

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА МАШИН ДЛЯ ВОЗВЕДЕНИЯ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА СПОСОБОМ ГИДРОМЕХАНИЗАЦИИ

Приведены модели формирования комплекса машин для возведения земляного полотна способом гидромеханизации. Рассчитана доля статических данных, организационно-технологическая надежность коэффициента использования рабочего времени.

Целью исследования является формирование оптимального комплекса машин с минимальными затратами на производство строительно-монтажных работ.

Основные задачи исследования: разработка метода формирования комплекса машин для производства строительно-монтажных работ; разработка алгоритма и программного обеспечения для формирования комплекса машин.

Широкое применение гидротранспортные системы (комплексы) по сравнению с экскаваторами получили при разработке песчано-гравийных смесей в обводненных грунтах. Под **гидротранспортной системой в области гидромеханизации земляных работ** принято понимать земснаряд, работающий на одну трубопроводную транспортную линию. При этом практикой производства гидромеханизированных работ, в том числе при замыве Каменского и Ельцовского оврагов в г. Новосибирске, доказано, что включение в транспортную линию земснаряда перекачивающих станций резко снижает надежность системы в целом из-за резкого снижения коэффициента использования ее рабочего времени.

Для анализа работы многоступенчатых гидротранспортных систем в СГУПС совместно с ЗАО «Сибгидромехстрой» создана база данных, в которую за последние 8 лет включены основные технические и экономические показатели работы гидротранспортных комплексов [1].

Модель формирования комплекса машин [2] представлена формулой

$$V_p = \frac{\sum_{i=1}^{i=m} \sum_{j=1}^{j=m} n_i n_j V_{ij}}{N^2} \rightarrow \min, \quad (1)$$

где V_p — вариация эффективности комплекса машин; m — количество видов комплектов, из которых формируется парк машин; n_i и n_j — соответственно количество комплектов i -го и j -го вида в комплексе машин; V_{ij} — ковариация прибыли от одновременной работы комплектов машин i -го и j -го вида; N — общее количество машин в комплексе.

Вариация эффективности комплекса машин — отклонение прибыли (стоимости и себестоимости производства работ и так далее) использования комплектов машин от заданного значения (максимальной прибыли, минимальной стоимости и себестоимости).

Это задача аналогичная нелинейной задаче оптимизации портфеля ценных бумаг. Она была сформулирована и решена американским экономистом Г. Марковицем. На основе этого решения составлен алгоритм и разработано программное обеспечение «*Park*», позволяющее достаточно быстро сформировать оптимальный парк машин и оценить его эффективность.

Процесс формирования комплекса машин следует начать с формирования комплектов. Под **комплексом** в данном случае принято понимать набор *вспомогательных* машин и механизмов, обслуживающих земснаряд. Далее следует сформировать возможные варианты комплексов для производства работ способом гидромеханизации и рассчитать технические и экономические показатели каждого варианта. При этом основными показателями работы i -го комплекса машин должны быть **средняя производительность** и **себестоимость**, а также их стандартные отклонения. Эти показатели можно определить с помощью вероятностной модели работы гидротранспортных систем. Составленная на основе данной модели программа «*Gidropark*» позволяет с помощью метода Монте-Карло формировать выборки заданного объема для любых комплексов машин, а также определять средние значения, стандартные отклонения, организационно-технологическую надежность (ОТН) и основные технико-экономические показатели работы комплексов.

В табл. 1 приведены технико-экономические показатели работы земснарядов в ЗАО «Сибгидромехстрой» за 2009 г. С помощью программы «*Modell*» по данным табл. 1 установлена значимость причин простоя земснарядов (табл. 2). Полученные данные необходимы для разработки эффективных мероприятий, позволяющих снизить потери рабочего времени земснарядов.

С помощью программы «*Sample*» проведена статистическая обработка коэффициентов использования земснарядов по времени (табл. 3). Полученные данные позволяют построить кривую нормального распределения и определить организационно-технологическую надежность работы гидротранспортных систем.

