование рабочих процессов маніпуляторного оборудования для укладки бордюрных камней с помощью объемных твердотельных моделей в САПР путем штучного

перемещения отдельных элементов объемной модели относительно друг друга позволяет сделать вывод о работоспособности разработанных шарнирно-сочлененных конструкций манипуляторного оборудования. МО на базе гусеничного трактора следует признать эффективным при строительстве новых дорог при монтаже БК до укладки верхнего слоя асфальтового дорожного покрытия, МО на базе грузового автомобиля следует признать эффективным при строительстве и реконструкции дорог когда монтаж БК ведется в условиях уже уложенного асфальтового дорожного покрытия, а сменное захватное рабочее оборудование на базе малогабаритного фронтального колесного погрузчика может эффективно использоваться в ограниченных условиях небольших строительных площадок плотной городской застройки.

Ключевые слова. Манипуляторное оборудование, бордюрный камень, 3D-моделирование, объемная модель.

APPLICATION OF THREE-DIMENSIONAL MODELING IN MODERN CAD FOR RESEARCH OF TECHNOLOGICAL PROCESSES OF BUILDING MACHINES OF MANIPULATIVE TIPE

KHMARA L.A.^{1*}, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,
KULIK I.A.^{2*}, *Cand. Sc. (Tech.), assistant professor*,
PIKUSH Yu.S.^{3*}, *engineer*.

^{1*} Department of building and road machines, State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, tel. +38 (0562) 46-79-30, e-mail: leonidkhmara@yahoo.com, ORCID ID: 0000-0003-3050-9302

^{2*} Department of building and road machines, State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, tel. +38 (067) 993-77-54, e-mail: kulik_i_a@ukr.net, 0000-0002-2322-9858

^{3*} Dniprodzergynsk, Ukraine, tel. +38 (066) 345-65-30, e-mail: pikush_yuriy@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-6326-1676

Summary. Raising of problem. Nowadays curb stones (CS) laying is a process with very high part of manual labor. Due to low labor productivity and low speed of CS mounting along the roadway, investigation of manipulative equipment application possibility for these works is relevant **Purpose.** By using 3D-modeling in modern CAD to perform research curbstones mounting technology using manipulative equipment (ME) with gripping working body on various basic machines and to confirm its operation capacity in the design phase already. **Conclusion.** Research of work process of the manipulative equipment for laying curbstones using bulk solid models in CAD by single piece motion of individual elements of three-dimensional model relative to each other allows for the conclusion about the operability of developed articulated structures of the manipulative equipment. ME based on crawler tractor should be recognized as effective in the construction of new roads for installation of CS before laying the top layer of asphalt pavement, ME on the basis of the truck should be recognized as effective in the construction and reconstruction of roads when the installation of CS is conducted under the conditions of already laid asphalt pavement, and replaceable gripping work equipment based on the compact wheel loader can be used effectively in the limited conditions of small construction sites of dense urban areas.

Key words. Manipulative equipment, curb stones, 3D-modeling, volumetric dimensional model.

Введення

Рівень механізації будівельно-монтажних і землерийних робіт постійно росте, але залишається ще недостатньо механізованим. Одним з недостатньо механізованих є процес монтажу бордюрних каменів (БК) при будівництві та реконструкції доріг. Процес розвантаження та вкладання бордюрних каменів є процесом з великою часткою ручної праці. Кантування бордюрних каменів вагою до 200 кг здійснюється вручну.

Шляхом механізації робіт по кантуванню і монтажу бордюрних каменів є розробка машин маніпуляторного типу. Однак існуючі конструкції маніпуляторного обладнання (МО) в більшості випадків обладнані гаковими підвісками, внаслідок чого розвантаження, кантування та монтаж БК потребує додатково ручну працю. Тому розробка та дослідження маніпуляторів з захватними робочими

органами є актуальною темою.

Також актуальним є дослідження технологічних можливостей нової техніки до впровадження її у виробництво.

