

DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-1-95-100

<sup>1</sup>Уваров В.А., <sup>2</sup>Кайтуков Б.А., <sup>2,\*</sup>Скель В.И.<sup>1</sup>Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова<sup>2</sup>Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

\*E-mail: SkelVI@mgsu.ru

## ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ЭКСКАВАТОРЫ И КРАНЫ С МОДУЛЬНЫМИ МЕХАНИЗМАМИ ПРИВОДА

**Аннотация.** Рассмотрена проблема ограничения типоразмерного ряда механизмов привода гидравлических экскаваторов и самоходных стреловых кранов при широкой унификации их элементов. Такой подход позволяет повысить серийность продукции, снизить издержки при проектировании и производстве, повышает долговечность машин и сокращает сроки освоения новой техники. Проведен анализ производства отечественных экскаваторов и кранов, который представлен в табличном варианте и последовательностью логических шагов, позволяющих обеспечить системный подход к разработке рациональных конструкций гидравлических экскаваторов и кранов. Анализ показал, что целесообразно провести унификацию на модульном принципе формирования некоторых сборочных единиц и, в первую очередь, опорно-поворотных механизмов этих машин. Предложена методика унификации механизмов поворота и лебедок экскаваторов и кранов на основе унифицированных планетарных гидромеханических блок-модулей. Создание гидравлических экскаваторов и кранов с унифицированными планетарными гидромеханическими механизмами позволяет снизить эксплуатационные затраты и повысить качество механизмов привода экскаваторов и кранов, приводит к снижению себестоимости и трудоемкости изготовления. Унификация на модульном принципе и последующая кооперация деталей, агрегатов и сборочных единиц позволяет расширить возможности по наращиванию объемов производства, обеспечивает межвидовую унификацию их основных элементов.

**Ключевые слова:** гидравлический экскаватор, кран, механизм поворота, механизм лебедки, унификация, блок-модуль, планетарная передача, гидромотор.

**Введение.** Экскаваторы предназначены для землеройной работ. Они широко используются в промышленном, дорожном, аэродромном и гидротехническом строительстве. По типу силовых передач движения от двигателя к рабочему механизму экскаваторы делятся на гидравлические и механические. Полноповоротные гидравлические экскаваторы – универсальные землеройные машины, базовая часть которых включает ходовую тележку с нижней рамой, опорно-поворотное устройство и поворотную платформу с расположенными на ней насосно-силовой установкой, узлами гидравлической системы привода и кабиной машиниста. В приводе поворотной платформы используют механизмы, состоящие из гидромотора, редуктора и открытой зубчатой пары – шестерни выходного вала редуктора и зубчатого венца опорно-поворотного устройства.

При погрузочно-разгрузочных работах и монтаже широкое распространение получили стреловые самоходные краны. Они обладают хорошей маневренностью и легкостью управления, что позволяет применять их на рассредоточенных объектах. Краны состоят из следующих составных частей: базовой машины, поворотной платформы, на которой установлена стрела и смонтированы рабочие механизмы.

Экскаваторы и краны оборудованы гидравлическим приводом, коробками передач, стре-

лами, ковшами, мостами, гидроцилиндрами, механизмами поворота и грузовыми лебедками. Конструкции их являются агрегатированными, что позволяет их компоновать из унифицированных модульных механизмов. Применение унифицированных узлов и деталей является основой метода агрегатной сборки различных машин, осуществления широкой кооперации и специализации.

Такой подход позволяет повысить серийность продукции снизить издержки при проектировании и производстве, повышает долговечность машин и сокращает сроки освоения новой техники [1, 2, 3].

