

Технический критерий выбора экскаватора для разработки котлована

В.Н. Кабанов

Московский политехнический университет

Аннотация: Информационное моделирование строительных процессов следует относить к актуальным проблемам развития технологии и организации строительства. Важной частью информационной модели является геометрическое описание технологических захваток, стоянок (забоев экскаватора). В работе предлагается применять при проектировании технологических стоянок (забоев) экскаваторов в качестве критерия максимальный радиус копания на поверхности земли с учетом условий производства работ (видов грунтов). Для вычисления минимальной величины радиуса копания предложена математическое выражение, которое содержит комплексный показатель, описывающий физико-механические характеристики грунтов (tga). Полученные результаты позволяют на стадии принятия решения отсекаать землеройные машины по величине радиуса максимального копания на поверхности земли. Приведенные результаты описывают первый шаг при информационном моделировании процесса производства земляных работ экскаватором.

Ключевые слова: экскаватор, технологическая стоянка, радиус копания, угол наклона откоса грунта, геометрические размеры забоя, котлован, расстояние от кромки дна котлована до опоры экскаватора, информационная модель, производительность, роботизация.

Переход к цифровым производственным технологиям и роботизированным системам предусмотрен п. 20а Стратегии научно-технического развития РФ (Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации. Утв. Указом Президента РФ № 642 от 1.12.2016 г.). При таком переходе не вызывает сомнения актуальность разработки информационных моделей производственных процессов. Важно подчеркнуть, что современные вычислительные технологии обеспечивают возможность существенно подробнее описывать технологические решения по сравнению, например, с прошлым веком. В этой связи возникает необходимость привести в соответствие с новыми требованиями традиционные методики, описывающие порядок разработки организационно-технологических решений (применительно к разработке грунта экскаватора, к такой методике следует отнести работу ЦНИИОМТП – Технологические схемы применения новых средств механизации земляных работ. М. ЦНИИОМТП Госстроя СССР, 1982 г. 108 с.).

В опубликованных результатах отечественных исследователей приводится целый ряд современных предложений по совершенствованию теоретических основ копания [1], измерению производительности производства земляных работ [2], моделированию движения рабочих органов землеройной машины [3], процедуре выбора эффективных комплектов строительной техники [4].

В зарубежных публикациях для описания технологического процесса производства земляных работ одноковшовым экскаватором предлагаются весьма сложные и требующие специальной подготовки методики, например, применение иерархически организованных примитивов [5], интеллектуальный способ распознавания положения рабочего органа [6]. Отдельного внимания заслуживают работы, описывающие беспилотный экскаватор [7], а также процессы внедрения интеллектуального робота-экскаватора [8], включая моделирование движения ковша [9, 10].

На основании приведенного краткого обзора опубликованных результатов исследований, представляется возможным констатировать, что изучение вопросов проектирования технологических стоянок (забоев) экскаваторов недостаточно исследовано в XXI веке. Широкое внедрение информационных технологий на всех этапах организационно-технологического проектирования (от проектной до рабочей документации) требует по-новому взглянуть на традиционные подходы к разработке технологий производства земляных работ при устройстве котлованов. Попытка такого взгляда представлена в настоящей работе.

Цель работы: описать зависимость технических характеристик экскаватора от проектной глубины котлована, а также от физико-механических свойств грунта, установленных в результате инженерных изысканий. Для достижения заявленной цели решены следующие научные задачи:

- определен комплексный показатель, описывающий физико-механические свойства грунта и оказывающий наибольшее влияние на геометрические размеры технологической стоянки экскаватора;

- получена математическая зависимость для нахождения ширины забоя экскаватора в зависимости от размеров котлована, установленных проектом и физико-механических характеристик грунта.

Методы исследования:

При построении математической модели, которая учитывает влияние физико-механических свойств грунта при вычислении геометрических размеров технологической стоянки экскаватора при устройстве котлована, применялись стандартные методы вычислений, предусмотренные приложением В СП 45.13330.2017. Технические характеристики экскаваторов принимались по значениям, приведенным в техническом паспорте землеройной машины.

