

АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ЗЕМЛЕРОЙНЫХ МАШИН С ВОЗМОЖНОСТЯМИ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ИХ К ГРУНТОВЫМ УСЛОВИЯМ

Ж.А.ДУЙСЕБАЕВ

[E.mail. ksucta@elcat.kg](mailto:ksucta@elcat.kg)

Жер казуучу унаалардын жумушчу органдарынын тузулушунун анализи жүргүзүлөт.

Проводится анализ конструкций рабочих органов землеройных машин.

The analysis of designs of working bodies digging cars is carried out.

Общеизвестно, что при строительстве гидротехнических сооружений эффективность работы землеройных машин (ЗМ), их режим нагружения, а также условия труда обслуживающего персонала тесно связаны с грунтовыми условиями. Комплекс этих факторов оказывает существенное влияние на надежность и работоспособность техники, но не всегда учитывается при конструировании землеройной машины. Поэтому при проектировании, расчете, оптимизации параметров и режимов работы ЗМ нельзя рассматривать машины и рабочий орган вне связи с грунтовыми условиями.

В качестве основного фактора следует рассматривать прочностные характеристики грунта, оцениваемые количеством ударника ДорНИИ. Грунтовый массив в общем случае представляет собой сложный конгломерат компактно расположенных дискретных частиц, имеющих различную форму и ориентацию /1, 5/. Величина их может колебаться от микроскопических частиц глины до макроскопических валунов скальной насыпи /6/. Основой математической формулировки теории твердых тел – теории упругости и теории пластичности – является абстрактная идея о континууме, или непрерывной среде. Эта идея заключается в предположении о непрерывном распределении материала в рассматриваемой области, что позволяет применить для ее исследования математический анализ. По существу, такая теория должна удовлетворять двум требованиям: во-первых, предсказывать изменение относительного расположения частиц в грунтовом массиве под действием нагрузок, влияние этого изменения на элементы сооружения и, во-вторых, давать возможность оценивать взаимосвязь между прикладываемыми нагрузками и степенью приближения к состоянию разрушения, когда грунтовый массив уже не может далее выполнять своего назначения. Устанавливаемые зависимости должны соответствовать данным экспериментальных наблюдений. Так как относительное расположение частиц представляет собой деформацию, а изучение деформации составляет задачу теории упругости, и поскольку явление разрушения относится к области теории пластичности, то представляется необходимым более близкое ознакомление с абстрактным континуумом.

Таким образом, поскольку в большей части задач механики грунтов расстояния до границ и загруженные площади очень велики по сравнению с размерами отдельных частиц, представляется рациональным привлечь механику сплошной среды в качестве основы для аналитического рассмотрения этих задач /7/. Необходимо подчеркнуть, что сказанное не имеет в виду разрешить слепой перенос существующих решений задач сплошной среды на задачи механики грунтов.

Известно, что система сил, действующих на грунтовый массив со стороны рабочего органа ЗМ, изменяет его форму и объем, непрерывность никогда не нарушается, хотя под действием пограничных нагрузок может произойти нарушение непрерывности.

Наблюдения показывают, что такое нарушение непрерывности возникает во многих случаях. Нарушения могут варьировать от местных небольших усадочных трещин до скольжения одной части массива грунта относительно другой вдоль четко

обозначенных поверхностей разрыва. Одна из наиболее важных задач механики грунтов заключается в формировании критерия, который указывал бы, когда нарушения внутригрунтового массива получают размеры и распространение, достаточные для управления его поведением. Этот критерий отражает условие разрушения грунта, или пределы его прочности. Исключительно важное значение имеет определение физических постоянных, или параметров прочности для образца грунта, соответствующих практически действующим нагрузкам. Нетрудно понять, что теоретический анализ нарушений внутригрунтового массива следует обязательно согласовывать с напряжениями. Поскольку напряжения характеризуют распределение изменений, вызванных системой сил, мы будем рассматривать их как нарушение непрерывности в грунтовом массиве геометрического места точек, за которым напряжения больше не обеспечивают измерения передачи граничных нагрузок. Этим будет определяться математическая интерпретация явления нарушения.