**Методология.** В технике под унификацией понимают приведение видов продукции и средств ее производства к рациональному числу типоразмеров, марок исполнений [1, 2, 3]. Принцип создания унифицированных машин и организации их специализированного производства был положен в основу при создании гидравлических экскаваторов и кранов, еще в конце 20 века. В этот период все типоразмеры универсальных гидравлических экскаваторов выполнялись с некоторой унификацией узлов и агрегатов. Так, изготовители универсальных одноковшовых экскаваторов на пневмоколесном ходу организовывали производство ряда унифицированных сборочных единиц, что дало возможность на базе

разделения труда широкой взаимной кооперации. При этом повысилась производительность труда, уменьшилась трудоемкость и себестоимость изготовления унифицированных единиц, агрегатов и машин. При создании новых кранов была поставлена задача – на базе модульного принципа проектирования обеспечить максимальную унификацию как внутри каждого типоразмерного ряда, так и между размерными группами кранов. Для определения рациональных границ унификации после изучения конструкций отечественных кранов, их зарубежных аналогов была разработана система поузловой унификации гидравлических кранов. Эти работы обеспечили возможность относительно быстрой организации серийного производства некоторых кранов и экскаваторов.

Анализ производства отечественных кранов и экскаваторов показывает, что целесообразно провести унификацию на модульном принципе формирования некоторых сборочных единиц и, в первую очередь, опорно-поворотных механизмов этих машин. В настоящее время, в зарубежной и отечественной практике, особое значение приобретают вопросы экономии топлива, унификации элементов и повышения технического уровня, что находит отражение в появлении новых решений при разработке систем гидро-механического привода механизмов экскаваторов и кранов, повышении наибольшего рабочего давления. Современный гидропривод позволяет ступенчатого изменять скорость выполнения операции, осуществлять плавные разгон и торможение груза. Применение в приводе грузовой лебедки регулируемого аксиально-поршневого

гидромотора, позволяет дополнительно регулировать частоту вращения барабана лебедки. Рассмотрев различные конструкции, основную номенклатуру, нагрузочные характеристики механизмов и объемы производства экскаваторов и кранов установили, что с 1990 года, в России, выпуск разных типов экскаваторов составил около 100 тысяч штук, а автокранов около 98 тысяч штук. Установили, что при создании новых машин конструкторы стараются обеспечить максимальную унификацию однотипных сборочных единиц внутри ряда машин. Положительный опыт унификации сборочных единиц и механизмов имеется в нескольких моделях экскаваторов 3-й размерной группы, двух модулей экскаваторов 4-ой размерной группы, двух моделей 5-й группы, а также некоторых кранов.

При проектировании новых машин зарубежные фирмы в качестве девиза принимают положение: чем меньше элементов и базовых механизмов применяются, тем проще и дешевле их производство. Качество составных частей машин определяет технический уровень и востребованность машин на рынке, что достигается целесообразной унификацией [4, 5].

При создании группы экскаваторов, в качестве базовой машины применяли одноковшовый экскаватор ЭО-3323А на пневмоколесном ходу, с ковшем емкостью 0,65 м<sup>3</sup>. Конструкция этого экскаватора является агрегатированной, что позволяет компоновать их унифицированными сборочными единицами. В табл. 1 представлены технические характеристики отечественных экскаваторов.

Таблица 1

## Технические характеристики экскаваторов

Марка экскаватора	ЕК-6	ЭО-3323А	ЕК-18	ЭО-3123	ЕТ-20	ЕТ-25
Емкость ковша, м <sup>3</sup>	0,4	0,65	1,0	0,65	1,0	1,4
Масса, т	7,05	12,4	16	13,5	17,8	25
Давление в гидросистеме, МПа	28	28	28	28	28	28
Скорость, км/ч	30	20	20	2,8	2,34	2,3
Радиус копания, м	6,9	8,2	9,1	8,2	9,4	9,5
Глубина копания, м	3,87	4,7	5,77	4,96	6,0	6,2
Высотка выгрузки, м	5,42	5,63	6,24	5,37	6,2	6,7
Угол поворота ковша	178°	180°	177°	180°	170°	177°
Двигатель на поворотной платформе	Д-243(л)	Д-243(л)	Д-245	Д-243(л)	Д-245	Д-260
Частота вращения вала двигателя, мин <sup>-1</sup>	2200	2200	2200	2200	2200	2100

Отечественная промышленность выпускала краны грузоподъемностью 25; 40; 63; 100; 160; 250 т на специальном шасси автомобильного типа, грузоподъемностью: 16, 20, 25; 40 т и 50 т,

на короткобазовых шасси, а также дизель-электрические грузоподъемностью: 63, 100, 160 и 250 т.