Важно подчеркнуть, что основные решения, применяемые при проектировании забоя экскаватора известны. В настоящей работе приводится методика определения экстремальных значений, которые необходимы для математического описания каждого технологического цикла экскаватора.

Результаты:

При проектировании технологической стоянки экскаватора при устройстве котлована одним из основных критериев является сокращение продолжительности производства земляных работ. Очевидно, что продолжительность производства работ по устройству котлована зависит от продолжительности перемещения экскаватора от одной технологической стоянки к другой. Не требует доказательства утверждение о том, что уменьшение количества технологических стоянок неизбежно приводит к сокращению продолжительности производства земляных работ.

Количество технологических стоянок экскаватора зависит от объема работ, выполняемого на каждой из них. Следовательно, чем больше объем работ, выполняемой на одной технологической стоянке, тем меньше технологических стоянок требуется при устройстве котлована. Нет необходимости доказывать, что объем работ на технологической стоянке зависит от степени использования технических характеристик экскаватора, в первую очередь длины рукояти, которую предпочтительнее описывать максимальным радиусом копания на поверхности земли.

Заметим, что максимальный радиус копания должен обеспечивать достижение проектной отметки дна котлована. Другими словами, котлован должен разрабатываться, например, с поверхности земли до проектной отметки с каждой технологической стоянки экскаватора. Для выполнения этого условия, необходимо учитывать физико-механические свойства грунта, которые, применительно к производству земляных работ экскаватором, описываются двумя количественными показателями: естественный угол откоса и расстояние от нижней кромки дна котлована до ближайшей опоры экскаватора.

Приведенные выше логические рассуждения несложно записать в виде алгебраического выражения:

$$R_{\max} \geq Z \operatorname{tg} \alpha + l + w \quad (1),$$

где R_{\max} – максимальный радиус копания экскаватора на поверхности земли, приведенный в техническом паспорте, м.;

- Z – отметка дна котлована (глубина котлована), установленная проектом, м;

- $\operatorname{tg} \alpha$ – угол естественного откоса котлована вычисляется в зависимости от физико-механических свойств грунта, вычисляется по данным инженерно-геологических изысканий по методике в приложении В СП 45.13330.2017, или принимается нормативное значение по таблице из прил. 4 к Правилам по

охране труда (Правила по охране труда при строительстве, реконструкции и ремонте. Утв. приказом Министерства труда и социальной защиты РФ № 883н от 11 декабря 2020 г.), безразмерная величина;

- l – расстояние от нижней кромки дна котлована до ближайшей опоры экскаватора, вычисляется в зависимости от физико-механических свойств грунта, вычисляется по данным инженерно- геологических изысканий по методике в приложении В СП 45.13330.2017, или принимается нормативное значение по табл. 1, п. 7.2.4, СНиП 12-03-2001, м.;

- w – расстояние от опоры экскаватора, ближайшей к откосу котлована, до оси вращения, принимается из технического паспорта, м.

Для корректного применения формулы 1 необходимо, чтобы уменьшение радиуса в зависимости от глубины копания не превышало величину основания откоса котлована:

$$(R_{\max} - \sqrt{R_{\max}^2 - Z^2}) \leq Z tga \quad (2),$$

где $(R_{\max} - \sqrt{R_{\max}^2 - Z^2})$ – величина уменьшения радиуса копания в зависимости от глубины копания (Z), R_{\max} – максимальный радиус копания экскаватора на поверхности земли, приведенный в техническом паспорте, м., Z – отметка дна котлована (глубина котлована), установленная проектом, м;

- tga – угол естественного откоса котлована вычисляется в зависимости от физико-механических свойств грунта, вычисляется по данным инженерно- геологических изысканий по методике в приложении В СП 45.13330.2017, или принимается нормативное значение по таблице из прил. 4 к Правилам по охране труда, безразмерная величина.

Принимая во внимание установленный факт изменения tga в зависимости от физико-механических свойств грунтов, целесообразно зависимость (формула 1) рассмотреть применительно к каждому виду грунта (рис. 1).