Проследить за перемещениями каждой из частиц под действием сил, приложенных к телу, невозможно, поэтому прибегают к мысленной замене тела воображаемой сплошной средой, в которой вещество распределено равномерно по всему объему без разрывов и промежутков.

Следует иметь в виду, что когда грунт теоретически рассматривается как сплошная среда, то это не означает, что он не должен иметь пор или не может быть многофазной системой. Однако в данном случае все свойства грунта, связанные с его пористостью и многофазностью, предполагаются одинаковыми и в бесконечно малом мысленно выделенном элементе объема грунта, и в конечном его объеме.

Такое предположение приводит к правильным результатам, когда зависимости, установленные для бесконечно малого элемента сплошной среды, в результате интегрирования соответствующих дифференциальных уравнений распространяются на достаточно большие однородные массивы грунта.

Определению вероятностных грунтовых условий эксплуатации ЗМ и разработке статистической модели грунтов, а также оценке распределения грунтов по трудности разработки рабочим оборудованием ЗМ посвящены работы д.т.н., проф. И.А.Недорезова /4/, В.И.Баловнева /7/, А.Н.Зеленина /8/, Л.А.Хмары /2/, Р.А.Кабашева /9/, М.С.Кульгильдинова /10/ и др.

А.Н.Зелениным /8/ получены интересные и важные результаты по выявлению грунтового фона эксплуатации будущих объектов земляных работ в различных климатических зонах. Собраны большие сведения по числу С (число ударов плотномера ДорНИИ) и, соответственно, научно обработаны, что дало возможность получить наиболее вероятностные по представительности границы численных колебаний величин С. Отмечено, что правильная ориентация на грунтовый фон важна для проектирования, выпуска и эксплуатации всех ЗМ, но для экскаваторов это особенно важно вследствие целесообразно ограниченного пути заполнения ковша по забою. Иначе говоря, применение ковша с несоответствующей емкостью в большинстве случаев приводит к снижению производительности из-за неверного учета представительности грунтового фона.

Исследование и создание рабочих органов (РО) ЗМ требует изучения физической сущности процесса при взаимодействии РО с грунтами, содержащими инородные включения, так как исследование процесса адаптации таит в себе основу к раскрытию всей проблемы, связанной с конструированием эффективных РО.

Следует отметить, что состояние вопроса эффективного разрушения прочных и мерзлых грунтов и создание РО находится еще на том уровне, который требует тщательного и всестороннего его изучения и исследования. В зависимости от меняющихся во время работы грунтовых условий будут применяться различные принципы воздействия на грунт и их комбинации. В последние 15-20 лет вопросами

разрушения грунтов адаптируемыми РО занимались ученые В.И.Баловнев /3/, Л.А.Хмара /11,12/, Э.А.Кравцов /13/, Т.Т.Каимов /15/, М.Абдигалиев /14/ и др.

Как показали исследования работ /9,10/, грунтовые условия на территории РК изобилуют прочными, мерзлыми грунтами и грунтами с включениями, которые не позволяют землеройным машинам существующей конструкции с максимальной эффективностью производить земляные работы. Выполнение земляных работ в прочных и мерзлых грунтах, содержащих включения, с помощью традиционных РО ЗМ не всегда достаточно эффективно. Исследования показывают /13/, что уже наличие 5-7% каменистых включений в общем объеме грунта в значительной степени затрудняет работу ЗМ, а в определенных условиях делает ее практически невозможной.

Поэтому учет грунтовых условий при создании новых перспективных РО ЗМ является необходимым условием реализации индустриально-инновационной программы РК. Назрела необходимость исследования и разработки РО ЗМ для разрушения грунтов с каменистыми включениями, в том числе талых, прочных и сезонномерзлых грунтов. Эти РО должны быть специального конструкторского исполнения, способные эффективно разрабатывать грунты.

