

ОБЗОР И АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ ЛУЧШИХ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ РЕЧНЫХ ДНОУГЛУБИТЕЛЬНЫХ ЗЕМЛЕСОСОВ

В. И. Любимов¹, Н. Ф. Попов¹, Г. И. Сапунов²

¹ *Волжский государственный университет водного транспорта,
Нижний Новгород, Российская Федерация*

² *Волжский государственный университет водного транспорта,
Каспийский институт морского и речного транспорта (филиал),
Астрахань, Российская Федерация*

Исследовано развитие и отражена модернизация энергетического и технологического оборудования, проанализирована производительность по грунту землесосов проектов как зарубежных, так и отечественных производителей дноуглубительной техники. Сделан акцент на установку и использование погружных насосов. Отмечено увеличение производительности по грунту землесосов ввиду изменения конструкции грунтозаборных устройств и грунтовых насосов. Рассмотрены и оценены основные характеристики американских речных землесосов с гидравлическими рыхлителями и отечественных речных дизельных землесосов с гидравлическими рыхлителями грунта. Изучены проекты землесосов, построенных во Франции и Нидерландах. Для сравнения технических и экономических показателей землесоса стандартного типа «Beaver 1600» и отечественного землесоса проекта 82080 (производительностью 800 м³/ч) были проведены расчеты специалистами Волжского государственного университета водного транспорта. Проиллюстрированы схема землесоса «ТРН-3000» (Франция), включающего рубку управления, фрезерный рыхлитель, раму грунтозаборного устройства, погружной грунтовой насос, анкерную опору и др.; схема землесоса «ХАМ-219» (Нидерланды); схема землесоса фирмы «Элликот» (США); схема отечественного землесоса 350-50ЛПГ, созданного на базе землесоса класса 350-50Л; землесоса С-55П; схема землесоса фирмы «Беното» (Франция), включающего механический рыхлитель, грунтовой насос, гидрорыхлитель грунтового насоса, раму и гидроцилиндр подъема и опускания рамы. Сделаны выводы о том, что отечественные землесосы не уступают зарубежным с учетом оборудования российским роторно-ковшовым рыхлителем нового типа для работы на внутренних водных путях России. Проведена финансовая оценка строительства новых отечественных землесосов.

Ключевые слова: грунтовые насосы, землесос, грунтозаборное устройство, дноуглубительные работы, грунты.

Для цитирования: Любимов В. И., Попов Н. Ф., Сапунов Г. И. Обзор и анализ показателей работы лучших отечественных и зарубежных речных дноуглубительных землесосов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2020. № 2. С. 39–53. DOI: 10.24143/2073-1574-2020-2-39-53.

Введение

Дноуглубительные снаряды по своей конструкции весьма разнообразны, что обусловлено различием свойств извлекаемых грунтов, условиями их складирования и т. д.

По принципу действия дноуглубительные снаряды разделяются на землесосные, черпаковые, скалодробильные, дноочистительные и др.

В 1864 г. во Франции П. Базеном [1] был изобретен один из типов дноуглубительных земснарядов, землесос с центробежным насосом, а в 1867 г. – землесос с предварительным механическим рыхлением грунта. Землесос с гидравлическим рыхлителем грунта был впервые предложен в США в 1893 г. В этом же году в России мастерскими Василевского затона (в настоящее время ПАО «Чкаловская судовой верфь») был построен первый отечественный землесос.

Строительство [1] землесосов возрастающими темпами началось лишь в первой половине XX в., после того, как были созданы экономичные конструкции водогрунтовых насосов и эффективных средств для предварительного рыхления грунта. Землесосы, не имеющие средств

для предварительного рыхления грунта, считаются в настоящее время устаревшими. Они применялись только для разработки легких грунтов. Однако опыт США [1] свидетельствует, что и при извлечении легких грунтов землесосы целесообразно оснащать специальными рыхлительными устройствами, в частности гидравлическими.

Землесосы, оснащенные механическими рыхлителями, предназначены для работы на тяжелых грунтах.

Сравнительный анализ характеристик отечественных и зарубежных дноуглубительных землесосов

При производстве дноуглубительных работ на водных путях чрезвычайно важно получить достаточно ровную поверхность дна. Часто землесосам приходится снимать слои наносов малой толщины [1] для быстрого восстановления необходимых судоходных глубин на обмелевших перекатах значительной протяженности. По мнению американских специалистов, землесос «Джедвин» для этих условий был лучшим на реках США. Самоходный и оснащенный спрямленным управляемым грунтопроводом, он был одним из серии построенных в 30-х гг. прошлого столетия землесосов. Скорость хода землесосов «Джедвин» и «Бургес» составляла 17,5 км/ч, землесосов «Капитан Кларк» и «Капитан Левис» – 18,5 км/ч. Основные характеристики американских землесосов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Основные характеристики американских речных землесосов с гидравлическими рыхлителями грунта

Характеристики	Землесосы		
	«Джедвин», «Бургес»	«Поттер», «Оккерсон»	«Капитан Левис», «Капитан Кларк»
Главные размерения корпуса судна (длина, ширина, высота борта), м	74,5 × 15,8 × 2,74	65,5 × 11,0 × 2,74	82,0 × 15,24 × 2,59
Осадка, м	1,98	1,52	1,22
Производительность по грунту, м ³ /ч	Свыше 2 290	До 1 700	Свыше 1 910
Длина рефулирования, м	До 245	122–183	Вертикальная
Тип рефулерного двигателя	Паровая турбина	Паровая турбина	Паровая машина
Мощность рефулерного двигателя, л. с.	1 800	1 250	1 400
Мощность гребных двигателей, л. с.	2 × 1 100	2 × 950	1 600
Суммарная поверхность нагрева паровых котлов, м ²	4 × 290	2 × 390	845

По мнению российских специалистов, лучшим на водных путях бывшего СССР в 40-х гг. прошлого века был землесос «Сормовский-1». Один из этих землесосов (проекта 12), построенный в 1950 г., находится в рабочем ядре ФГУ «Северо-Двинского ГБУВПиС» до настоящего времени. Он явился прототипом для серии землесосов проекта 23-110 (тип ДЭ-1), построенных в бывшей ЧССР, наряду с существующими в настоящее время серийными отечественными речными дноуглубительными землесосами (табл. 2).

Таблица 2

Основные характеристики отечественных речных дизельных землесосов с гидравлическими рыхлителями грунта

Характеристики	Землесосы					
	Кубанский-106 (проект 246Б)*	Волжский-201 (проект 324)	Сормовский-1 (проект 12)	Тип ДЭ-1	Тип ДЭ-725	Проект ЗС-2500
Длина и ширина корпуса судна (теоретические), м	19,0 × 7,0	25,8 × 7,5	40,0 × 9,2	42,5 × 9,0	50,0 × 9,2	64,6 × 10,55
Высота борта, м	1,2	1,5	2,85	2,5	2,8	3,0
Осадка, м	0,64	0,75	1,2	1,35	1,36	1,5
Производительность по грунту, м ³ /ч	150	250	600	600	1 000	2 500
Максимальная глубина всасывания, м	4,5	8	11	11	11	14
Длина рефулирования, м	120	250	400	400	500	600
Диаметр нагнетательного грунтопровода, м	0,3	0,4	0,5	0,5	0,7	0,9

Характеристики	Землесосы					
	Кубанский-106 (проект 246Б)*	Волжский-201 (проект 324)	Сормовский-1 (проект 12)	Тип ДЭ-1	Тип ДЭ-725	Проект ЗС-2500
Мощность рефулерного двигателя, л. с.	150	225	350	380	800	1 680
Наличие собственных движителей	Есть	Нет	Нет	Нет	Нет	Есть
Завод-строитель	Краснодарский ССРЗ	Чкаловский ССРЗ	«Красное Сормово»	Чешская Лоденице		

* Рыхлителей не имеют.