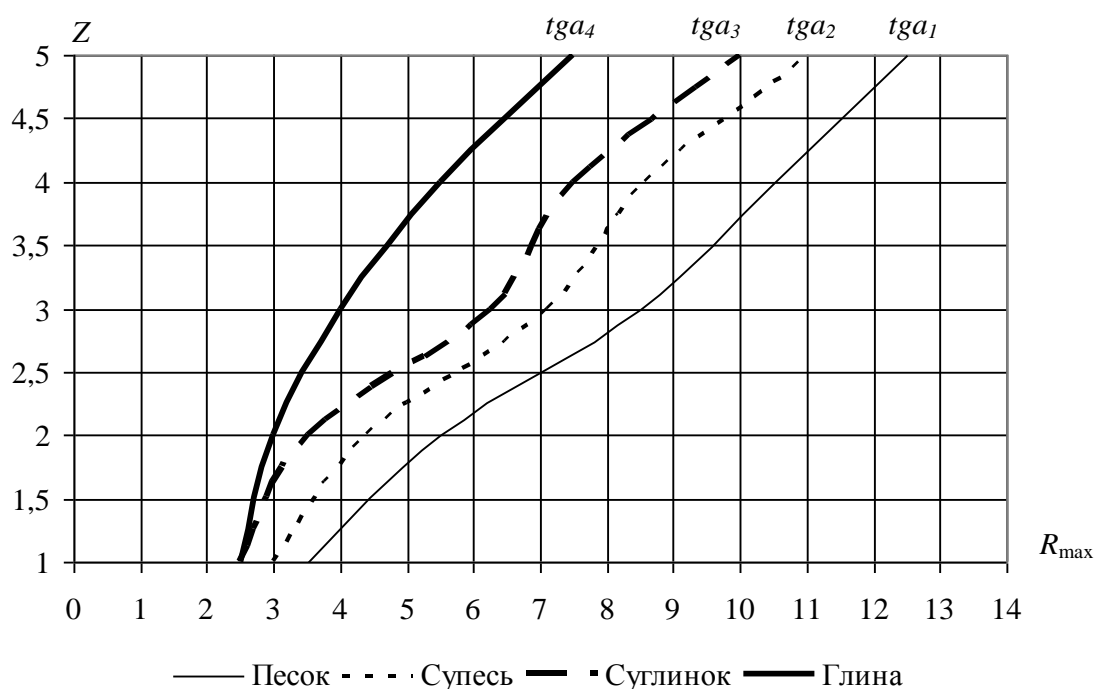


Рис. 1. – Требования к максимальному радиусу копания экскаватора

Выводы:

1. При определении размеров технологической стоянки экскаватора в случае разработки грунта в котлованах важная роль отводится величине максимального радиуса копания на поверхности земли. Именно этот показатель может применяться для оценки эффективности при выборе экскаватора для производства земляных работ. В этом случае под эффективностью понимается возможность наиболее полного ресурса землеройной машины, который определяется ее техническими характеристиками.

2. Поскольку геометрические размеры котлована находятся в прямой зависимости от физико-механических характеристик грунта, очевидным стал выбор комплексного показателя для описания этих свойств. В качестве такого показателя обосновано применение естественного угла откоса (tga). При помощи этого показателя несложно определять основание откосов стенок котлована и фронта работ, включая расстояние от нижней кромки дна котлована до ближайшей опоры экскаватора.

3. Разработка рабочей документации, регламентирующей производство земляных работ экскаватором, предусматривает нахождение ширины технологической стоянки (забоя). С точки зрения автора, технический ресурс экскаватора используется наиболее полно при условии $B = 2R_{\max}$ (B – ширина забоя, R_{\max} – максимальный радиус копания на поверхности земли). Формула 1 устанавливает технические требования для достижения условия $B = 2R_{\max}$ с учетом условий производства работ (вид грунта). Графический вид ограничений приводится на рис. 1.

4. Полученные результаты исследований следует относить к начальному этапу построения информационной модели, описывающей производство земляных работ экскаватором при устройстве котлована с учетом вида разрабатываемого грунта. В перспективе предполагается описать не только объем работ на одной технологической стоянке, но и геометрические изменения забоя после каждого технологического цикла.