При создании новых кранов конструкторы решали задачу: разработать на модульном принципе типоразмерный ряд внутри ряда и между размерными группами кранов.

Модуль – основная, наиболее сложная и трудоемкая часть машины [5]. Краны условно

можно разделить на три размерные группы: грузоподъемностью 25-40 т, 63-100 т и 100-250 т. В табл. 2 представлены технические характеристики некоторых отечественных кранов.

Таблица 2

## Технические характеристики автокранов

Марка крана	КС-35714	КС-45719	КС-55713	КС-5576	КС-6574	КС-6576 СКАМ-50	КС-7976
Грузо-подъемность, т	16	20	25	32	40	50	70
Длина стрелы, м	8–12	9,7–21,7	9,7–21,7	30,7	10,1–30,3	34(32)	21,5–29
Вылет, м	3,3–5,5 5,7	3,85–6	4,2–5,6 6	3,0–20	3,0–25,0	25	32
Высота подъема, м	8–13	21,8	21,9	10,5–31,3	10,5–30,3	48,6(48)	56
Частота вращения поворотной платформы, мин <sup>-1</sup>	0,12,65	2,2	1,4	0,2–2,0	1,0	1,5(1,46)	0,2
Грузовой момент, тм	42	64	80	98	120	150	210
База автомобиля	ГАЗ	КАМАЗ	КрАЗ КАМАЗ	КАМАЗ	МЗКТ	МЗКТ КАМАЗ	МЗКТ

К конструктивным и эксплуатационным особенностям гаммы кранов можно отнести следующее: наличие специальных шасси автомобильного типа, оснащение их телескопическими стрелами, наличие гидравлического привода механизмов и поворотной платформы со стрелой и гидроцилиндрами, опорно-поворотное устройство.

Зарубежные краностроители – фирмы «Kato», Япония, «Coles», Англия, «Grawe», США, «Liebherr», Германия, на базе широкой унификации составных частей кранов переходят к кооперации при создании и производстве новых кранов. Планетарные механизмы поворота в сочетании с гидромоторами и грузовые лебедки нашли применение в кранах «Coles», «Kato», «Liebherr» и отличаются малым весом, комплектные и надежные в работе.

Поворотная платформа крана соединена с шасси, выполнена в виде планетарной передачи, где в качестве модуля применяется редуктор фирмы «Girmatick», Канада.

**Основная часть.** Анализ различных конструктивных исполнений механизмов поворота и грузовых лебедок кранов зарубежных фирм показал, что главный путь снижения стоимости и повышения технического уровня машин является унификация с использованием конструктивно-отработанных модульных узлов серийного производства или получения их по кооперации [5–12].

На рис. 1, представлена кинематическая схема механизма поворота экскаватора ЭО-3323А, которая унифицирована с механизмами

поворота других экскаваторов Тверского экскаваторного завода. Унификация механизма поворота проведена с бортовыми редукторами, приводом бура и с напорной лебедкой бурильного оборудования, где в качестве передаточного механизма применяется унифицированный планетарный редуктор.

Кинематическую схему механизма поворота (рис.1), можно использовать в качестве механизма поворота платформы крана КС-5576, грузоподъемностью 32 т, подбирая гидромотор и два планетарных модуля [5]. Применение планетарного модуля в механизме поворота крана, позволяет унифицировать его с механизмом поворота экскаватора ЭО-3323А. При замене цилиндрического редуктора на планетарный снижается масса механизма и металлоемкость в 2,2 раза. Наличие у планетарного механизма трех и более сателлитов снижает порог целесообразности кооперации и специализации производства механизмов поворота для экскаваторов и кранов.

Предлагаемый метод унификации механизмов поворота экскаваторов и кранов с подбором аксиально-поршневых гидромоторов на базе планетарных блок-модулей, существенно повышает технический уровень машин. Он является наиболее эффективным средством повышения качества и надежности сборочных единиц и деталей экскаваторов и кранов. На рис. 2 представлена кинематическая схема планетарной грузовой лебедки с гидроприводом фирмы «Liebherr», Германия. Для крана КС-5576 по аналогии с выбором механизма поворота, по ограничительному

документу [5], подбираем планетарные модули, согласно схеме рис. 2.