Путем модернизации энергетического и технологического оборудования [2] производительность по грунту землесосов проектов 12 и 23-100 была повышена до 700 м³/ч (табл. 3), позднее – и до 750 м³/ч, а проектов 246Б и 324 – до 250 и 350 м³/ч соответственно.

Таблица 3

Основные характеристики и технические показатели модернизированных речных дноуглубительных землесосов

Характеристики	Значение характеристики для землесоса проекта				
	246 В	324 А	23-110	23-112	1-517-01
Длина и ширина корпуса, м	21,4 × 7	25,8 × 7,5	42,47 × 9	58 × 9,2	64,6 × 10,55
Высота борта, м	1,2	1,5	2,5	2,8	3
Осадка, м	0,67	0,64	1,28	1,43	1,68
Техническая производительность, м ³ /ч	250	350	700	1 000	2 500
Максимальная глубина всасывания, м	6	8	11	11	14
Диаметр нагнетательного трубопровода, мм	300	400	500	700	900
Дальность отвода грунта, м	120	250	400	500	600
Мощность главного двигателя, кВт	110	165	400	590	1 230
Общая установленная мощность, кВт	140	240	400–565	1 190	2 250
Наличие движителей	Есть	Нет	Нет	Нет	Есть

В 1989 г. в бывшей ЧССР был построен землесос проекта 1-516 с производительностью по грунту 600 м³/ч, оснащенный современной системой автоматизации управления технологическим процессом извлечения и транспортирования грунта.

Из представленных в табл. 2 и 3 будут списаны по сроку службы землесосы проектов 246, 324, 23-110 и 23-112. Останутся в эксплуатации на ближайшие 10–15 лет землесосы проектов 1-516 и 1-517.

Согласно исследованиям ФГБОУ ВО «Волжский государственный университет водного транспорта» (ВГУВТ) типоразмерный ряд землесосов до 2015 г. будет представлен новыми экономичными землесосами с производительностью по грунту 400, 600, 750–800, 1 500–1 600, 2 500–3 000 м³/ч. Сравним их технические показатели с аналогичными показателями близких по условиям эксплуатации и производительности новыми землесосами зарубежных стран.

Отметим, что перспективным направлением в отечественной и зарубежной практике [2] является использование погружных грунтовых насосов с целью повышения насыщения перекачиваемой водогрунтовой смеси и, как следствие, производительности землесосов по грунту. Таким может быть основной насос, установленный под водой на раме грунтозаборного устройства, либо так называемый бустерный насос, соединенный последовательно с основным, расположенным на корпусе землесоса.

Среди зарубежных землесосов с погружными грунтовыми насосами следует выделить: «ТРН» (Франция), «ХАМ» (Нидерланды), «Элликот» (США), «Ол Седик» (изготовитель – концерн «Мицубиси», Япония) [3].

Землесосы типа «ТРН» строит французская фирма «Гидроланд». Данный тип землесосов предназначен для очистки акваторий портов и добычи строительных материалов (рис. 1).

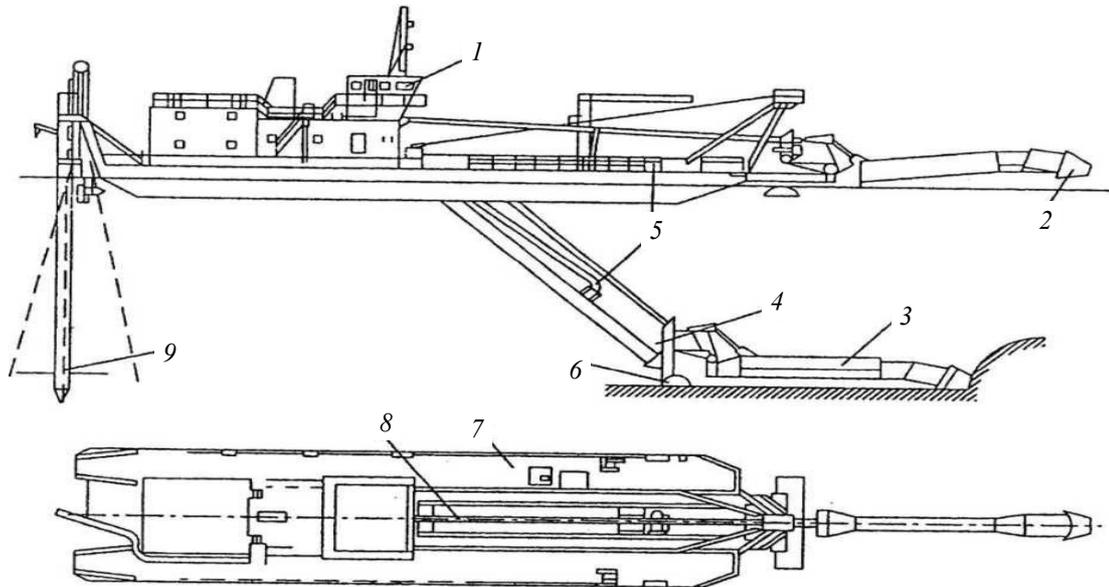


Рис. 1. Землесос «ТРН-3000»:

1 – рубка управления, 2 – фрезерный рыхлитель; 3 – концевая часть рамы;
4 – рама грунтозаборного устройства; 5 – погружной грунтовой насос; 6 – анкерная опора;
7 – корпус; 8 – вал привода насоса с карданным сочленением; 9 – сваи

Два понтона катамаранного типа связаны между собой одним плавучим блоком, на котором смонтирован энергетический дизельный блок. Рама грунтозаборного устройства – трубчатая, на ней установлен погружной грунтовой насос. Привод грунтового насоса осуществляется от дизеля через редуктор посредством длинного вала с карданным соединением. Это обеспечивает передачу вращения от горизонтально установленного дизеля на раму, опускаемую на угол до 45°. Рама имеет анкерную опору, которая в процессе работы опирается на грунт. Концевая часть рамы с рыхлителем шарнирно закреплена на анкерной опоре и с помощью гидравлических домкратов поворачивается на 90° («ТРН-600») и на 125° («ТРН-1200» и «ТРН-3000»). Наклон рамы также регулируется с помощью гидроцилиндров. Фрезерный рыхлитель с гидроприводом в процессе работы всегда расположен горизонтально благодаря наличию анкерной опоры. Передвижение землесоса бесканатное, с помощью наклона свай, т. е. при наклоне свай на угол 20° обеспечивается подача землесоса вперед. В процессе работы землесос фиксируется на трех точках (две сваи и опора). Подъем свай осуществляется с помощью гидроцилиндров, а опускание – под действием собственного веса свай. Топливо хранится в продольных понтонах. Землесос «ТРН-3000» отличается большим типоразмером конструкции корпуса. Он состоит из одного понтона и имеет вспомогательный дизель мощностью 405 кВт для привода всех вспомогательных потребителей энергии. Технические характеристики землесосов типа «ТРН» приведены в табл. 4.