Известно, что если площадь, ограниченную кривой нормального распределения принять за 100 %, то можно рассчитать площадь, заключенную между кривой и любыми двумя ординатами. Воспользовавшись формулой кривой нормального распределения, можно рассчитать организационно-технологическую надежность (в процентах) коэффициента использования рабочего времени K_v по следующей формуле

$$\text{ОТН} = 100 - \frac{100}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^{K_v} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}} dx, \quad (2)$$

где x — значение коэффициента использования земснаряда по времени; $\bar{x}$ — средняя арифметическая коэффициента использования земснаряда по времени; σ — среднее квадратическое отклонение коэффициента использования земснаряда по времени; π — постоянное число (отношение длины окружности к ее диаметру); e — основание натурального логарифма.

По данным табл. 3 с помощью программы «*Sample*» сформирована выборка ОТН и построены зависимости организационно-технологического риска (рис. 1), организационно-технологической надежности (рис. 2) и плотности распределения вероятностей от коэффициента использования земснаряда по времени. По данным выборки ОТН с помощью шагового регрессионного метода по программе «*Modell*» построена математическая модель ОТН (табл. 4). Основные характеристики модели приведены в табл. 5. Модель позволяет со стандартной ошибкой 0,74 % рассчитать ОТН работы гидротранспортной системе при заданном коэффициенте использования земснаряда по времени. С помощью программы «*Diagram*» построен 95 %-й доверительный интервал для модели организационно-технологической надежности работы гидротранспортных систем.

Таблица 1

Ведомость по работе земснарядов в ЗАО «Сибгидромехстрой» за 2009 г.

Показатель	№ земснаряда													WM-1
	18-03	18-15	18-02Д	18-09	8-07	18-01	8-02	8-09	8-10Д	18-16	18-07	18-04		
Календарное время	462,10	1356,00	4318,20	3625,40	3751,25	1764,00	4722,20	1985,25	1248,00	3720,00	3240,00	1532,05	4332,00	
Время работы	260,55	616,35	2673,45	1771,25	2318,55	595,25	3797,35	1366,25	792,00	2378,45	2137,15	1023,35	3275,00	
Время простоя	201,15	739,25	1644,35	1854,15	1432,30	1168,35	924,45	619,00	456,00	1341,15	1102,45	508,30	1057,00	
Чистка всасыв. уст-ва	3,30	114,50	401,10	217,25	181,05	185,00	125,55	40,10	85,30	193,40	56,50	230,55	—	
Обвалование	29,00	53,30	147,35	463,20	169,35	125,15	0,00	52,35	16,50	23,50	140,20	82,30	—	
Наращивание нам. п/п	0,00	46,35	218,05	0,00	2,35	162,05	0,00	0,00	0,00	0,00	341,35	9,40	—	
Обслуж. водосб. с-мы	9,30	35,40	19,50	6,20	47,45	5,55	0,00	7,20	9,00	55,20	20,25	24,35	—	
Тех. обслуж з/сн	12,00	1,00	49,00	13,30	21,35	10,35	16,50	12,10	35,10	35,20	41,40	0,30	—	
Неисправность з/сн	69,25	161,45	211,50	362,15	293,20	83,00	229,00	123,45	16,10	333,40	75,10	30,50	—	
Ремонт валовой линии фрезы	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	22,20	0,00	0,00	0,00	—	
Раб. на магистр. п/п	0,00	0,00	140,00	68,15	24,15	117,25	109,20	7,00	41,10	3,00	21,00	2,00	—	
Раб. на плав. п/п	0,00	22,50	29,00	91,15	45,25	50,45	103,20	32,40	9,40	77,35	38,30	21,00	—	
Передвижка з/сн и перекадка якорей	8,00	6,30	27,55	53,25	76,10	29,05	81,30	55,50	17,20	156,25	75,00	14,45	—	
Ремонт вспом. техники	0,00	58,05	32,30	62,20	44,00	42,25	0,00	0,00	0,00	0,00	45,40	6,10	—	
Сортиров. уст-ка	12,10	0,00	0,00	74,50	115,50	0,00	0,00	37,30	0,00	0,00	0,00	0,00	—	
Профремонт з/сн	31,30	36,30	80,20	213,10	123,10	85,10	25,00	25,00	3,00	0,00	100,10	16,00	—	
Отсутст. эл-энергии	5,25	31,30	0,00	97,25	24,55	3,00	72,00	0,00	0,00	68,35	9,50	17,00	—	
Отсутст. воды	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	39,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	—	
Погодные условия	0,00	1,00	0,00	16,15	11,10	0,30	4,20	0,00	0,00	4,00	9,40	11,00	—	
Прочие:	20,45	164,10	279,30	114,30	269,35	268,25	113,40	228,00	122,40	389,50	127,15	41,35	—	
КИРВ	0,56	0,45	0,52	0,49	0,62	0,34	0,80	0,69	0,63	0,64	0,66	0,67	0,76	
Объем выполненных работ, м³	64273	149523	321806	311972	238793	110258	651067	95956	34954	410723	815584	192386	—	
Производительность, м³/ч	246,34	242,50	120,36	176,11	102,98	185,18	171,44	70,22	44,13	172,66	381,60	187,95	—	

