

Модель вариантного технологического проектирования устройства котлована

Б.А. Абушаев

Волгоградский государственный технический университет, Волгоград

Аннотация: Технологическое проектирование устройства котлована, как и множество других строительных процессов, подразумевает принятие комплекса решений, необходимых для эффективной реализации того или иного проекта. Ввиду множества альтернативных способов разработки какого-либо строительного процесса возникает вопрос о необходимости вариантного проектирования. Вариантное проектирование представляет собой технико-экономическое сравнение возможных способов реализации того или иного строительного процесса. Формирование наиболее эффективного парка землеройных и транспортных машин для субъектов РФ, является достаточно актуальной задачей. Экономия сметной стоимости в связи с принятием наиболее эффективных организационно-технических решений (далее – ОТР) в данном случае на период полезного использования машин варьируется от десятков до сотен миллионов рублей. Помимо экономии затрат, решение данной задачи позволяет определить необходимый объём выпуска техники для машиностроительного комплекса.

Ключевые слова: Технологическое проектирование, котлован, организационно-технологические решения, парк землеройных машин.

Актуальность исследования

Технологическое проектирование устройства котлована, как и множество других строительных процессов, подразумевает принятие комплекса решений, необходимых для эффективной реализации того или иного проекта. Ввиду множества альтернативных способов разработки какого-либо строительного процесса возникает вопрос о необходимости вариантного проектирования [1].

Вариантное проектирование представляет собой технико-экономическое сравнение возможных способов реализации того или иного строительного процесса [2]. Формирование наиболее эффективного парка землеройных и транспортных машин является достаточно актуальной задачей. Экономия сметной стоимости в связи с принятием наиболее эффективных ОТР в данном случае на период полезного использования

машин варьируется от десятков до сотен миллионов рублей. Помимо экономии затрат, решение данной задачи позволяет определить необходимый объём выпуска техники для машиностроительного комплекса.

Обзор существующей литературы в области технологического проектирования разработки котлованов на территории РФ и за рубежом.

Методика вариантного проектирования во многих случаях заключается в выборе оптимального комплекта землеройных и транспортных машин. При составлении проектно-сметной документации (ПСД) на разработку котлована, перед проектировщиком ставится задача по подбору эффективного комплекта механизированных средств. На территории РФ при составлении ПСД, ресурсной информационной базой является «Государственный элементный сметный норматив» (ГЭСН). При проектировании земляных работ оперируют «ГЭСН-81-02-01-2017. Земляные работы», в котором классифицирована разработка котлована экскаваторами с погрузкой на автомобили-самосвалы в зависимости от объёма котлована и объёма ковша экскаватора. В приведенной в ГЭСН классификации на каждую категорию грунта (по сложности разработки) приводятся значения производительностей экскаваторов.

Эффективность в большинстве случаев заключается в снижении затрат на производство при наименьшей возможной продолжительности. Продолжительность строительного процесса во многих случаях зависит от производительности ведущей машины. При разработке котлована ведущей является землеройная машина, чаще всего в качестве землеройной машины выступает экскаватор [3].

Представленный в «ГЭСН 81-02-01-2017» ряд экскаваторов для разработки котлована с погрузкой в автомобили-самосвалы, имеет следующую градацию объёмов ковшей: 0,25; 0,4; 0,5; 0,65; 1 м³. Объёмы

котлованов разделены на следующие категории: до 500м³; до 1000м³; от 1000 до 3000м³; от 3000 до 7000м³. В каждой из приведенных категорий котлованов предлагается разработка грунта относительно не большим количеством экскаваторов. Например, для разработки грунтов в котлованах объёмом от 1000 до 3000м³ предлагается разработка грунтов экскаваторами с объёмом ковша 0,5 и 0,65м³. В данном случае формирование ПСД сильно ограничено выбором альтернативных вариантов разработки котлованов, более того, предложенная классификация имеет достаточно грубую дифференцированность, поскольку рынок строительной техники на данный момент представлен широким спектром альтернативных средств.