Литература

1. Хмара Л.А., Баев С.В., Дахно О.А. Теоретические основы копания грунта одноковшовым экскаватором с телескопическим рабочим оборудованием. // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури, 2015, № 5, С. 51-65.

2. Васильев В.Г. Производительность одноковшового экскаватора с учетом параметров сменного рабочего оборудования // Модернизация и научные исследования в строительном комплексе, 2014, № 1, С. 32-35.

3. Павлов В.П. Анализ закономерностей развития основных параметров одноковшовых экскаваторов в компьютерной среде // Инженерный вестник Дона, 2010, № 3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2010/237

4. Рисунов А.Р., Кабанов В.Н. Выбор оптимального комплекта ведущих машин для земляных работ в зависимости от ряда влияющих

производственных и геотехнических факторов // Инженерный вестник Дона, 2020, № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N4y2020/6429

5. Groll T., Hemer S., Ropertz T., Berns K. Autonomous trenching with hierarchically organized primitives // Automation in construction, 2019, V. 98, pp. 214-224, doi: 10.1016/j.autcon.2018.11.016

6. Huang J., Wang D., Wang X.-Q., Yin Q., Shao, F.-M. Intelligent recognition method for working-cycle state of hydraulic excavator // Journal of Zhejiang University, 2019, V. 53, № 9, pp. 1663-1673

7. Lee, J., Kim, B., Sun, D., Han, C., Ahn, Y. Development of unmanned excavator vehicle system for performing dangerous construction work // Sensors. 2019, V. 19, № 22, 4853

8. Yeom D-J., Yoo H-S., Kim Y-S. 3D surround local sensing system H/W for intelligent excavation robot (IES) // Journal of Asian architecture and building engineering, 2019, V. 18, № 5, pp. 439-456, doi: 10.1080/13467581.2019.1679148

9. Patel B. P., Prajapati J. M. Evaluation of Bucket Capacity, Digging Force Calculations and Static Force Analysis of Mini Hydraulic Backhoe Excavator, Machine Design. 2012. The Journal of Faculty of Technical Sciences, Vol. 4, №. 1, pp. 59-66

10. Suryo S., Bayuseno A., Jamari J., Ramadh G., Simulation of Excavator Bucket Pressuring Through Finite Element Method // Civil Engineering Journal, 2018, V. 3, № 3, pp 478- 487.

References

1. Hmara L.A., Baev S.V., Dahno O.A. Vestnik Pridneprovs'koj gosudarstvennoj akademii stroitel'stva i arhitektury, 2015, № 5, pp. 51-65.



2. Vasil'ev V.G. Modernizaciya i nauchnye issledovaniya v stroitel'nom komplekse, 2014, № 1, pp. 32-35.
3. Pavlov V.P. Inzhenernyj vestnik Dona, 2010, № 3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2010/237
4. Risunov A.R., Kabanov V.N. Inzhenernyj vestnik Dona, 2020, № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N4y2020/6429
5. Groll T., Hemer S., Ropertz T., Berns K. Automation in construction, 2019, V. 98, pp. 214-224, doi: 10.1016/j.autcon.2018.11.016
6. Huang J., Wang D., Wang X.-Q., Yin Q., Shao, F.-M. Journal of Zhejiang University, 2019, V. 53, № 9, pp. 1663-1673
7. Lee, J., Kim, B., Sun, D., Han, C., Ahn, Y. Sensors. 2019, V. 19, № 22, 4853
8. Yeom D-J., Yoo H-S., Kim Y-S. Journal of Asian architecture and building engineering, 2019, V. 18, № 5, pp. 439-456, doi: 10.1080/13467581.2019.1679148
9. Patel B. P., Prajapati J. M. The Journal of Faculty of Technical Sciences, 2012, Vol. 4, №. 1, pp. 59-66
10. Suryo S., Bayuseno A., Jamari J., Ramadh G. Civil Engineering Journal, 2018, V. 3, № 3, pp. 478- 487.