Таблица 2

Значимость причин простоя земснарядов

Фактор	Значимость фактора, %
Неисправность земснарядов (P_{06})	21,958
Прочие причины, включая отсутствие фронта работ, отсутствие дизтоплива, переоборудования рамы (P_{17})	15,491
Чистка всасывающего устройства (P_{01})	14,704
Обвалование (P_{02})	13,094
Работа на плавучем пульпопроводе (P_{09})	8,060
Нарращивание нам. пульпопровода (P_{03})	6,450
Передвижка земснарядов и перекладка якорей (P_{10})	5,836
Сортировочная установка (P_{12})	2,782
Работа на магистральном пульпопроводе (P_{08})	2,566
Обслуживание водосбросной системы (P_{04})	2,448
Отсутствие электроэнергии (P_{14})	1,880
Ремонт вспомогательной техники (P_{11})	1,843
Профремонт земснарядов (P_{13})	1,239
Ремонт валовой линии фрезы (P_{07})	0,796
Техническое обслуживание земснарядов (P_{05})	0,743
Отсутствие воды (P_{15})	0,089
Погодные условия (P_{16})	0,020

Таблица 3

Данные статистической обработки коэффициентов использования земснарядов по времени

Показатель	Величина
ВХОДНЫЕ ДАННЫЕ	
Количество опытов, шт.	13
Количество связей, шт.	3
Количество диапазонов, шт.	0
Уровень значимости	0,05
Фактор	K_v
ВЫХОДНЫЕ ДАННЫЕ	
Минимальное значение фактора	0,34
Максимальное значение фактора	0,8
Выборочное среднее значение фактора	0,60231
Выборочное стандартное отклонение фактора	0,12255
Стандартное отклонение фактора	0,12755
Средняя квадратическая ошибка фактора	0,03538
Ошибка, % от среднего значения фактора	5,87345
Эмпирическая дисперсия выборки	0,01627
Коэффициент вариации	0,02701
Вычисленное значение критерия Пирсона	4,19796
Табличное значение критерия Пирсона	7,85628
Количество интервалов	5

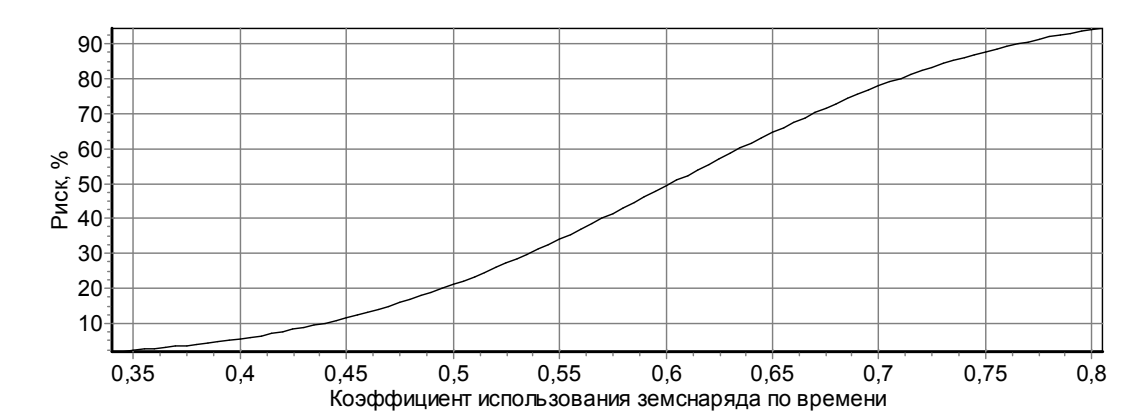


Рис. 1. Зависимость организационно-технологического риска от коэффициента использования земснарядов по времени