Следующим этапом в подборе механизированного комплекса для разработки котлована является выбор транспортных средств. Наиболее часто в данном случае используются автомобили-самосвалы, в виду своей универсальности. Информационной ресурсной базой в этом случае являются Государственные сметные нормативы «Федеральные единичные расценки», «Территориальные единичные расценки» (ФЕР, ТЕР). В сборнике «ФСЭМ 81-01-2001» представлен ряд автомобилей-самосвалов в зависимости от грузоподъёмности. В «ФСЭМ 81-01-2001» приведены автомобили-самосвалы следующих грузоподъёмностей: до 7 т, до 10 т, до 15 т, до 30 т, до 42 т.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод о том, что на данный момент на территории РФ вариантное проектирование, в частности разработка грунта в котлованах, имеет ограниченный характер, как в случае подбора землеройных машин, так и в случае автомобилей-самосвалов.

Технологическое проектирование земляных работ, как и других строительных процессов, за рубежом характерно вовлечением компьютерного моделирования предназначенного как для подбора оптимального механизированного комплекса, так и для осуществления технологических операций [4,5]. Автоматизация подбора комплекта

землеройных и транспортных машин представлена большим количеством различных имитационных моделей, основанных на интеграции платформы моделирования дискретных событий, объектно-ориентированном моделировании [6,7]. Механизм таких моделей в большинстве случаев автоматизирует классические методы подбора машин с учетом различных факторов. Также существуют множество моделей, основанных на применении Глобальной системы позиционирования (GPS), которые определяют наиболее эффективные маршруты вывоза грунта со строительной площадки, выполняют внутреннее планирование земляных работ на основе пространственных топографических условий [8,9]. В результате большинство моделей автоматизации технологического проектирования земляных работ сводится к выбору характеристик оборудования, исходя из условий строительной площадки, типа грунта, доступности ресурсов для подрядчика, ограниченности во времени и множества других факторов[10].

Методика построения модели

Формирование альтернативных процессов устройства котлована основано на переборе значений параметров, влияющих на целевую функцию, в заданных интервалах. Данная модель построена на примере разработки условного котлована со следующими параметрами:

- объём котлована, m^3 ;
- вид грунта, группа грунта по трудности разработки;
- средняя плотность грунта, kg/m^3 ;
- коэффициент разрыхления для принятой группы грунтов, K_p ;
- коэффициент наполнения ковша для одноковшовых экскаваторов, согласно принятой группе грунтов, K_n .

Разработка котлована осуществляется экскаватором с погрузкой на автомобилю-самосвалы по ГЭСН 81-02-01-2017.

В качестве факторов влияющих на стоимость и продолжительность строительства приняты:

- 1) Объём ковша экскаватора. Интервал варьирования данного параметра – 0,25 – 1 м³
- 2) Грузоподъёмность автомобилей-самосвалов. Фактор принимает 6 значений в диапазоне 5 – 42т.
- 3) Дальность возки грунта. Интервал варьирования данного параметра - 1 - 10 км.

При разработке данной модели стоимости землеройных и транспортных машин были взяты из ФСЭМ 81-01-2001 «Федеральные сметные расценки на эксплуатацию строительных машин и автотранспортных средств».

С целью удобства выбора наиболее эффективного варианта размер арендной платы землеройных и транспортных машин приведём к относительным единицам стоимости.

1. Часовая производительность экскаватора. Представляет собой количественную меру объёма грунта разрабатываемого экскаватором в час.

$$P_{\text{час}} = \frac{\varepsilon}{N_{\text{вр}}} \quad (1)$$

ε - объём грунта, на который дана норма времени, м³; $N_{\text{вр}}$ – норма машинного времени, маш-ч.