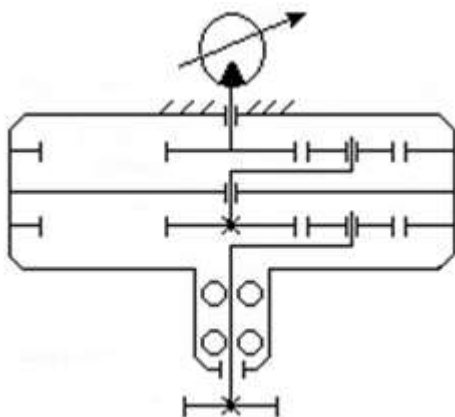


Рис.1. Кинематическая схема планетарного механизма поворота

В зависимости от крутящего момента на первой ступени планетарного редуктора механизма поворота крана (рис. 1) КС-5576,  $T_1=1800$  Нм, выбираем типоразмер модуля,  $r=80$  мм,  $U_{пл1}=8,5$ , с  $b_w=45$  мм, а в качестве второй ступени  $T_2=3900$  нм, типоразмер  $r=112$  мм,  $U_{пл2}=6,7$ , а  $b_w=60$  мм, где  $r$  – радиус расположения осей сателлитов, мм,  $U_{пл}$  – передаточное отношение,  $b_w$  – ширина венца сателлита,  $T_1, T_2$  – момент на водиле первой и второй ступени.

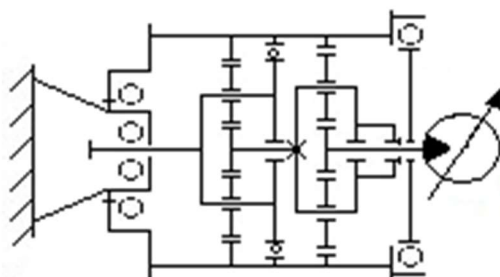


Рис.2. Планетарная грузовая лебедка

В качестве первой ступени планетарной лебедки (рис.2) выбираем модуль  $r=80$  мм,  $U=8,5$  и  $b_w=45$  мм, а второй  $r=80$  мм,  $U=8,5$  и  $b_w=50$  мм [11,12].

**Выводы:** Унификация механизмов привода экскаваторов и кранов способствует повышению их производительности и качества, снижению себестоимости и трудоемкости изготовления. Широкая унификация на модульном принципе и последующая кооперация деталей, агрегатов и сборочных единиц, в том числе механизмов поворота и грузовых лебедок, позволяет расширить возможности по наращиванию объемов производства, обеспечивает межвидовую унификацию их основных элементов и способствует повышению надежности работы экскаваторов и кранов.