Таблица 4

Технические характеристики землесосов типа «ТРН» (Франция)

Характеристики	Показатели		
	«ТРН-600»	«ТРН-1200»	«ТРН-3000»
Длина землесоса, м	34,5	45	69
Длина корпуса, м	18	22,5	42
Ширина корпуса, м	5,46	7,8	11,5
Осадка, м	1,0	1,15	1,6
Максимальная высота, м	4,8	7,8	10
Установленная мощность, кВт	293	661	1 433
Мощность рыхлителя, кВт	39	62,5	183
Диаметр всасывающего патрубка насоса, мм	254	406	508
Подача насоса, м ³ /ч	1 200	3 000	6 000
Напор, м	40	50	44
Мощность грунтового насоса, кВт	200	560	1 030
Глубина разработки, м	10	10	17
Длина землесоса, м	34,5	45	69

Землесос «ХАМ-219» (рис. 2) построен судостроительной верфью «ХАМ» (Нидерланды).

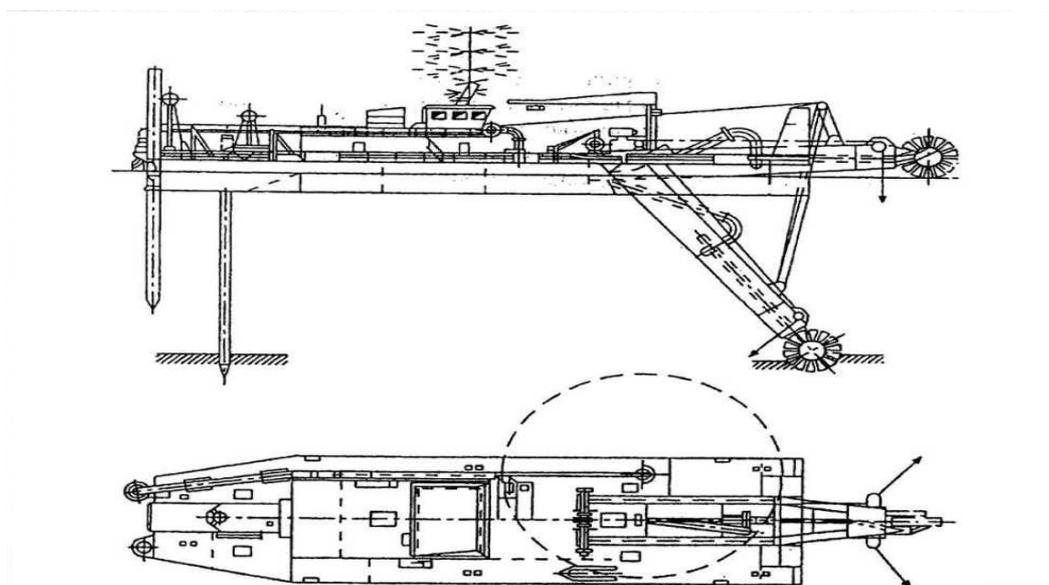


Рис 2. Землесос «ХАМ-219» (Нидерланды)

Предназначен «ХАМ-219» для расчистки водного пути реки Рейн. Землесос «ХАМ-219» оснащен роторно-ковшовым рыхлителем и погружным грунтовым насосом. Привод насоса осуществлен валом от двигателя мощностью 588 кВт, расположенного на раме грунтозаборного устройства выше горизонта воды. При подаче 4 000–5 000 м³/ч погружной насос развивает напор около 25 м (табл. 5).

Таблица 5

Технические характеристики некоторых землесосов производства Нидерландов

Показатели	Землесосы					
	«СО-1127»	«Флаандерен-ХИХ»	«Рубенс»	«Нью-Амстердам»	«Граве-лайнс»	ХАМ-219
Глубина разработки, м:						
– с фрезерным рыхлителем	30	30	25	25	27	20
– со свободным всасом	–	–	–	–	50	–
Мощность привода грунтового насоса, кВт:						
– корпусных	2 × 3 285	2 × 3 240	2 × 2 774	2 × 2 190	2 × 2 680	1 478
– погружных	2 × 1 130	2 × 950	1 170	1 025	895	588
Диаметр трубопровода, мм:						
– всасывающего	900	900	850	800	850	700
– напорного	900	900	850	750	–	700
Габариты, м:						
– длина	95	78	69,6	71,8	76,7	65,5
– ширина	19	18,5	17,0	17,75	26,5	13,8
– высота	7,6	5,95	5,0	5,4	–	–

Землесос «Рубенс» (Нидерланды). Погружной грунтовой насос с двумя приводными двигателями мощностью 584 кВт каждый и редуктором установлены в середине рамы грунтозаборного устройства в герметичном корпусе. Стандартный насос в однокорпусном исполнении имеет диаметр всасывающего и напорного патрубков 850 мм. На борту землесоса установлены два однотипных двухкорпусных грунтовых насоса с приводом каждого через редуктор от дизельного двигателя мощностью 2 774 кВт при частоте вращения 630 мин⁻¹. При последовательной работе трех насосов общий напор составляет 200 м, а глубина разработки – 25 м.

Землесос «НС Beaver 600» выпускается известной судостроительной компанией «НС Holland». Корпус землесоса состоит из трех понтонов: главный понтон, включающий в себя машинное помещение, и два боковых понтона. Размеры всех необходимых узлов таковы, что они могут быть доставлены к месту назначения сухопутным, железнодорожным или водным транспортом.

В конструкции землесоса использован грунтовой насос с приводом через понижающую гидравлическую коробку передач. Основные составляющие главного понтона, вмонтированные внутри или непосредственно на понтоне: фреза, две папильонажные лебедки, рамоподъемная лебедка, управляемые из кабины, грунтовой насос, дизельные двигатели и вспомогательные механизмы, напорный грунтопровод и сваи с приводными механизмами. Фреза, рамоподъемная и две папильонажные лебедки приводятся в действие поршневыми гидравлическими двигателями. Рассмотрим основные характеристики землесоса «ИНС Beaver».

Корпус:

- общая длина, включая раму, – 20,1 м;
- длина понтонов корпуса – 12,5 м;
- ширина – 5,72 м;
- высота понтона – 1,51 м;
- главный понтон – 8,00 × 2,70 × 1,80 м;
- боковые понтоны – 12,00 × 1,47 × 1,47 м;
- максимальная глубина разработки – 8,00 м (минимальная – 4 м);
- средняя осадка с полными бункерами – 1,10 м;
- общий вес – 45 т;
- диаметр напорного пульпопровода – 400 мм.

Грунтовой насос:

- тип ИНС 900-175-350;
- мощность на валу – 390 кВт (530 л. с.);
- главный двигатель Caterpillar 3412DI-TA мощностью 465 кВт (632 л. с.), 1 800 об/мин;
- расход топлива – 217 г/(кВт·ч);
- грунтовой насос приводится в действие через понижающую гидравлическую коробку передач;
- расчетная объемная концентрация гидросмеси – максимум 20 %;
- производительность по грунту – 500–100 м³/ч (в зависимости от дальности гидро-транспортирования и крупности грунта).

Фреза:

- тип ИНС 830-50;
- мощность на валу – 30 кВт (40 л. с.);
- диаметр – 830 мм;
- максимальная частота вращения – 35 мин⁻¹.