2. Количество ковшей экскаватора необходимое для загрузки автосамосвала. Определяется грузоподъёмностью автосамосвала(Q), объёмом ковша экскаватора($V_{\text{ков}}$), коэффициентом его наполнения ($K_{\text{нап}}$) а так же удельным весом грунта(ρ) и коэффициентом его разрыхления($K_{\text{раз}}$).

$$N_{\text{ков}} = \frac{Q}{\frac{V_{\text{ков}} K_{\text{нап}}}{K_{\text{раз}} + 1} \rho} \quad (2)$$

3. Время загрузки автосамосвала экскаватором

$$T_3 = \frac{N_{\text{ков}} * V_{\text{ков}} * K_{\text{нап}} * 60}{\Pi_{\text{чмс}}} \quad (3)$$

T_3 – время загрузки, мин; 60 – переход к минутам.

4. Время автосамосвала в пути. Определяется отношением расстояния между участком застройки и местом выгрузки грунта к скорости движения автосамосвала[11]. Так как скоростной диапазон движения принятых автосамосвалов под загрузкой имеет относительно небольшое различие, примем одинаковую скорость под загрузкой, равную 30 км/ч для всех автосамосвалов. Аналогично примем одинаковую скорость движения автосамосвалов в пораженном состоянии, равную 30 км/ч.

$$T_{\text{п}} = \frac{L}{v_3} * 60 + \frac{L}{v} * 60 \quad (4)$$

L – дальность возки грунта, км; v – скорость движения автосамосвала в пораженном состоянии, км/ч; v_3 – скорость движения автосамосвала под загрузкой, км/ч;

5. Длительность одного технологического цикла автосамосвала согласно:

$$T = T_3 + T_{\text{п}} + T_{\text{р}} + T_{\text{м}} \quad (5)$$

$T_{\text{р}}$ – время разгрузки автосамосвала, мин; $T_{\text{м}}$ – время маневрирования перед загрузкой и разгрузкой автосамосвала, мин; $T_{\text{р}}$ -1,5 мин; $T_{\text{м}}$ - 2,5 мин[8].

6. Количество автосамосвалов:

$$N = \frac{F}{T_3 + T_{\text{п}}} \quad (6)$$

В данной работе будет рассмотрен вариант разработки котлована с бесперебойной работой экскаватора, поэтому количество автосамосвалов округляем в большую сторону. Таким образом, формируются комплекты автомобилей-самосвалов для каждого экскаватора.

7. Стоимость комплектов экскаваторов и автомобилей-самосвалов:

$$C_{\text{к}} = \frac{N \times C_{\text{отн.см.авт.}} \times T_{\text{час}}}{g} + C_{\text{отн.экск}} \quad (7)$$

$C_{\text{отн.см.авт.}}$ – относительная сменная стоимость автомобилей-самосвалов; $T_{\text{час}}$ – трудозатраты, маш-ч; $C_{\text{отн.экск}}$ – относительная стоимость экскаватора.

Оценка и выбор наиболее эффективных технологических решений по устройству котлованов

В результате вычислений произведённых по приведённому выше алгоритму формируется массив данных, содержащих в себе значения относительных стоимостей комплектов автомобилей-самосвалов и экскаваторов. Стоимости приведены для всех значений дальности транспортирования грунта, принимаемых в работе, а также для всех используемых в работе экскаваторов.

Таблица 1. Относительная стоимость комплекта машин

Объём ковша экскаватора, м ³	Грузоподъёмность Автомобилей-самосвалов, т	Значения стоимостей при дальности возки грунта					
		1	2	4	6	8	10
0,25	5	143,68	170,68	224,70	278,71	332,73	386,74
	7	162,03	188,32	240,89	293,47	346,04	398,61
	10	158,98	176,96	212,92	248,88	284,84	320,80
	15	175,68	191,23	222,31	253,39	284,48	315,56
	30	244,91	258,79	286,56	314,33	342,10	369,87
	42	291,39	304,23	329,92	355,60	381,29	406,97
0,4	5	109,34	136,34	190,36	244,37	298,39	352,40
	7	123,41	149,70	202,27	254,85	307,42	359,99
	10	120,73	138,71	174,67	210,63	246,59	282,55
	15	132,78	148,32	179,40	210,48	241,57	272,65
	30	185,97	199,86	227,62	255,39	283,16	310,93
	42	221,72	234,56	260,25	285,93	311,62	337,30