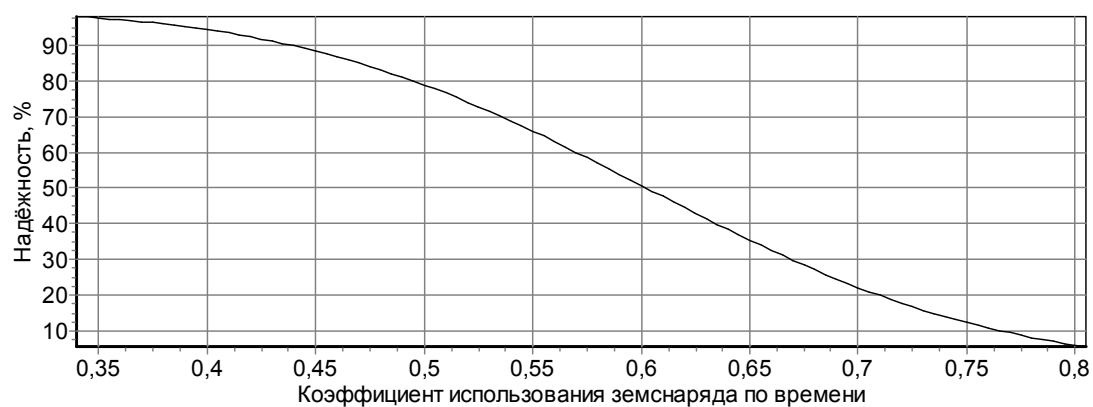


Рис. 2. Зависимость организационно-технологической надежности от коэффициента использования земснарядов по времени

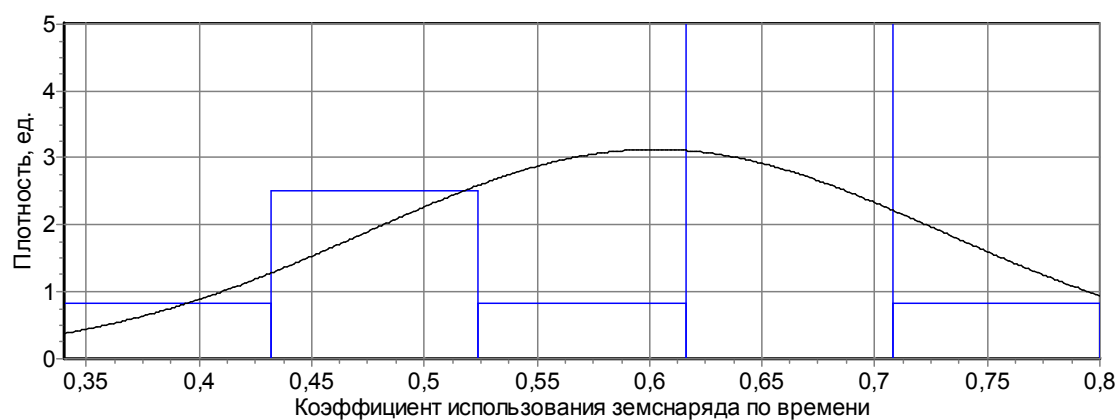


Рис. 3. Зависимость плотности распределения вероятностей от коэффициента использования земснарядов по времени

Таблица 4

Модель организационно-технологической надежности

Модель	Значимость переменной, %
ОТН = + 887,4318	
-2162,752 K_B^2	45,49
-258,13831/ K_B	30,68
+ 1589,960 K_B^3	20,72
+ 6,188425/ K_B^3	3,11

Таблица 5

Характеристика математической модели

Показатель	Величина
Доля объясненной вариации, %	99,98187
Коэффициент множественной корреляции	0,99991
Средний отклик	58,11606
Стандартная ошибка, % от среднего отклика	0,74
Стандартная ошибка	0,42806
Общий F-критерий регрессии	92645,31
Табличное значение общего F-критерия	3,95
Дисперсия	0,0427