Мета

Шляхом використання 3D-моделювання у сучасних САПР виконати дослідження технології монтажу бордюрних каменів за допомогою маніпуляторного обладнання (МО) з захватним робочим органом (РО) на різних базових машинах та вже на етапі конструювання підтвердити їх працездатність.

Методика

Все більшу популярність серед студентів дипломників набуває комп'ютерне 3D-моделювання. Сучасні САПР дозволяють розробити об'ємну

модель РО будівельної машини та за її допомогою дослідити траєкторію руху РО під час усього технологічного циклу машини, виконати дослідження міцності та металоемності елементів робочого обладнання.

На протязі останніх років на кафедрі будівельних та дорожніх машин ПДАБА розроблено об'ємні моделі маніпуляторного обладнання для вклядання БК на різних базових машинах (рис. 1-3).

На рис. 1 представлено технологію роботи МО на базі гусеничного трактора. Технологічний процес включає в себе наступні операції: розвантаження транспортного засобу і складування БК в штабель (рис.1, а-б); захват БК зі штабелю і встановлення у гребінчасті утримувачі по 2 шт. зліва і справа базової машини (рис.1, в-г); транспортування БК до місця їх встановлення (рис.1,г); монтаж БК (рис.1, д).

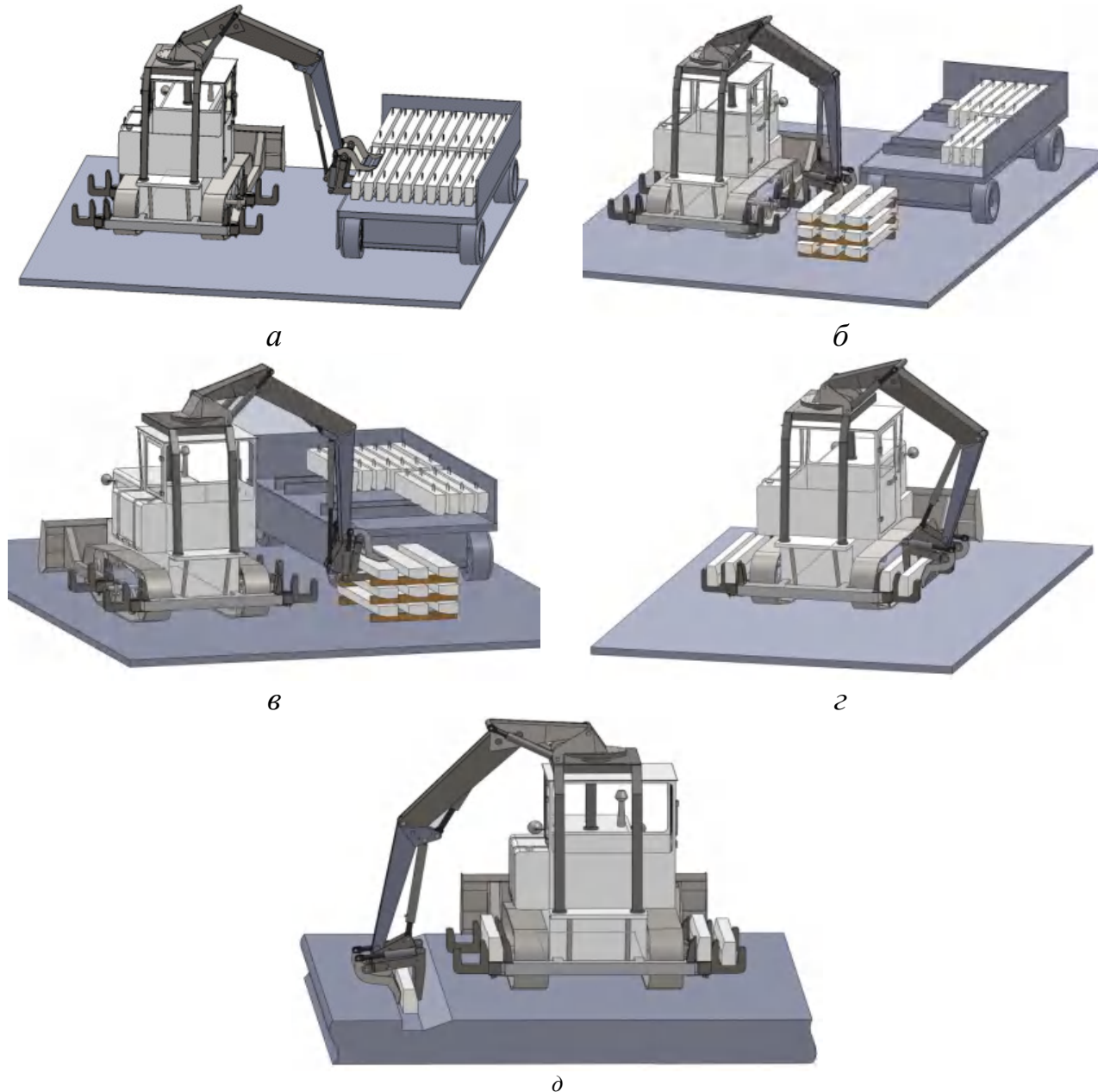


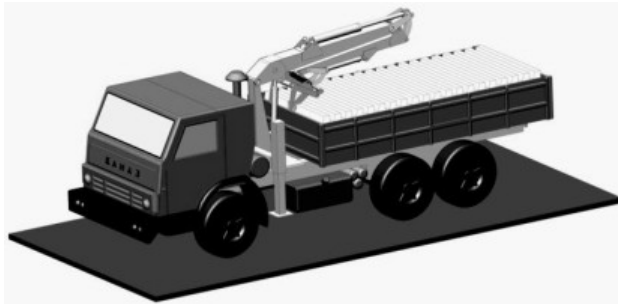
Рис. 1. Технологія роботи МО для вклядання БК на базі гусеничного трактора: а) положення МО при фіксації БК у процесі розвантаження транспортного засобу; б) положення МО при розвантаженні БК горизонтально в штабель; в) захват БК зі штабелю для подальшого встановлення в гребінчасті утримувачі; г) встановлення БК у гребінчасті утримувачі; д) встановлення БК в проектне положення вздовж дорожнього полотна.

На рис. 2 представлено результати 3D-моделювання технології роботи МО з захватним РО на базі автомобільного шасі.

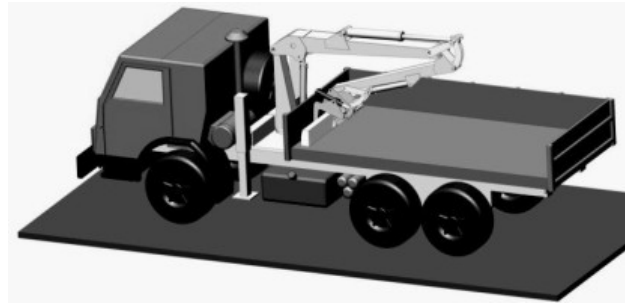
Технологічний процес включає в себе наступні операції:

1. Транспортування БК в межах міста.

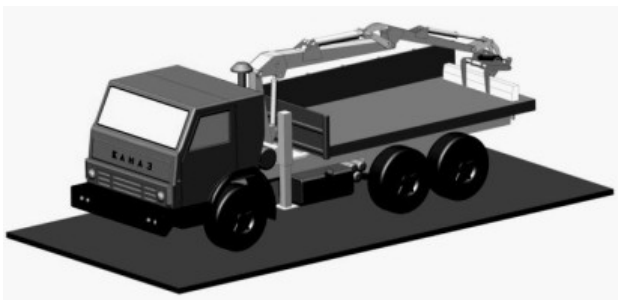
2. Встановлення БК в проектне положення.
3. Розвантаження транспортного засобу і складування БК в штабель у разі виникнення такої необхідності.