0,5	5	118,51	145,51	199,53	253,54	307,56	361,57
	7	129,80	156,09	208,66	261,24	313,81	366,38
	10	127,36	145,34	181,30	217,26	253,21	289,17
	15	136,37	151,91	183,00	214,08	245,16	276,25
	30	179,15	193,04	220,80	248,57	276,34	304,11
	42	207,92	220,76	246,45	272,13	297,82	323,50
0,65	5	111,64	138,65	192,66	246,67	300,69	354,70
	7	121,01	147,30	199,87	252,44	305,02	357,59
	10	118,73	136,71	172,67	208,63	244,59	280,55
	15	125,65	141,19	172,27	203,36	234,44	265,52
	30	161,21	175,10	202,87	230,64	258,40	286,17
	42	185,15	198,00	223,68	249,37	275,05	300,74
1,0	5	98,10	125,11	179,13	233,14	287,15	341,17
	7	105,33	131,62	184,19	236,77	289,34	341,91
	10	103,24	121,22	157,18	193,14	229,10	265,06
	15	107,83	123,37	154,45	185,54	216,62	247,70
	30	135,38	149,26	177,03	204,80	232,57	260,34
	42	153,95	166,80	192,48	218,17	243,85	269,54

Результаты исследований при помощи разработанной модели

При помощи построенной модели была получена зависимость стоимости комплектов землеройных и транспортных машин от дальности транспортирования грунта, представленная в виде графика на рисунке 2. Полученный график построен на основании расчета комплектов автосамосвалов для экскаватора объёмом ковша $0,5 \text{ м}^3$. На графике видно, что при относительно небольшой дальности транспортировки грунта наиболее оптимальными являются автосамосвалы малой грузоподъёмности (2,55т.; 3,5т.; 4,5т.).