Анализ существующих исследований показал, что требует решения проблема, которая заключается в разработке и реализации комплекса мероприятий, обеспечивающих существенное повышение эффективности разработки таких грунтов ЗМ, на базе создания научных основ и методов формирования новых технических решений. Исследования прочностных характеристик, проведенные на песке, супеси, суглинке и глине, показывают, что среднее отношение значений условно-мгновенного сопротивления сжатия к значениям условно-мгновенного сопротивления растяжения возрастает примерно до 5,7 раза /1, 4/, следовательно, мерзлые грунты при быстром нагружении значительно хуже сопротивляются растяжению, чем сжатию и сдвигу, поэтому при их разрушении целесообразно использовать методы, предусматривающие преобладание в массиве растягивающих напряжений. Таким образом, в грунтах сезонного промерзания можно значительно увеличить относительную эффективность земляных работ, применяя рыхлители с траекторным колебанием, так как это позволяет реализовать большие усилия на кромке режущего инструмента, уменьшить энергоемкость процесса резания прочных и мерзлых грунтов.

Однако в этих работах не затрагивались вопросы вероятностной оценки представительности грунтов с каменистыми включениями как для талых, так и сезонномерзлых грунтов. Необходимость разработки статической модели грунтов с каменистыми включениями назрела, поскольку освоение природных богатств, развитие строительства в экономических районах республики постоянно сталкиваются с трудностями при разработке грунтов, изобилующих каменистыми включениями. Э.А.Кравцовым в работах /13/ была разработана статистическая модель грунта с каменистыми включениями. Было установлено, что наиболее представительным является комплекс, включающий супесь, суглинок, гальку с гравием, щебень, валуны, и для этой статистической модели установлены средние числа ударов плотномера ДорНИИ.

Установлена достаточно тесная линейная связь между показателями плотномера ДорНИИ (числом C), который дает интегральную оценку прочности грунта, и более определенным показателем прочности временным сопротивлением грунта одноосному сжатию σ_0 € /3. Показано также, что грунты плохо сопротивляются разрыву и имеет место связь $\sigma_p \approx 0,2\sigma_0$. С учетом этих соотношений на основе статистической обработки накопленных результатов экспериментальных исследований резания и копания грунтов сформирована шкала удельных сопротивлений резанию и копанию для наиболее характерных видов РО.

Иногда в области разработки прочных и мерзлых грунтов РО ЗМ не удается провести испытания в натурном масштабе. Следовательно, инженер должен опираться на

теорию, дающую параметры грунта, которые позволяют перейти от условий разработки в естественных условиях к относительно простым экспериментам в лаборатории.

Быстрый рост объемов земляных работ сопровождается их качественными изменениями. Все в большей степени они распространяются на так называемые прочные, мерзлые, талые грунты с включениями и техногенные отложения. Это связано с развитием круглогодичного строительства автомобильных и железных дорог, особенно жилищного строительства по всей территории РК.

В последние годы вмешательство человека в природу часто вызывает отрицательные последствия. В городах с течением времени происходит накопление техногенных отложений, которые также называют антропогенными, культурными, искусственными и т.п. Это обычно песчано-глинистые отложения с многочисленными включениями боя кирпича и посуды, остатков фундаментов и древесины, а также скопления промышленных отходов и хозяйственно-бытовых отходов. Техногенные отложения образуются не только в городах, но и в районах горнодобывающей промышленности за счет горных пород, изъятых из карьеров и шахт. В связи с урбанизацией и научно-технической революцией роль техногенных отложений становится все более значительной. К настоящему времени на поверхности земли залегают многие миллиарды тонн промышленных, хозяйственных и бытовых отходов. Одного лишь шлака за последние 10 лет накопилось 20 млрд т. Техногенные отложения (грунты) не выдержаны по составу и имеют различную площадь распространения. Среди них выделяют грунты, распространенные на значительной площади (культурный слой древних городов, намывные пески), линейно вытянутые (дамбы, насыпи дорог, траншеи), очаговые (засыпанные карьеры и болота, стройплощадки), точечные (мелкие свалки, засыпанные колодцы и др.). Мощность техногенных грунтов различна. Так, в засыпанных шахтах она составляет десятки метров, а в некоторых случаях – сотни метров. Техногенные отложения изучены значительно хуже, чем другие типы отложений, надо учесть еще, что Казахстан являлся главным для всех испытаний бывшего СССР, и этот фон предстоит изучать.

Под руководством д.т.н., профессора Р.А.Кабашева в РК определены и систематизированы наиболее распространенные типы грунтов (суглинисто-песчаные и глинистые), разработка которых, особенно в зимнее время, требует значительных энергетических затрат. Им определены количественная характеристика вероятности появления различных грунтов и их физико-механические свойства, а также гистограммы вероятности появления грунтов различного типа по территории РК.