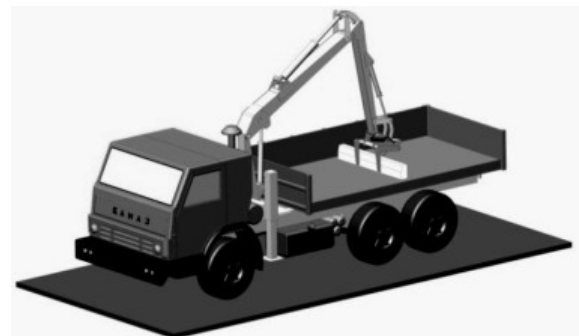
а



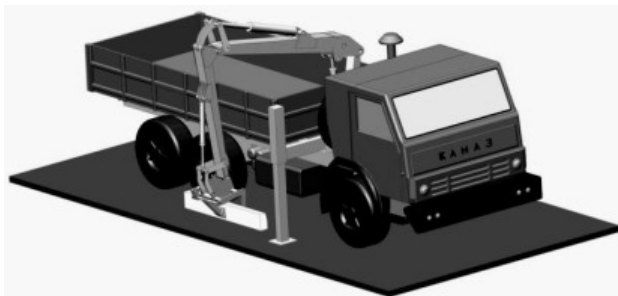
б



в



г



д



е

Рис. 2. Технологія роботи МО для вкладання БК на базі автомобільного шасі:

- а) транспортне положення МО; б), в) крайні положення робочого органу відносно кузова автомобіля; г) середнє положення робочого органу; д) монтаж БК уздовж дорожнього полотна в проектне положення; е) розвантаження БК в штабель.*

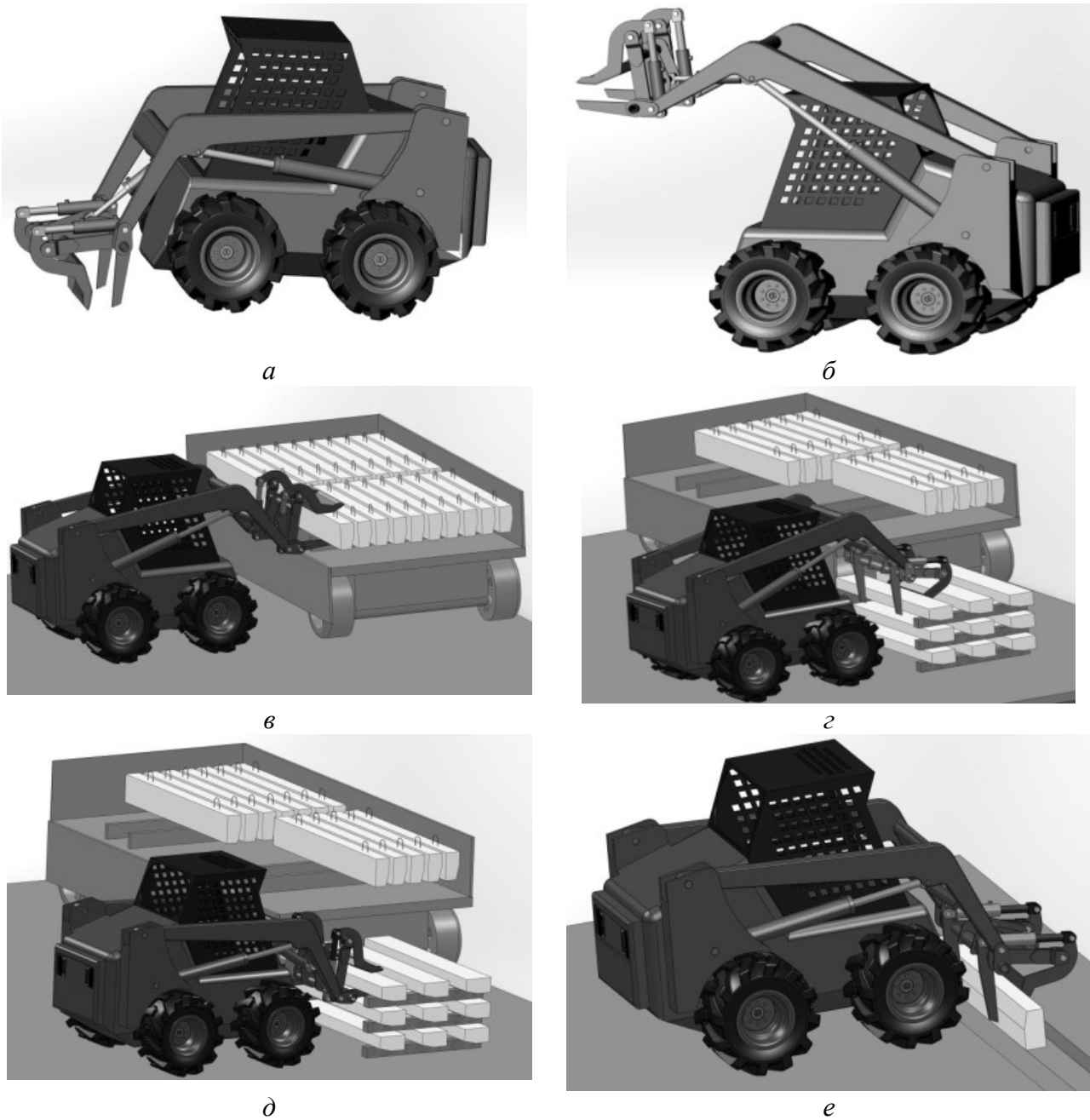
В залежності від режиму роботи технологічний процес МО з захватним РО на базі автомобільного шасі може бути скорочений до однієї операції - розвантаження БК з транспортного засобу одразу в проектне положення.