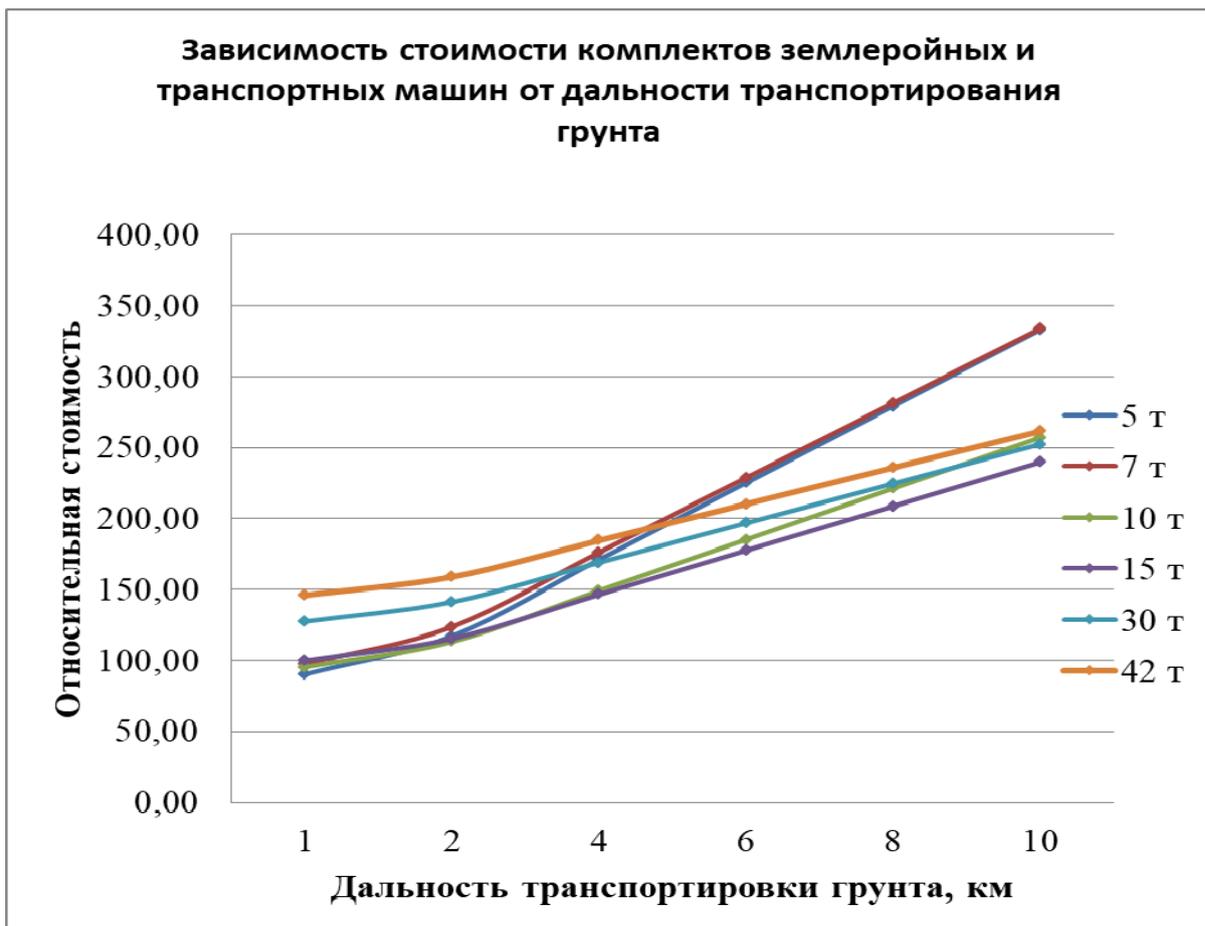


Рис.1. Зависимость стоимости комплектов землеройных и транспортных машин от дальности транспортирования грунта.

Однако при увеличении дальности транспортирования грунта зависимость меняет своё направление. При дальности транспортировки 4 км разброс стоимости комплектов машин минимальный. Если же рассмотреть вариант с дальностью транспортировки 10 км, то зависимость полностью меняет своё направление. Построенная модель подтверждает актуальность ранее существовавшей в нормативной базе, таблицы Рациональная грузоподъемность автомобилей-самосвалов в «СНиП III-8-76».

Вместе с тем рекомендованные «СНиП III-8-76» значения грузоподъёмностей несколько отличаются от полученных значений при помощи построенной модели. Возможно, это связано с тем, что существовавшие на то время нормы производительности разработки грунта

были несколько ниже нынешних. Например, СНиП 4-2-82 определяют производительность экскаватора с вместимостью ковша $1,5 \text{ м}^3$, при разработке грунта с погрузкой на автомобили-самосвалы, равной 9,27 маш-ч на 1000 м^3 (категория грунта – 1). А существующий на данный момент «ГЭСН 81-02-01-2017» определяет производительность экскаватора с объёмом ковша $1,5 \text{ м}^3$ при тех же условиях, что и 7,75 маш-ч.