Папильонажные лебедки:

- усилие – 40 кН;
- максимальная скорость выбирания каната – 25 м/мин;
- диаметр барабана – 324 мм;
- диаметр каната – 16 мм.

Рамоподъемная лебедка:

- усилие – 40 кН;
- максимальная скорость выбирания каната – 25 м/мин;
- диаметр барабана – 324 мм;
- диаметр каната – 16 мм;
- все лебедки имеют независимый гидравлический привод;
- две папильонажные лебедки оснащены канатами длиной 100 м и якорями весом в 240 кг.

Сваи:

- длина сваи – 11 м;
- диаметр сваи – 368 мм;
- вес сваи – 1 360 кг.

Технические характеристики некоторых землесосов, выпускаемых судостроителями Нидерландов, представлены в табл. 5.

Землесосы фирмы «Элликот» (США). Грунтовой насос и консоль 1 расположены в концевой части рамы 5 грунтозаборного устройства, приводятся от электродвигателя 4 через редуктор 2, смонтированные в тоннеле 3, сообщающемся в верхней части с атмосферой (рис. 3).

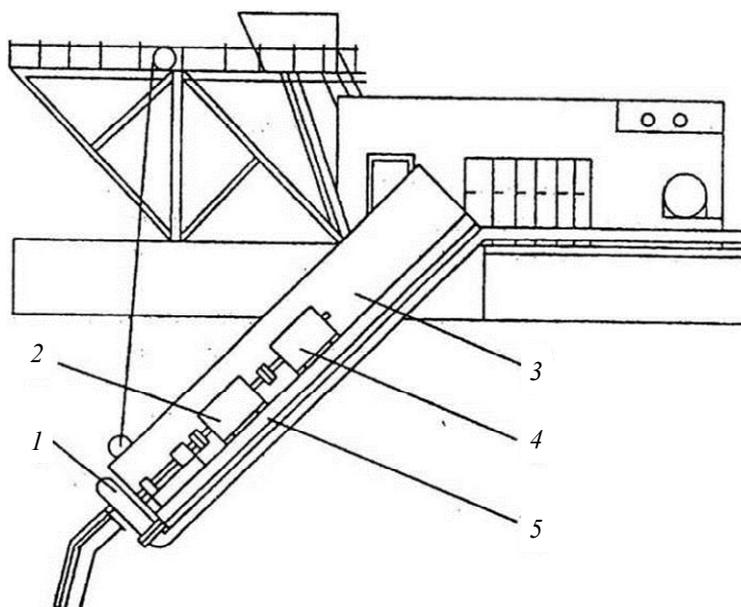


Рис. 3. Схема землесоса фирмы «Элликот» (США)

Землесос «Дизель» (США). Рама грунтозаборного устройства длиной 20,5 м дополнена тремя секциями длиной по 9 м каждая. Погружной насос с диаметром всасывающего патрубка 762 мм установлен на одной из дополнительных секций. Привод насоса осуществлен от двух соосно расположенных двигателей мощностью 331 кВт каждый, заключенных вместе с редуктором в герметичную камеру. Максимальная глубина разработки – 30 м. Масса рамы грунтозаборного устройства – 176 т, для увеличения ее плавучести снабжена двумя поплавками длиной 9,7 м, шириной 3,6 м и высотой борта 3,9 м каждый. При глубине разработки 25 м дальность подачи составляет до 5 800 м при высоте подачи 20 м. Интересен успешный опыт работы землесоса «Дизель» с дюкером, длина которого составила 1 500 м.

«Ол Седик» изготовлен концерном «Мицубиси» (Япония) для работ по очистке Суэцкого канала. Землесос оснащен тремя грунтовыми насосами – погружным и двумя трюмными, которые могут работать либо каждый самостоятельно, либо по гибкой последовательной схеме. Погружной насос опускается под горизонт воды максимально на 6 м. Привод его выполнен от двигателя, расположенного над горизонтом воды через редуктор посредством двухопорного вала. На раме установлен мощный фрезерный рыхлитель. Техническая характеристика землесоса «Ол Седик» представлена в табл. 6.

Таблица 6

Технические характеристики землесоса «Ол Седик»

Характеристики	Показатели
Габариты корпуса:	
– длина, м;	84
– ширина, м;	21
– высота борта, м	5,3
Осадка, м	3,74
Масса, т	2 893
Максимальная глубина разработки, м	25
Трюмный грунтовой насос:	
– подача, м ³ /ч;	1 400
– напор, м;	49
– мощность привода дизеля, кВт	3 680

Характеристики	Показатели
Погружной насос:	
– подача, м ³ /ч;	1 600
– напор, м;	16
– мощность привода двигателя, кВт	1 450

Отечественные землесосы с погружными моноблочными агрегатами представлены в табл. 7.

Таблица 7

**Технические характеристики отечественных землесосов,
оснащенных моноблочными погружными агрегатами**

Характеристики	Тип землесоса					
	180-60П	300-40МП	350-50ЛП	300-40П	400-70П	400-1 ООП
Подача насоса, м ³ /ч	2 500	3 500	4 000	4 000	4 000	4 000
Полный напор при работе погружного и бустерного насосов, м	100	100	100	100	100	100
Тип моноблочного агрегата	ПГМ-2500/60	МБ-20Р-11	ПГМ-4000/57	ПГМ-4000/57	ПГМ-4000/57	ПГМ-4000/57
Мощность агрегата, кВт	800	1 000	1 250	1 250	1 250	1 250
Тип бустерного штатного насоса	16ГрУТ-8М	20Р-11МБ	20Р-11МБ	20Р-11МБ	20Р-11МБ	20Р-11МБ
Мощность привода бустерного насоса, кВт	600–800	1 250	1 250	1 250	1 600	1 600
Тип погружного двигателя	ДПС 16-45-10	АНСК 16-60-12	АПС 16-80-12	АПС 16-80-12	АПС 16-80-12	АПС 16-80-12
Частота вращения, мин ⁻¹	600	500	500	500	500	500
Наибольшая глубина разработки, м	15	26	30	15	20	30
Максимальное погружение оси насоса, м	5,0	7,0	9,3	7,2	8,0	9,0
Длина рамы грунтозаборного устройства, м	19,5	30,0	34,5	19,9	30,0	42,0
Габариты корпуса:						
– длина, м;	22	33	40	33	36	40
– ширина, м;	9,2	13	9,5	13	9,52	13
– высота борта, м	1,5	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0

Промышленностью выпускаются различные модификации землесосов, оснащаемых погружными моноблочными агрегатами, т. е. грунтовыми насосами, сагрегаторованными с электродвигателями в единые блоки.

Остановимся на землесосе 350-50ЛПГ, отличающемся от остальных увеличенной плавучей базой. Землесос 350-50ЛПГ (рис. 4) создан на базе землесоса класса 350-50Л.