На рис. 3 представлено технологію роботи робочого обладнання для вкладання БК на базі міні-навантажувача, технологічний процес включає в себе наступні операції:

1. Розвантаження транспортного засобу і складування БК в штабель;
2. Захват БК зі штабелю і транспортування БК до місця його монтажу.
3. Встановлення БК в проектне положення.

Наукова новизна і практична значимість

Використання 3D-моделювання у сучасних САПР для дослідження технологічних можливостей нового обладнання є новим перспективним методом, що дозволяє виконувати симуляцію натурних випробувань нового обладнання у масштабі 1:1, дозволяє підтверджувати працездатність обладнання, виявляти непередбачувані його властивості, дозволяє виявити та усунути недоліки ще на стадії проектування, дозволяє економити значні кошти на виготовленні експериментальних зразків та значно скоротити час доведення нового обладнання до серійного виготовлення.



*Рис. 3. Технологія роботи МО для вкладання БК на базі міні-навантажувача:
 а), б) крайні положення робочого органу; в), з) положення МО при розвантаженні транспортного засобу в штабель; д)
 захват БК зі штабелю для подальшого транспортування до місця монтажу БК;
 е) встановлення БК в проектне положення.*

Висновки. Дослідження робочих процесів маніпуляторного обладнання для вкладання БК за допомогою об'ємних твердотільних моделей в масштабі 1:1 в середовищі САПР шляхом штучного переміщення окремих шарнірно-з'єднаних елементів об'ємної моделі відносно одне одного дозволяє зробити висновок про працездатність розроблених варіантів конструкцій маніпуляторного обладнання. МО на базі гусеничного трактора слід визначити ефективним при будівництві нових доріг на разі