Литература

1. Brauers Willem Karel M., Zavadskas Edmundas Kazimieras, Peldschus Friedel, Turskis Zenonas Multiobjective decision making for road design // *Transport*. 2008. Volume 23, Issue 3, pp. 183-193.
2. Кабанов В. Н. Производительность труда и заработная плата // *Журнал правовых и экономических исследований*. 2014. № 3, С. 7-15.
3. Анферов В.Н., Кузнецов С.М., Васильев С.И. Оценка надежности работы бульдозеров // *Системы. Методы. Технологии*. 2013. № 3(19), С. 16-21.
4. Sobotka A, Blajer M. Earthworks logistics in the high-density urban development conditions – case study // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2017. Volume 251, conference 1, pp. 1-8.
5. Tijanić K, Šopić M., Marović I. and Car-Pušić D. Analysis of the Construction Machinery Work Efficiency as a Factor of the Earthworks Sustainability // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019. Volume 222, Number 1, pp. 1-11.
6. Palko Milan. The Optimization of Mechanized Earthwork Processes // *Advanced Architectural Design and Construction*. 2016. Vol. 820, pp. 96-101.
7. Chulkov Vitaliy, Kiselev Arkadiy, Maloyan Garrik, Efimenko Anatoly Organizational-Technological Solutions, Risks and Reliability of the Preparatory Period of the Renovation of Territories // *Advances in intelligent systems and computing*. 2018. Volume 682, pp. 367-375.

8. Hare Warren L., Koch Valentin R., Lucetb Yves. Models and algorithms to improve earthwork operations in road design using mixed integer linear programming // European Journal of Operational Research. 2011. Volume 215, Issue 2, pp. 470-480.
9. Parenteab M., Cortezb P., Gomes Correiaa A. An evolutionary multi-objective optimization system for earthworks// Expert Systems with Applications. 2015. Volume 42, Issue 19, pp. 514-528.
10. Веретенников Н.А. - Выбор оптимального комплекта машин для разработки котлована // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре, строительные технологии. Сборник статей под ред. Бальзанникова М.И., Галицкова К.С., Стрелкова А.К. 2015. 519 с.
11. Хамзин С.К., Карасев А.К. “Технология строительного производства. Курсовое и дипломное проектирование. Учеб. пособие для строит, спец. вузов.” — М.: ООО «БАСТЕТ», 2009. 216 с.

References

1. Brauers Willem Karel M., Zavadskas Edmundas Kazimieras, Peldschus Friedel, Turskis Zenonas. Transport. 2008. Volume 23, Issue 3, pp. 183-193.
 2. Kabanov V. N. Zhurnal pravovyh i jekonomicheskikh issledovanij. 2014. № 3. pp. 7-15.
 3. Anferov V.N., Kuznecov S.M., Vasil'ev S.I. Sistemy. Metody. Tehnologii. 2013. № 3(19), pp. 16-21.
 4. Sobotka A, Blajer M. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2017. Volume 251, conference 1, pp. 1-8.
 5. Tijanić K, Šopić M., Marović I. and Car-Pušić D. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. Volume 222, Number 1, pp. 1-11.
 6. Palko Milan. Advanced Architectural Design and Construction. 2016. Vol. 820, pp. 96-101.
-



7. Chulkov Vitaliy, Kiselev Arkadiy, Maloyan Garrik, Efimenko Anatoly. Advances in intelligent systems and computing. 2018. Volume 682, pp. 367-375.
8. Hare Warren L., Koch Valentin R., Lucetb Yves. European Journal of Operational Research. 2011. Volume 215, Issue 2, pp. 470-480.
9. Parenteab M., Cortezb P., Gomes Correiaa A. Expert Systems with Applications. 2015. Volume 42, Issue 19, pp. 514-528.
10. Veretennikov N.A. Vybor optimal'nogo komplekta mashin dlja razrabotki kotlovana. Tradicii i innovacii v stroitel'stve i arhitekture, stroitel'nye tehnologii [The selection of the optimal set of machines for the development of the pit. Traditions and innovations in construction and architecture, construction technologies]. Sbornik statej. pod red. Bal'zannikova M.I., Galickova K.S., Strelkova A.K. 2015. 519 p.
11. Hamzin S.K., Karasev A.K. "Tehnologija stroitel'nogo proizvodstva. Kursovoe i diplomnoe proektirovanie. Ucheb. posobie dlja stroit, spec. vuzov." [Technology of construction production. Course and diploma design. Textbook allowance for builds, special universities.] Moscow: ООО «BASTET», 2009. 216 p.