*Информация об авторах*

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шарапов Р.Р., Кайтуков Б.А., Степанов М.А. Некоторые проблемы динамики и надежности строительной техники // Механизация строительства. 2017. Т 78. №7. С. 5–8.
2. Кудрявцев Е.М., Степанов М.А. Строительные краны. Часть 1. Башенные краны. Основы теории конструкции и расчета. Учебник изд. АСВ. Москва, 2016. 330 с.
3. Янсон Р.А. Экскаваторы одноковшовые полноповоротные. Учебное пособие. Изд-во АСВ. Москва, 2013. 108 с.
4. Черкасов В.А., Кайтуков Б.А., Капырин П.Д., Скель В.И., Степанов М.А. Надежность машин и механизмов. Учебник. Министерство образования и науки РФ. Национальный исследовательский Московский Государственный Строительный Университет. Москва. НИУ МГСУ, 2015. 272 с.
5. Кайтуков Б.А., Скель В.И., Горяйнова П.О. Гравитационные бетоносмесители с унифицированными механизмами привода // Вестник БГТУ им. В.Г.Шухова. 2019. №2. С. 137–143.
6. Густов Ю.И., Степанов М.А., Кайтуков Б.А. Анализ конструктивно-расчетных схем бетоносмесителей // Механизация строительства. 2013. №12. С. 10–12.
7. Plavelsky E.P., Sharapov R.R. The Problems of Dynamics of Wheeled Vehicles with Flow Able Building Cargo // International Conference on Industrial Engineering, ICIE. 2017. Vol. 206. Pp. 86–92.
8. Plavelsky E., Sharapov R. (2018) Modeling of Movement the Flowable Building Load in the Operating Vessel of Vehicle // International Scientific Conference Energy Management of Municipal Transportation Facilities and Transport, EMMFT, 2017, Advances in Intelligent Systems and Computing. Vol. 692. Springer, Cham.
9. Степанов М.А., Цибилов Я.И. Анализ работоспособности гидравлического подъемника // Механизация строительства. №11. 2017. С. 9–12.
10. Руководящий нормативный документ РД-22-25.183-87. Передачи зубчатые, планетарные, модульные. Редукторы. Схемы компоновок. Министерство СДиКМ. СССР. Москва, 1987.
11. Руководящий нормативный документ РД 22-25.180-87. Передачи зубчатые, планетарные, модульные. Конструктивные исполнения. Технические параметры. Министерство СДиКМ. СССР. Москва, 1987.
12. Шарапов Р.Р., Уваров В.А., Орехова Т.Н. Теория наземных транспортно-технологических машин. Учебное пособие. Белгород. БГТУ, 2014.

**Уваров Валерий Анатольевич**, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой теплогазоснабжения и вентиляции. E-mail: v\_a\_uvarov@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д.46.

**Кайтуков Батраз Амурханович**, кандидат технических наук, доцент кафедры механизация строительства. E-mail: KaitukovBA@mail.ru. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, Москва, ул. Ярославское шоссе, д. 26.

**Скель Владимир Израилевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры механизация строительства. E-mail: SkelVI@mgsu.ru. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, Москва, ул. Ярославское шоссе, д. 26.

Поступила в ноябре 2019 г.

© Уваров В.А., Кайтуков Б.А., Скель В.И., 2020

<sup>1</sup>Uvarov V.A., <sup>2</sup>Kaytukov B.A., <sup>2,\*</sup>Skel V.I.

<sup>1</sup>Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhova

<sup>2</sup>National Research Moscow State University of Civil Engineering

\*E-mail: SkelVI@mgsu.ru

## HYDRAULIC EXCAVATORS AND CRANES WITH MODULAR DRIVE MECHANISMS

**Abstract.** *The problem of limiting the standard-size range of drive mechanisms for hydraulic excavators and self-propelled jib cranes with a wide unification of their elements is considered. This approach allows to increase the serialization of products to reduce costs in the design and production, increases the durability of machines and reduces the time of development of new equipment. The analysis of the production of domestic excavators and cranes is carried out. It is presented in a tabular version and a sequence of logical steps to provide a systematic approach to the development of rational designs of hydraulic excavators and cranes. The analysis showed that it is advisable to carry out unification on the modular principle of the formation of some units and, first of all, of slewing mechanisms of these machines. The technique of unification of turning mechanisms and winches of excavators and cranes based on unified planetary hydromechanical block modules is proposed. Creating hydraulic excavators and cranes with unified planetary hydromechanical mechanisms allows you to reduce operating costs and improve the quality of drive mechanisms for excavators and cranes, reducing the cost and complexity of manufacturing. Unification on a modular principle and the subsequent cooperation of parts, assemblies and units allows expanding opportunities to increase production volumes, provides interspecific unification of their basic elements.*

**Keywords:** *hydraulic excavator, crane, turning mechanism, winch mechanism, unification, block module, planetary gear, hydraulic motor.*