Полученные результаты /9/ показывают, что на территории республики преобладают глинистые грунты, вероятность появления которых составляет 0,595; песчаные с вероятностью 0,259. В результате статистической обработки экспериментальных данных установлены плотности распределения величины ударов динамического плотномера по экономическим районам РК. Анализ результатов показывает, что доминирующими являются грунты III и IV категорий, по классификации А.Н. Зеленина. Были установлены наиболее распространенные грунты по уровням залегания по всей территории Казахстана, необходимые для определения режимов нагружения, энергоемкости и повышения эффективности ЗМ, разрабатывающих грунт на разных уровнях залегания в соответствии с технологией выполнения земляных работ.

Наибольший интерес для исследования адаптируемых РО вызывают данные по глубине промерзания и продолжительности мерзлого состояния грунтов для экономических районов Казахстана. Установлено, что среднемаксимальная глубина промерзания находится в пределах 0,16 для южного и до 2,4 м – для северных регионов. Получены основные физико-механические свойства моделей «средних» грунтов, механические составы глинистых, суглинистых, песчаных и др. грунтов, наиболее распространенных на территории РК. Кроме того, были определены усредненные механические составы песков, которые встречаются в песчаных зонах региона.

Приведенная оценка коэффициентов неоднородности грунтов с использованием интегральных кривых механического состава, по отношению эффективных диаметров частиц, позволила составить модели «средних» грунтов.

Установленный грунтовый фон по типам грунтов Республики Казахстан, уровням их залегания и по основным физико-механическим свойствам является основой для проведения экспериментов на стенде физического моделирования рабочего процесса адаптируемых РО ЗМ с использованием эквивалентного прочному и мерзлому грунту материала.

Выбор параметров землеройных РО производится в зависимости от их функционального назначения, грунтовых условий, мощности машины и ее кинематических особенностей. РО машин для линейных работ должны иметь параметры, обеспечивающие проход большей протяженности сооружений за единицу времени. РО машин для производства основных (массовых) земляных работ должны обеспечивать высокую производительность при минимальной энергоемкости и себестоимости этих работ. Одним из основных факторов, влияющих на сопротивляемость грунтов копанию, является положение РО в пространстве, характеризующееся угловыми параметрами.

Главным параметром для выбора основных параметров рыхлителей является тяговое усилие машин по сцеплению движителя с грунтом: бульдозеров – номинальное тяговое усилие, автогрейдеров – масса машины, скреперов, одноковшовых погрузчиков и экскаваторов – геометрическая емкость ковша.

У ковшовых землеройных РО основными геометрическими параметрами являются длина, ширина и высота, которые получаются как производные от емкости ковша, а также углы резания режущей кромки и зуба, шаг и ширина последнего.

Значительное разнообразие конструктивных форм и параметров ковшей обратной лопаты гидравлических экскаваторов потребовало разработки документа, регламентирующего основные типы, размеры и параметры ковшей, что, наряду с общеизвестными преимуществами стандартизации, дает возможность снизить издержки при эксплуатации машин, когда ширина стандартных ковшей соответствует требованиям технологии производства земляных работ. Кроме того, стандартизация РО позволяет обеспечить рациональную связь между основными параметрами машин различных типоразмеров и параметрами ковшей, предназначенных для определенных грунтовых условий, и, следовательно, более эффективно использовать мощность привода. При разработке ОСТа /16/ ставилась задача установить основные параметры и размеры ковшей, обеспечивающие проектирование кинематически подобных ковшей необходимой номенклатуры. Критерием рациональности выбора параметров ковшей при определении их основных размеров являлось снижение энергоемкости процесса копания и повышение производительности экскаватора /5/. Исходной формулой для составления системы уравнений, связывающих параметры поперечного и продольного профиля ковша, явилась формула для определения емкости ковша, установленная ГОСТ 17257-79.

При копании поворотом ковша относительно рукояти угол резания зубьями должен быть в пределах 48-52° (при угле заострения зуба 25°), а угол резания режущей кромки – в пределах 27-32°. Угол заострения режущей кромки и боковых стенок – в пределах 16-20°. Отношение расстояния между зубьями к их ширине должно находиться в пределах 2-3. Ширина зуба выбирается из условия прочности.