монтажу БК до вкладання верхнього шару дорожнього асфальтового покриття, МО на базі вантажного автомобіля слід визначити ефективним при будівництві та реконструкції доріг коли монтаж БК ведеться за умов вже вкладеного асфальтового покриття, а РО на базі малогабаритного фронтального колісного навантажувача може ефективно використовуватись в обмежених умовах невеличких будівельних майданчиків.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Машини для земляних робіт / Л. А. Хмара, С. В. Кравець, В. В. Нічке, Л. В. Назаров, М. П. Скоблюк, В. Г. Нікітін ; за заг. ред. Л. А. Хмари, С. В. Кравця. – Рівне ; Дніпропетровськ ; Харків, 2010. – 557 с.
2. Строительные работы и манипуляторы / В. И. Баловнев, Л. А. Хмара, В. П. Станевский, П. И. Немировский. – Киев : Будівельник, 1991. – 136 с.
3. Дослідження технології монтажу бордюрних каменів за допомогою маніпуляторного обладнання / Л. А. Хмара, І. А. Кулик, Ю. С. Пікуш, О. М. Боднар // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. науч. тр. / Приднпр. гос. акад. стр-ва и архитектуры. – Днепропетровск, 2010. – Вып. 57 : Подъёмно-транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование. – С. 90-94.
4. Хмара Л. А. Исследование кинематических параметров привода и определение производительности манипуляторного оборудования для укладки бордюрных камней / Л. А. Хмара, И. А. Кулик, Ю. С. Пикущ // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. науч. тр. / Приднпр. гос. акад. стр-ва и архитектуры. – Днепропетровск, 2011. – Вып. 63 : Интенсификация рабочих процессов строительных и дорожных машин. – С. 117-128.
5. Хмара Л. А. Оптимизация выбора гидроцилиндров и расчета параметров рычажного гидромеханизма / Л. А. Хмара, И. А. Кулик // Строительные и дорожные машины. – 1991. – № 6. – С. 19-21.
6. Хмара Л. А. Строительные манипуляторы и роботы / Л. А. Хмара. – Днепропетровск : ДИСИ, 1993. – 385 с.
7. Промышленные роботы. Конструирование, управление, эксплуатация / Костюк В. И., Гавриш А. П., Ямпольский Л. С., Карлов А. Г. – Киев : Вища шк., 1985. – 359 с.
8. Френкель Г. Ю. Роботизация процессов в строительстве / Г. Ю. Френкель. – Москва : Стройиздат, 1987. – 173 с. – (Курсом ускорения научно-технического прогресса).
9. Кириченко И. Г. Компьютерное и физическое моделирование строительных и дорожных машин / И. Г. Кириченко // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета : сб. науч. тр. – Харьков, 2014. – Вып. 65-66. – С. 16-20.
10. Баловнев В. И. Моделирование процессов взаимодействия со средой рабочих органов дорожно-строительных машин / В. И. Баловнев. – Москва : Высш. шк., 1981. – 335 с.
11. SolidWorks. Компьютерное моделирование в инженерной практике / А. А. Алямовский, Е. В. Одинцов, Н. Б. Пономарев, А. А. Собачкин, А. И. Харитонович. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2005. – 800 с.
12. Кириченко И. Г. Особенности компьютерного моделирования операций функционально-технологического анализа / И. Г. Кириченко // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. науч. тр./ Приднпр. гос. акад. стр-ва и архитектуры. – Днепропетровск, 2010. – Вып. 57 – С. 19-21.

REFERENCES

1. Hmara L.A., Kravets S.V., Niche V.V., Nazarov L.V., Skobliuk M.P., Nikitin V.G. *Mashyny dlia zemlianykh robot* [Machines for land works]. Rivne; Dnipropetrovsk; Harkiv, 2010, 557 p. (in Russian).
2. Balovnev V.I., Hmara L.A., Stanevskiy V.P. and Nemirovskiy P.I. *Stroitenye roboty i manipulyatory* [Build

works and manipulators]. Kiev: Budivelnik Publ., 1991, 136 p. (in Russian).