### REFERENCES

1. Sharapov R.R., Kaytukov B.A., Stepanov M.A. Some problems of the dynamics and reliability of construction equipment [Nekotorye problemy dinamiki i nadezhnosti stroitel'noj tekhniki]. Mechanization of construction, 2017. Vol. 78. No. 7. Pp. 5–8. (rus)
2. Kudryavtsev E.M., Stepanov M.A. Construction cranes. Part 1. Tower cranes. Fundamentals of the theory of design and calculation [Stroitel'nye krany. CHast' 1. Bashennye krany. Osnovy teorii konstrukcii i rascheta]. Textbook ed. ACB. Moscow, 2016. 330 p.
3. Janson R.A. Excavators single-bucket full-turn [Ekskavatory odnokovshovye polnoporotnyye]. Tutorial. Publisher ACB. Moscow 2013. 108 p. (rus)
4. Cherkasov V.A., Kaytukov B.A., Kapyrin P.D., Skel V.I., Stepanov M.A. Reliability of machines and mechanisms [Nadezhnost' mashin i mekhanizmov]. Textbook. Ministry of Education and Science of the Russian Federation. National Research Moscow State University of Construction. Moscow. NRU MGSU, 2015. 272 p. (rus)
5. Kaytukov B.A., Skel V.I., Goryaynova P.O. Gravity mixers with unified drive mechanisms [Gravitacionnye betonosmesiteli s unificirovannymi mekhanizmami privoda]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 2. Pp. 137–143. (rus)
6. Gustov Yu.I., Stepanov M.A., Kaytukov B.A. Analysis of design and design schemes of concrete mixers [Analiz konstruktivno-raschetnyh skhem betonosmesitelej]. Mechanization of construction. 2013. No. 12. Pp. 10–12. (rus)
7. Plavel'sky E.P., Sharapov R.R. The Problems of Dynamics of Wheeled Vehicles with Flow Able

Building Cargo. International Conference on Industrial Engineering, ICIE, 2017. Vol. 206. Pp. 86–92.

8. Plavelsky E., Sharapov R. (2018) Modeling of Movement the Flowable Building Load in the Operating Vessel of Vehicle. International Scientific Conference Energy Management of Municipal Transportation Facilities and Transport, EMMFT, 2017. Advances in Intelligent Systems and Computing. Vol. 692. Springer, Cham.

9. Stepanov M.A., Tsibikov Ja.I. Analysis of the hydraulic lift [Analiz rabotosposobnosti gidravlicheskogo pod"emnika]. Mechanization of construction. No. 11. 2017. Pp. 9–12.

10. Guiding normative document RD-22-25.183-87. Transmissions are gear, planetary, mod-

ular. Gearboxes. Layout layouts [Peredachi zubchatye, planetarnye, modul'nye. Reduktory. Skhemy komponovok]. Ministry SDiKM. USSR. Moscow, 1987. (rus)

11. Guiding normative document RD 22-25.180-87. Transmissions are gear, planetary, modular. Designs. Technical specifications [Peredachi zubchatye, planetarnye, modul'nye. Konstruktivnye ispolneniya]. Ministry SDiKM. USSR. Moscow, 1987. (rus)

12. Sharapov R.R., Uvarov V.A., Orekhova T.N. Theory of ground transport and technological machines [Teoriya nazemnyh transportno-tehnologicheskikh mashin]. Tutorial. Belgorod. BSTU, 2014. (rus)

#### *Information about the authors*

**Uvarov, Valeriy A.** DSc, Professor. E-mail: v\_a\_uvarov@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

**Kaitukov, Batraz A.** PhD, Assistant professor. E-mail: KaitukovBA@mail.ru. Moscow State University of Civil Engineering (MGSU) National Research University. Russia, 129337, Moscow, st. Yaroslavskoye Shosse, 26.

**Skel, Vladimir I.** PhD, Assistant professor. E-mail: SkelVI@mgsu.ru. Moscow State University of Civil Engineering (MGSU) National Research University. Russia, 129337, Moscow, st. Yaroslavskoye Shosse, 26.

---

*Received in November 2019*

#### **Для цитирования:**

Уваров В.А., Кайтуков Б.А., Скуль В.И. Гидравлические экскаваторы и краны с модульными механизмами привода // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 1. С. 95–100. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-1-95-100

#### **For citation:**

Uvarov V.A., Kaytukov B.A., Skel V.I. Hydraulic excavators and cranes with modular drive mechanisms. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 1. Pp. 95–100. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-1-95-100