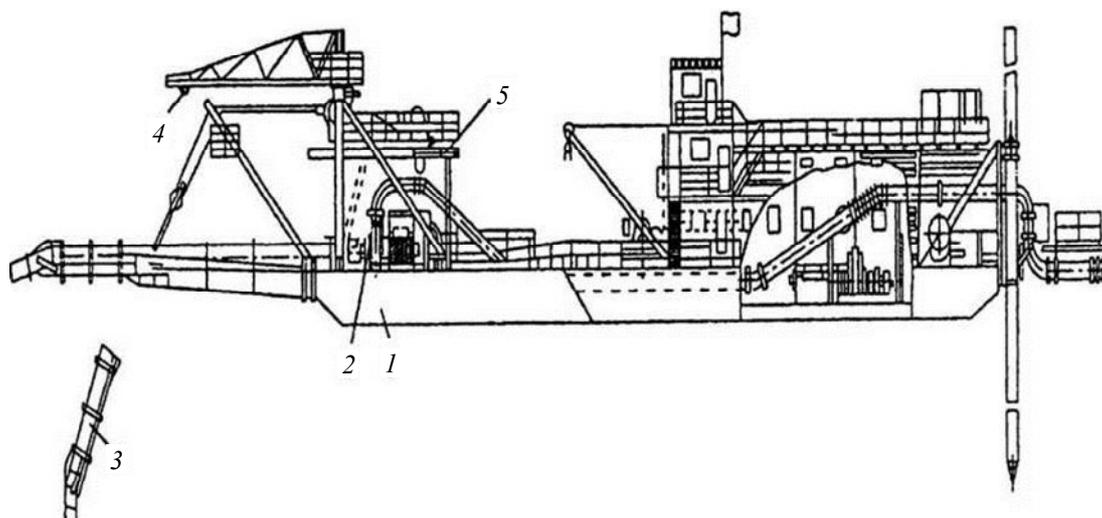


Рис. 4. Землесос 350-50ЛПГ: 1 – дополнительный понтон; 2 – погружной моноблочный агрегат; 3 – грунтозаборное устройство; 4 – полноповоротный кран; 5 – монорельс

Землесос 350-50ЛПГ состоит из увеличенной плавучей базы за счет внедрения в нее двух дополнительных понтонов размером $12,3 \times 2,55 \times 2,013$ м. Установка грунтозаборного устройства с погружным моноблочным агрегатом предусматривается в двух вариантах: с насосом 16ГрУТ-8М и 20Р-11МБ. Землесос оснащен полноповоротным краном грузоподъемностью 32 кН и дополнительным монорельсом штатной грузоподъемности.

Землесос С-55П (рис. 5) создан по проекту ФГУП «ВНИПИИстромсырье» с моноблочным агрегатом ПГМ-2000/63 для разработки грунтов с глубины до 18 м.

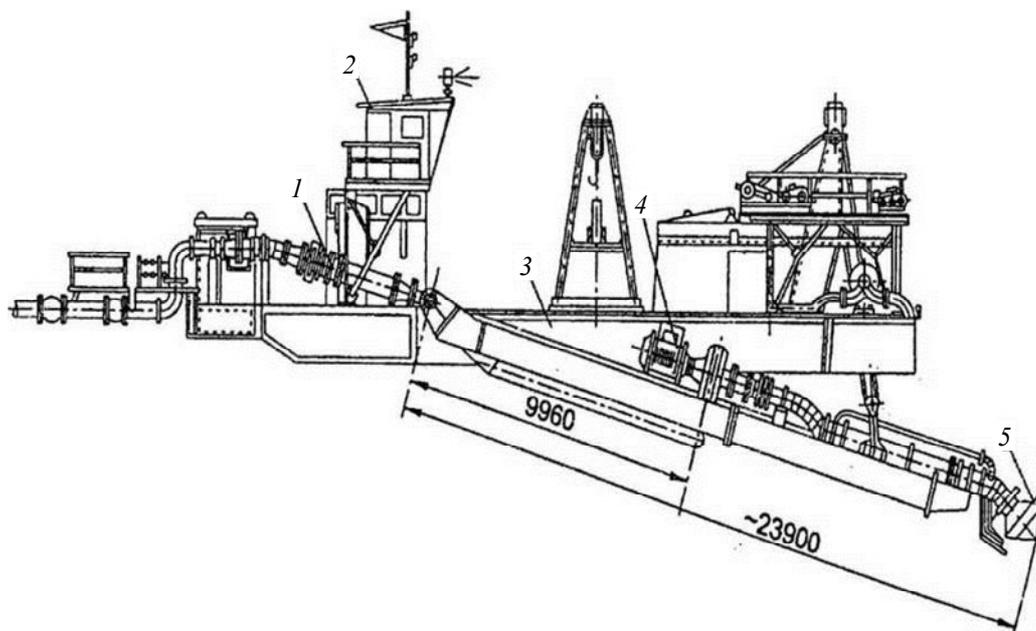


Рис. 5. Землесос С-55П:

- 1 – расходомер «Индукция»; 2 – рубка управления; 3 – корпус землесоса катамаранного типа;
4 – моноблочный агрегат с насосом ГрУ 2000/63 и электродвигатель АПС 16-45-10;
5 – виброрыхлитель

Грунтозаборное устройство землесоса оснащено виброрыхлителем конструкции «ВНИИ-неруд» для разработки встречающихся прослоек глины. При погружении блока на глубину 7 м часовая производительность землесоса может составить $226 \text{ м}^3/\text{ч}$. Землесос оборудован приборами контроля консистенции и расхода гидросмеси.

Французской фирмой «Беното» были созданы небольшие, предназначенные для очистки ирригационных каналов, землесосы, у которых грунтовой насос и гидродвигатель находятся на конце рамы (режимы работы грунтового насоса регулируют за счет изменения его частоты вращения). Фирма «Беното» разработала три типоразмера землесосов с погружными грунтовыми насосами, оснащенными гидродвигателями (табл. 8).

Таблица 8

Технические характеристики землесосов фирмы «Беното»

Характеристики	Тип землесоса		
	«МОВ»	«Шарантез»	«Саблиер»
Максимальная глубина разработки, м	2,8	5	10
Средняя производительность по грунту, $\text{м}^3/\text{ч}$	30–50	30–50	150
Максимальная дальность подачи, м	1 000	1 000	1 000
Максимальная высота подачи, м	20	20	20
Максимальная консистенция гидросмеси, %	20	20	20
Диаметр всасывающего патрубка грунтового насоса, мм	152	203	203
Мощность привода грунтового насоса, кВт	51,5	118	118

Характеристики	Тип землесоса		
	«МОВ»	«Шарантез»	«Саблиер»
Габариты:			
– длина, м;	10,5	15,2	17,6
– ширина, м;	3	3,5	3,5
– высота, м	1,5	2,55	3,7
Осадка, м	0,5	0,6	0,6
Масса, т	7	14,5	14,5

У такого типа землесоса (рис. 6) подъем и опускание рамы грунтозаборного устройства осуществляется с помощью гидроцилиндров. Привод гидравлических двигателей и гидроцилиндров – от дизельного двигателя. Рыхлитель насажен непосредственно на вал рабочего колеса. Благодаря возможности реверсивного вращения грунтовой насос и рыхлитель смогут легко освобождаться от застрявших в них включений.