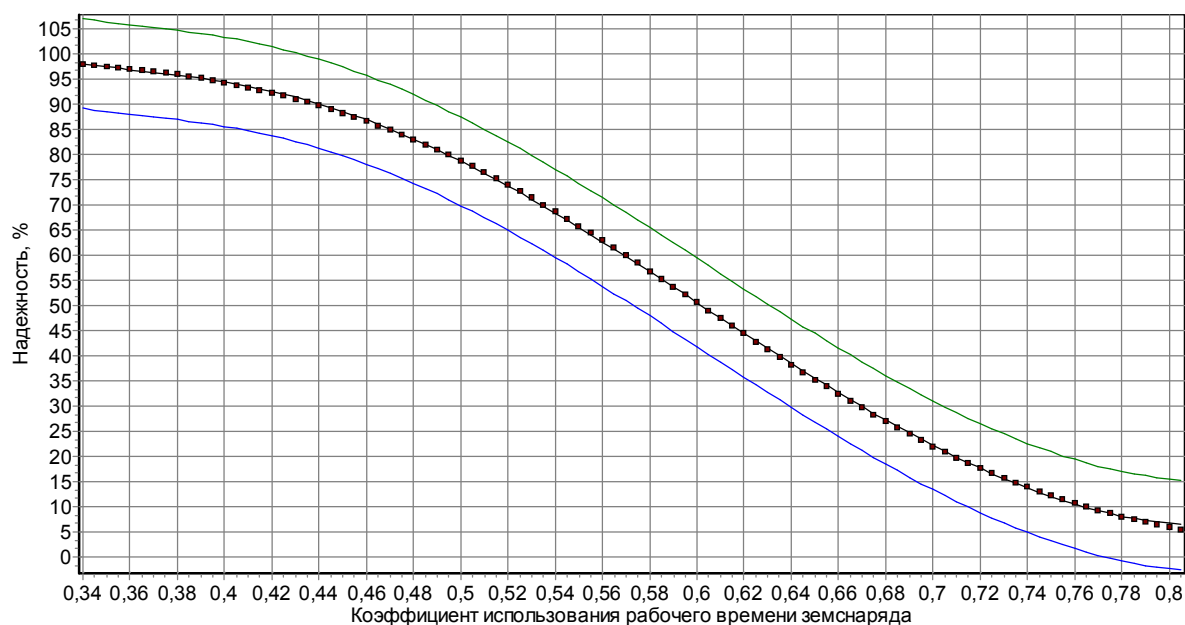


Рис. 4. Доверительный интервал организационно-технологической надежности работы земснарядов

На рис. 4 проиллюстрирована зависимость организационно-технологической надежности от коэффициента использования земснаряда по времени. Кроме этого на рис. 4 показан 95 %-й доверительный интервал модели ОТН. Доверительный интервал рассчитывается по формуле

$$ОТН_d = ОТН \pm 8,7315 \sqrt{1,01064 + 0,577972 \cdot (K_B - 0,5725)}, \quad (3)$$

где ОТН — организационно-технологическая надежность работы земснаряда

рассчитанная по модели (см. табл. 4) в точке K_b ; K_b — коэффициент использования земснаряда по времени.

Разработанная в СГУПСе модель процесса проектирования комплексов машин и механизмов позволяет с заданной организационно-технологической надежностью по единой методике оценивать эффективность любого варианта комплекса, сформированного из машин и механизмов, показатели которых хранятся в базе данных. Предложенный алгоритм проектирования комплексов машин и механизмов с учетом их применения в реальных комплектах является универсальным. Можно оценить эффективность приобретения новых машин и механизмов с учетом уже имеющейся в комплексе номенклатуры машин и механизмов. Для этого достаточно включить показатель новых машин и механизмов в базу данных.

Библиографический список

1. *Ресурсосберегающее проектирование технологических процессов гидромеханизации при устройстве земляных сооружений* / Е.В. Лизунов, А.В. Щербаков, С.М. Кузнецов, К.С. Кузнецова // Механизация строительства. 2008. № 7. С. 17–20.
2. *Оптимизация организационно-технологических решений при строительстве зданий и сооружений* / С.М. Кузнецов, Н.А. Сироткин, К.С. Кузнецова, И.Л. Чулкова // Промышленное и гражданское строительство. 2009. № 9. С. 57–60.
3. *Кузнецова К.С., Кузнецов С.М. Формирование ресурсосберегающего парка машин* // Путь и путевое хозяйство. 2006. № 8. С. 11–12.