Выгодность принципа косого резания и применение этого принципа в различной степени на конструкциях ковшовых и отвально-ковшовых (например, бездонной ковш бульдозера и планировщика) РО ЗМ исследовались в работах /17/.

Землеройные РО современных машин имеют (за исключением отвала автогрейдера) очень узкий диапазон изменения угловых параметров, хотя оптимальные их значения колеблются в широких пределах. Для обеспечения определенного диапазона изменения угловых параметров землеройных рабочих обобщим факторы, от которых они зависят.

Вновь созданные землеройные РО должны обеспечивать (в идеальном случае) пределы изменения угловых параметров, причем с самоустановлением любого значения во всем диапазоне их изменения. Естественно, это должно быть согласовано с экономической точки зрения создания и эксплуатации.

Таблица 1

Диапазоны изменения угловых параметров землеройных РО

№	Параметры угловые	Рабочие органы					
		ножевые		отвальные		ковшовые	
		вертикальные	горизонтальные	бульдозера	автогрейдера	скрепера	экскаватора
1.	Угол резания, град.	30-135	0-70	45-75	30-80	30-50	30-60
2.	Угол в плане, град.	40-180	45	-	-	-	-
3.	Горизонтальный угол режущей кромки, град.	45	45	до 45	до 45	до 45	до 45

Список литературы

1. Ровинский М.И., Телушкин В.Д., Шлойдо Г.А., Захарчук Б.З. Определение основных параметров и области эффективного применения рыхлителей // Сб. науч. трудов ВНИИ строительной техники, XLVIII. – М., 1970. – С. 27-38.
2. Баловнев В. И., Хмара Л. А. Интенсификация разработки грунтов в дорожном строительстве. – М., 1993. – 383 с.
3. Баловнев В.И. Дорожно-строительные машины с рабочими органами интенсифицирующего действия. – М., 1981. – 224 с.
4. Недорезов И.А. Интенсификация рабочих органов землеройных машин. – М., 1979. – 50 с.
5. Зеленин А.Н. Основы разрушения грунтов механическими способами. – М., 1968. – 376 с.
6. Хор М.Е., Основы теоретической механики грунтов. – М., 1971. – 320 с.
7. Гольдштейн М.Н., Механические свойства грунтов. – М., 1971. – 368 с.
8. Зеленин А.Н., Баловнев В.И., Керов И.П. Машины для земляных работ. – М., 1975. – 424 с.
9. Кабашев Р. А. Дорожные и строительные машины: абразивный износ рабочих органов землеройных машин. – Алматы, 1997. – 434 с.
10. Кабашев Р.А., Кульгильдинов М.С. Наиболее распространенные типы грунтов Казахстана и их физико-механические свойства // Сб. науч. трудов. 1-го Центрально-Азиатского геотехнич. симпозиума. – Астана, 2000. – С.200-203.
11. Хмара Л.А. Тенденции совершенствования специализированного навесного землеройного оборудования к тракторам и экскаваторам // Строительные и дорожные машины. – 1998. – № 1. – С.10-14.
12. Хмара Л.А. Тенденции совершенствования специализированного навесного землеройного оборудования к тракторам и экскаваторам // Строительные и дорожные машины. – 1998. – № 3. – С.5-8.
13. Кравцов Э.А. Интенсификация рабочих процессов землеройных машин. – М., МАДИ, 1988. – 91 с.
14. Абдигалиев М. Самоприспосабливающиеся рабочие органы экскаваторов для водохозяйственного строительства. – Ташкент, ТИИМСХ, 1987. – 86 с.
15. Каимов Т.Т. Адаптирующиеся многоцелевые рабочие органы строительных и дорожных машин. – Алматы, 1998. – 149 с.

16. ОСТ 22-915-76. Ковши обратной лопаты гидравлических экскаваторов. Типы, основные параметры и размеры. – М.: ЦНИИТЭстроймаш, 1976. – 6 с.
17. Недорезов И.А. Эффективность косо́го резания грунта // Строительные и дорожные машины. –1969.– № 3.– С.14-15.