3. Hmara L.A., Kulyk I.A., Pikush Yu.S., and Bodnar O.M. *Doslidzhennia tehnologii montazhu bordiurnykh kameniv za dopomogoiu manipulatornogo obladnannia* [Research of curbstones mounting technologies using manipulative equipment]. *Stroytelstvo, materialovedenie, mashynostroenie* [Construction, materials science, machine engineering]. *Pod'emno-transportnye, stroytel'nye i dorozhnye mashyny i oborudovanie* [Handling, building and road machines and equipment]. Prydnpr. gos. akad. str-va y arhytektury, Dnepropetrovsk, 2010, iss. 57, pp. 90-94. (in Ukrainian).
4. Hmara L.A., Kulik I.A. and Pikush Yu.S. *Issledovanie kinematcheskikh parametrov privoda i opredelenie proizvoditenosti manipulatornogo oborudovaniya dlya ukladki bordyurnykh kamney* [Researching of drive kinematic parameters and determination of manipulative equipment performance for laying curbstones]. *Stroytelstvo, materialovedenie, mashynostroenie* [Construction, materials science, machine engineering]. *Intensifikatsiya rabochikh protsessov stroitelnykh i dorozhnykh mashin* [The work processes intensification of building and road machines]. Prydnpr. gos. akad. str-va i arhytektury, Dnepropetrovsk, 2011, iss. 63, pp. 117-128. (in Russian).
5. Hmara L.A. and Kulik I.A. *Optimizatsiya vybora gidrotsilindrov i rascheta parametrov rychazhnogo gidromekhanizma* [Optimization of hydraulic cylinders selection and calculating the parameters of lever hydraulic mechanism]. *Stroytel'nye i dorozhnye mashyny* [Building and road machines]. 1991, no. 6, pp. 19-21. (in Russian).
6. Hmara L.A. *Stroytel'nye manipulyatory i roboty* [Building manipulators and works]. Dnepropetrovsk: DISI, 1993, 385 p. (in Russian).
7. Kostyuk V.I., Gavrish A.P., Yampolskiy L. S. and Karlov A.G. *Promyshlennyye roboty. Konstruirovaniye, upravleniye, ekspluatatsiya* [Industrial works. The construction, management, operation]. Kiev: Vyshcha shkola Publ., 1985, 359 p. (in Russian).
8. Frenkel G.Yu. *Robotizatsiya processov v stroitel'stve* [Robotisation of construction processes]. Moscow: Stroyizdat Publ., 1987, 173 p. (in Russian).
9. Kirichenko I.G. *Kompyuternoe i fizicheskoe modelirovaniye stroitel'nykh i dorozhnykh mashin* [Computer and physical modelling of building and road machines]. *Vestnik Kharkovskogo natsionalnogo avtomobilno-dorozhnogo universiteta* [Bulletin of Kharkiv National Automobile and Highway University]. Kharkov, 2014, iss. 65-66, pp. 16-20. (in Russian).
10. Balovnev V.I. *Modelirovaniye protsessov vzaimodeystviya so sredoy rabochikh organov dorozhno-stroyitel'nykh mashin* [Processes modelling of an interaction with the working bodies environment of road-building machines]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1981, 335 p. (in Russian).
11. Alyamovskiy A.A., Odintsov E.V., Ponomarev N.B., Sobachkin A.A. and Kharitonovich A.I. *SolidWorks. Kompyuternoe modelirovaniye v inzhenernoy praktike* [SolidWorks. Computer modelling in the engineering practice]. Saint Petersburg: BHV-Petersburg Publ., 2005. 800 p.
12. Kirichenko I.G. *Osobennosti komp'yuternogo modelirovaniya operatsiy funkcional'no-tehnologicheskogo analiza* [Computer modelling features of functional and technological analysis operations]. *Stroytel'stvo, materialovedenie, mashynostroenie* [Construction, Material Science, Mechanical Engineering]. Prydnpr. gos. akad. str-va i arhytektury [Prydniprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture]. Dnepropetrovsk, 2010, iss. 57, pp. 19-21. (in Russian).