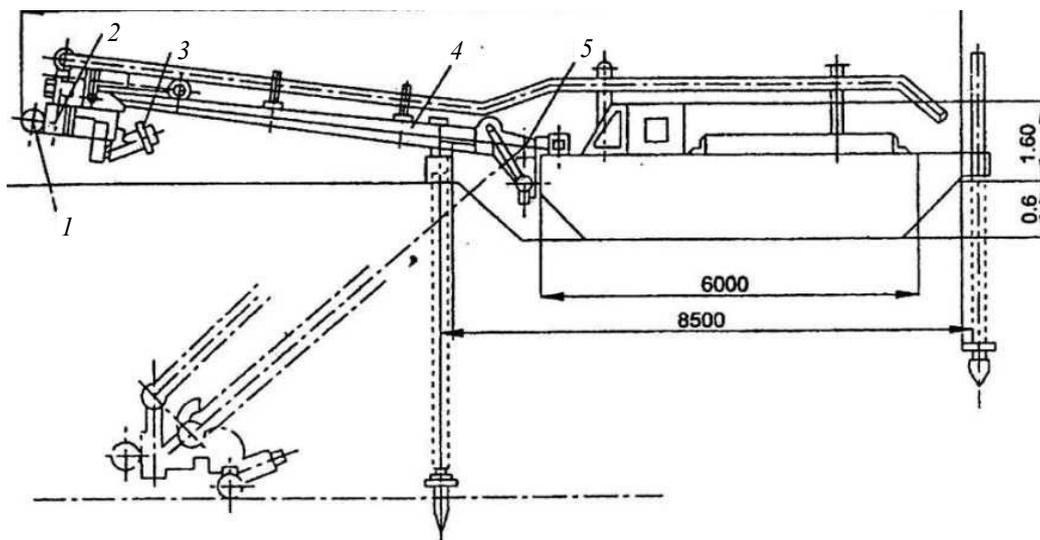


Рис. 6. Землесос фирмы «Беното» (Франция): 1 – механический рыхлитель; 2 – грунтовой насос; 3 – гидрорыхлитель грунтового насоса; 4 – рама; 5 – гидроцилиндр подъема и опускания рамы

Землесосы типа «МОВ» и «Шарантез» построены по обычному принципу, а на землесосе «Саблиер» жесткая рама грунтозаборного устройства заменена укосиной, на которую подвешивается грунтовой насос, поднимаемый и опускаемый с помощью лебедки, также оснащенной гидравлическим приводом.

Землесос «Зееланд II» – один из самых крупных в мире неразборных землесосов, построенных в Нидерландах. Землесос оснащен погружным однокорпусным грунтовым насосом, сагрегаторованным со специальным погружным электродвигателем мощностью 736 кВт. Предназначен для разработки тяжелых грунтов, самоходный, однопонтонный, с напорным свайным ходом (длина хода – 6 м), стрелами якорного заброса и пятнадцатитонным бортовым краном. Сваи, свайная тележка и лебедка имеют гидравлический привод. На борту землесоса установлены два двухкорпусных грунтовых насоса. Техническая характеристика землесоса «Зееланд II» представлена в табл. 9.

Таблица 9

Техническая характеристика землесоса «Зееланд-II» (Нидерланды)

Характеристика	Показатели
Длина, м	60
Ширина, м	15
Осадка, м	3
Глубина разработки, м	22

Характеристика	Показатели
Диаметр трубы, мм: – всасывающей; – напорной	800 750
Мощность, кВт: – погружного грунтового насоса; – бортовых грунтовых насосов	736 2 × 1 470
Общая установленная мощность, кВт	5 870

Наибольший интерес представляет сравнение отечественных речных дноуглубительных землесосов с землесосами нового поколения типа «Beaver», основные технические показатели и главные размерения которых представлены в табл. 10, 11.

Таблица 10

Основные характеристики землесосов нового поколения «ИНС Beaver» с фрезерным рыхлителем грунта

Тип землесоса	45 ИНС	5014С	5514С	6016С	6516С	7018С	7518С
Мощность грунтового насоса, кВт	515	746	900	1 121	1 493	1 775	2 173
Диаметр всасывающей трубы, мм	450	500	550	600	650	700	750
Диаметр напорной трубы, мм	450	500	550	600	650	700	750
Мощность рыхлителя, кВт	115	170	280	380	585	700	850
Глубина извлечения грунта, м	10	14	14	16	16	18	18
Длина, м	28,5	35,1	36,8	40,0	43,2	46,3	48,3
Высота борта, м	2,44	2,46	2,75	2,75	2,97	2,97	3,25

Таблица 11

Основные характеристики землесосов нового поколения «ИНС Beaver», с роторно-ковшовым рыхлителем грунта

Тип землесоса	4010W	4514W	5014W	5516W	6016W	6518W	7018W
Мощность грунтового насоса, кВт	515	746	900	1 121	1 493	1 775	2 173
Диаметр всасывающей трубы, мм	450	500	550	600	650	700	750
Диаметр напорной трубы, мм	400	450	500	550	600	650	700
Мощность рыхлителя, кВт	115	170	280	380	585	700	850
Глубина извлечения грунта, м	10	14	14	16	16	18	18
Длина, м	35,4	42,7	44,5	50,4	53,1	59	61
Высота борта, м	2,44	2,46	2,75	2,75	2,97	2,97	3,25

С 1963 г. фирмой «ИНС Holland» было построено 600 землесосов «Beaver Standart» для различных стран и континентов. Накопив опыт строительства и эксплуатации, фирма сократила число типоразмеров землесосов нового поколения с 8 до 7 и пошла по пути снижения как капитальных, так и эксплуатационных затрат. Землесосы нового поколения строятся с погружными, установленными на раме, грунтовыми насосами, используется передача мощности грунтовому насосу непосредственно от главного двигателя через специально спроектированный редуктор, позволяющий передавать крутящий момент под любым углом наклона рамы к горизонту. От редуктора к погружному насосу идет так называемый спейсер, очень длинный полый вал, проходящий внутри водонепроницаемой трубы-рубашки. Спейсер подвешен на гибких пластинчатых соединениях, в этой, не требующей ремонта и обслуживания, системе нет ни подшипников, ни вращающихся уплотнений. Здесь энергия не теряется на взбалтывание и завихрение воды, а система безопасна для обслуживающего персонала.

Выводы теоретического и сравнительного анализа

Положение редуктора между точками крепления рамы делает расположение главного двигателя на уровне главной палубы логически необходимым. В этом случае отпадает потребность в машинном помещении (так же, как и в насосном). Основной понтон, в котором раньше располагались машинное и насосное помещения (МП), стал не нужен и был заменен на два малых связующих понтона. На них монтируется каркас МП, на котором располагаются почти все агрегаты и механизмы. Корпус землесоса состоит из отдельных понтонов, упрощенных по форме и технологичных в постройке.

Режим работы грунтонасосной установки регулируется непосредственно дизельным двигателем, что позволяет выбрать экономичный режим ее работы и исключает перегрузку дизеля при работе на короткий напорный трубопровод.

Новое поколение землесосов типа «NG Beaver» может использоваться как с фрезерными, так и с роторно-ковшовыми рыхлителями грунта, при этом фирма подтверждает максимальную концентрацию смеси с использованием свайного аппарата для рабочих перемещений в первом варианте – 30 %, а во втором – 50 %, что позволяет фирме ожидать окупаемости капиталовложений в короткое время.

Продолжим сравнение предлагаемого ВГУВТ отечественного землесоса нового поколения с производительностью по грунту $600 \text{ м}^3/\text{ч}$ и диаметром трубопровода 500 мм с землесосом типа «Beaver 1600». Согласно представленным на рис. 7 зависимостям стандартный «Beaver 1600» при длине плавучего трубопровода 500 м , характерной для углубления внутренних водных путей России, может развивать производительность по грунту порядка $800 \text{ м}^3/\text{ч}$, с фрезерным рыхлителем грунта и свайным устройством его производительность по грунту ($Q_{\text{гр}}$) может быть увеличена до $1\,200 \text{ м}^3/\text{ч}$, а с роторно-ковшовым – до $1\,600 \text{ м}^3/\text{ч}$ за счет роста насыщения перекачиваемой водогрунтовой смеси с 20 до 30 и 50 % соответственно.

В качестве аналога для сравнения примем землесос проекта 82080. Проект был разработан ОАО «Чкаловская судостроительная верфь» в 1994 г. Грунтонасосный и рыхлительный агрегат, а также грунтозаборное устройство были спроектированы по авторским свидетельствам сотрудников ВГУВТ, проф., д-ра техн. наук Н. В. Лукина и доцента, канд. техн. наук Н. Н. Арефьева.

Для землесоса проекта 82080 ОАО «Коломенский завод» специально разработал и построил экономичный двигатель СОД 10Д42 (4ЧН30/38) мощностью 450 кВт и частотой вращения 360 мин^{-1} с удельным расходом топлива $195 + 10 \text{ г}/(\text{кВт}\cdot\text{ч})$ и удельным расходом масла на угар – $1,2 \text{ г}/(\text{кВт}\cdot\text{ч})$.

По расчетам специалистов ВГУВТ подача грунтовой секции насоса составит $2\,600 \text{ м}^3/\text{ч}$ при напоре 26 м , потребляемая мощность – 315 кВт , подача секции гидрорыхления – $575 \text{ м}^3/\text{ч}$, напор – 32 м , потребляемая мощность – 84 кВт . Таким образом, суммарная мощность комплекса составит 399 кВт . Резерв по мощности 51 кВт может быть использован для повышения производительности землесоса по грунту до $750\text{--}800 \text{ м}^3/\text{ч}$, что вполне реально.

Для сравнения технических и экономических показателей рассматриваемого землесоса типа «Beaver 1600» с землесосами нового поколения «Beaver 5014С» и «Beaver 4514W» примем производительность землесоса проекта 82080 ($800 \text{ м}^3/\text{ч}$).

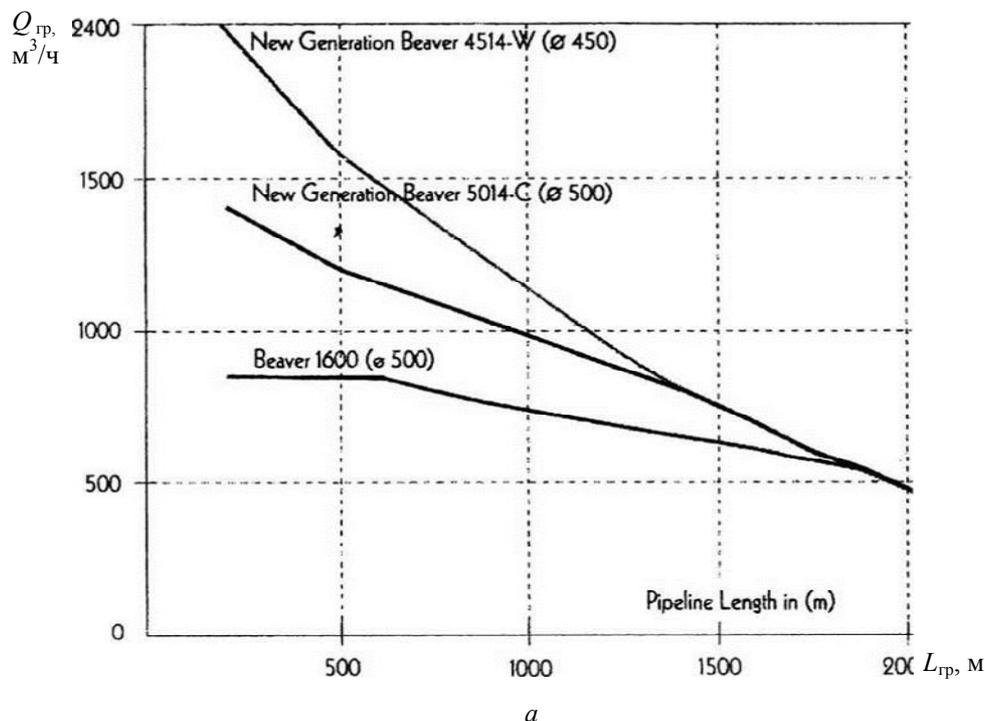


Рис. 7. К сравнению отечественных и зарубежных землесосов нового поколения:
 a – сравнительная производительность отечественного землесоса и зарубежного аналога

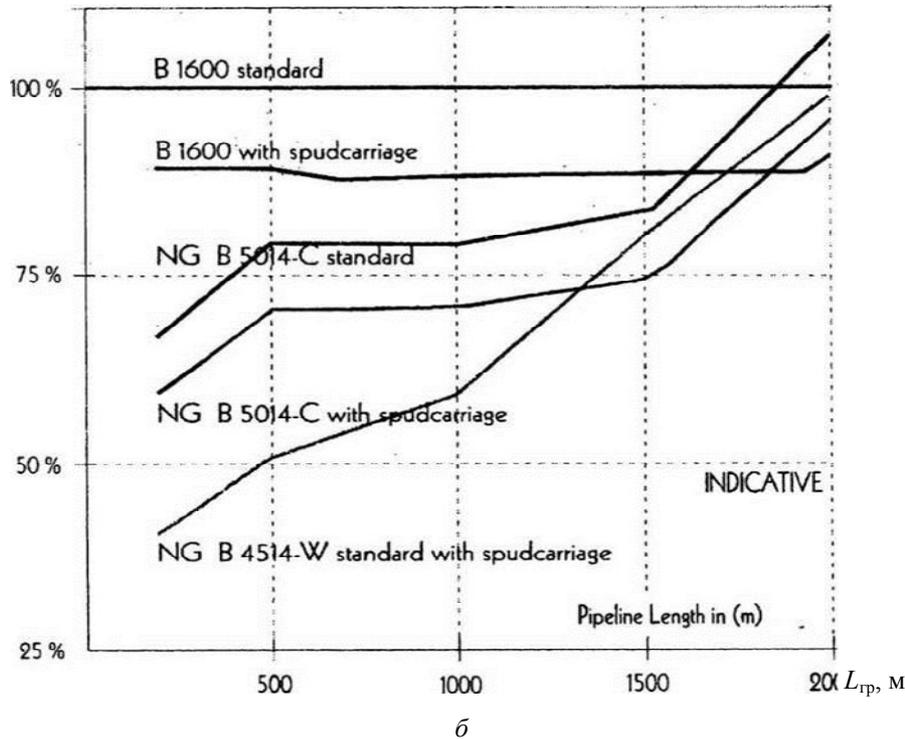


Рис. 7. Окончание. К сравнению отечественных и зарубежных землесосов нового поколения:
б – то же, в процентах

В качестве одного из показателей обозначим отношение производительности по грунту к мощности, затрачиваемой на извлечение и транспортирование кубометра грунта. Примем дальность отвода грунта – 500 м (рис. 7), наиболее характерную для работы землесоса этого класса на внутренних водных путях России.

Для землесоса проекта 82080 эта величина составит $1,77 \text{ м}^3/(\text{кВт}\cdot\text{ч})$, для землесоса «Beaver 1600» стандартного типа – $0,87 \text{ м}^3/(\text{кВт}\cdot\text{ч})$, для землесоса нового поколения «Beaver 5014С» с фрезерным рыхлителем грунта и свайным устройством – $1,3 \text{ м}^3/(\text{кВт}\cdot\text{ч})$, для землесоса нового поколения «Beaver 4514W» с роторно-ковшовым рыхлителем грунта – $1,74 \text{ м}^3/(\text{кВт}\cdot\text{ч})$. Сравнение подтверждает, что по этому показателю отечественный землесос предпочтительнее зарубежных. Даже при производительности $600 \text{ м}^3/\text{ч}$ эта величина составит $1,33 \text{ м}^3/(\text{кВт}\cdot\text{ч})$, что несколько выше, чем у землесоса «Beaver 5014С» с фрезерным рыхлителем грунта.

В случае необходимости землесос проекта 82080 может быть оборудован отечественным роторно-ковшовым рыхлителем нового типа (по авторскому свидетельству Н. Н. Арефьева и Н. А. Шаповалова), который превосходит зарубежный аналог в том, что грунт транспортируется потоком воды, подаваемой от основного насоса, работающего с более высоким КПД и без абразивного изнашивания его деталей гидросмесью.

Что касается стоимости постройки землесоса проекта 82080 в России, то по данным ФГУ «Северо-Двинского ГБУВПиС» она может составить 80 млн руб. в ценах 2005 г., по данным ФГУ «Обь-Иртышского ГБУВПиС» – порядка 96 млн руб. По данным чешских и словацких специалистов, строительство землесосного снаряда типа SB200 с производительностью по грунту $760 \text{ м}^3/\text{ч}$ на их верфях с доставкой в Россию (с учетом расходов на буксировку и растаможку) с уплатой НДС может составить в 2005 г. порядка 73 млн руб. Из-за отсутствия данных по стоимости постройки землесосов типа «Beaver 1600» в Нидерландах привести их в настоящей работе не представляется возможным.

Заключение

В настоящей статье мы провели сравнительный анализ показателей работы землесосов нового поколения типа «Beaver 1600», «Beaver 4514W», «Beaver 5014С» и отечественного землесоса проекта 82080. Предлагая дооборудование отечественного землесоса такими позициями,

как двигатель СОД 10Д42 (4ЧН30/38), роторно-ковшовый рыхлитель нового типа (по авторскому свидетельству Н. Н. Арефьева и Н. А. Шаповалова), а также грунтозаборное устройство по авторским свидетельствам сотрудников ВГУВТ, проф., д-ра техн. наук Н. В. Лукина и проф., д-ра техн. наук Н. Н. Арефьева, можно с уверенностью говорить о возможности построения в России землесосов, не уступающих зарубежным аналогам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Краковский И. И. Суда технического флота. Л.: Судостроение, 1968. 504 с.
2. Иванов В. А., Лукин Н. В., Разживин С. Н. Суда технического флота. М.: Транспорт, 1982. 366 с.
3. Бессонов Е. А. Энциклопедия гидромеханизированных работ: справ. М.: 1989.ру, 2005. 520 с.

Статья поступила в редакцию 23.04.2020

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Любимов Виктор Иванович – Россия, 603950, Нижний Новгород; Волжский государственный университет водного транспорта; д-р техн. наук, профессор; профессор кафедры проектирования судов; ptps@vgavt-nn.ru.

Попов Николай Фролович – Россия, 603950, Нижний Новгород; Волжский государственный университет водного транспорта; д-р техн. наук, профессор; профессор кафедры эксплуатации судовых энергетических установок; eseu665@vgavt-nn.ru.

Сапунов Григорий Иванович – Россия, 414000, Астрахань; Каспийский институт морского и речного транспорта, филиал Волжского государственного университета водного транспорта; старший преподаватель кафедры судомеханических дисциплин; Sapunov_grigorii@mail.ru.



REVIEW AND ANALYSIS OF OPERATION OF BEST DOMESTIC AND FOREIGN RIVER DREDGERS

V. I. Lyubimov¹, N. F. Popov¹, G. I. Sapunov²

¹ *Volga State University of Water Transport,
Nizhny Novgorod, Russian Federation*

² *Volga State University of Water Transport,
Institute of Caspian Sea and River Transport (Federal branch),
Astrakhan, Russian Federation*

Abstract. The article analyzes the development and modernization of energy and technological equipment, as well as soil productivity of dredging projects of both foreign and domestic manufacturers of dredging equipment. The emphasis has been placed on the installation and use of submersible pumps. The productivity of soil dredges has been found to increase due to changes in the design of soil sampling devices and soil pumps. The main characteristics of the American river dredgers with hydraulic cultivators and domestic river diesel dredgers with hydraulic soil cultivators have been considered and evaluated. The designs of the dredgers built in France and the Netherlands have been studied. To compare the technical and economic parameters of the standard type Beaver1600 dredger and the 82080-800 m³/h project domestic dredger there were carried out calculations by the specialists of Volzhskiy State University of Water Transport. There has been illustrated the layout of the TRN-3000 dredge pump (France) including a control cabin, a milling cultivator, a frame of a soil intake device, a submersible soil pump, an anchor support, etc.; layout of the KhAM-219 dredger (Netherlands); layout of Ellicott dredger (USA); layout of a domestic

350-50LPG dredger based on class 350-50L dredgers; a suction pump S-55P; layout of the Benoto dredger (France) including a mechanical cultivator, a soil pump, a hydraulic pump of a soil pump, a frame and a hydraulic cylinder for raising and lowering the frame. It has been inferred that the domestic dredgers are not inferior to the foreign models, taking into account that they are equipped with a new type of domestic rotary-bucket cultivator for working on inland waterways of Russia. The financial assessment of the construction of new domestic dredgers has been carried out.

Key words: soil pumps, dredger, ground intake device, dredging, soils.

For citation: Lyubimov V. I., Popov N. F., Sapunov G. I. Review and analysis of operation of best domestic and foreign river dredgers. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies*. 2020;2:39-53. (In Russ.) DOI: 10.24143/2073-1574-2020-2-39-53.

REFERENCES

1. Krakovskij I. I. *Suda tekhnicheskogo flota* [Vessels of technical fleet]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1968. 504 p.
2. Ivanov V. A., Lukin N. V., Razzhivin S. N. *Suda tekhnicheskogo flota* [Worksite crafts]. Moscow, Transport Publ., 1982. 366 p.
3. Bessonov E. A. *Enciklopediya gidromekhanizirovannyh rabot: spravochnik* [Encyclopedia of hydro-mechanized works: reference book]. Moscow, 1989.ru Publ., 2005. 520 p.

The article submitted to the editors 23.04.2020

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Lyubimov Victor Ivanovich – Russia, 603950, Nizhny Novgorod; Volga State University of Water Transport; Doctor of Technical Sciences, Professor; Professor of the Department of Ship Design; ptps@vgavt-nn.ru.

Popov Nikolay Frolovich – Russia, 603950, Nizhny Novgorod; Volga State University of Water Transport; Doctor of Technical Sciences, Professor; Professor of the Department of Operation of Ship Power Plants; eseu665@vgavt-nn.ru.

Sapunov Grigori Ivanovich – Russia, 414000, Astrakhan; Institute of Caspian Sea and River Transport, Federal branch of Volga State University of Water Transport; Senior Lecturer of the Department of Shipbuilding Disciplines; Sapunov_grigorii@mail.ru.

