

М. Ф. Закиров; В. П. Баранчик, д-р техн. наук, проф.
ФГБОУ ВПО «ИЖЕВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»
Ижевск, Россия

ОПТИМАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ СНЕГА ПЛУЖНЫМ СНЕГООЧИСТИТЕЛЕМ

Рассмотрена возможность снижения энергоемкости процесса резания снега плужным снегоочистителем, путем создания оптимального по энергоемкости предельного напряженного состояния с наличием растягивающих напряжений в призме волочения, идентифицируемого по доле вертикальной составляющей в общем сопротивлении резанию.

Проблема снижения энергоемкости процесса разрушения снега снегоуборочными машинами может быть решена путем максимально возможного использования низкой сопротивляемости этого материала действию растягивающих напряжений. Тем более, что этому способствуют конусообразные уплотненные ядра из сжатого снега, возникающие при поступательном движении плужного рабочего органа. При движении уплотненного ядра в некоторых точках сжимаемого объема возникают растягивающие напряжения, под действием которых в материале возникают и развиваются трещины в наклонных направлениях, происходит циклическое отделение тел скольжения от массива.

Производительность плужного снегоочистителя определяется объемом горизонтально перемещенного за цикл снега, а количество затраченной энергии зависит также и от вертикального перемещения элементов призмы. Параметры внешнего воздействия на обрабатываемый массив (например, угол резания) можно изменять, с целью минимизации работы силы сопротивления, при сохранении производительности машины. По-видимому, существует оптимальное соотношение между горизонтальной и вертикальной составляющими силы сопротивления, соответствующее минимуму энергоемкости рабочего процесса плужного снегоочистителя. Для получения указанного оптимального соотношения был решен ряд задач, связанных с определением реализуемых при работе снегоочистителя предельных напряженных состояний (ПНС) обрабатываемой среды [1–4].

Существующие методики проектирования снегоочистителей, основанные на использовании постоянного значения удельного сопротивления резанию, получаемого экспериментально, не отражают особенности процесса резания снега и фактические затраты энергии. Сложный характер зависимостей механических свойств снега от многочисленных факторов диктует необходимость нового подхода к выбору режима работы снегоочистителя, основанный на использовании текущей информации о сопротивлении на рабочем органе.

Под действием рабочего органа в точке деформируемого объема возникает некоторое априори неизвестное напряженное состояние, характери-

зуемое определенным соотношением главных напряжений, для которого известны значения вертикальной P_v и горизонтальной P_r составляющих общего сопротивления резанию R . Углы внешнего и внутреннего трения, согласно принятой гипотезе, изменяются в процессе резания, поэтому меняется и соотношение их составляющих. При этом в каждый момент времени соблюдается соотношение (1), откуда, при постоянном угле резания, можно определить текущее значение угла внешнего трения.

$$\frac{P_v}{P_r} = \operatorname{ctg}(\alpha + \varphi), \quad (1)$$

где: α – угол резания; φ – угол внешнего трения.

Задача оптимизации параметров режима резания заключается в назначении такого угла резания, соответствующего минимуму силы на рабочем органе при максимуме напряжений растяжения и сдвига, создаваемых на площадке сдвига. Значения составляющих силы сопротивления резанию, при данном угле резания, в каждый момент времени связаны с реакцией среды на площадке сдвига через угол внутреннего трения и давлением призмы. Выходными параметрами искомого оптимального процесса резания являются угол резания и толщина стружки для снега данной плотности. Однако технологически единственно возможным управляющим параметром является только угол резания, так как стружка должна быть срезана за один проход машины, независимо от высоты снежного покрова.

Реализуемые плужным рабочим органом ПНС, представленные в виде предельных кругов Мора, позволяют определить оптимальное, при данном угле внутреннего трения, положение площадки сдвига. Минимум энергоемкости процесса сдвига тела скольжения соответствует минимальному радиусу предельного круга Мора при минимальном угле внутреннего трения. Математическая модель процесса позволяет идентифицировать оптимальное ПНС по составляющим усилия на рабочем органе при данном угле резания. Прямая оценка режима резания должна производиться на основе критериев, определяющих действительные затраты энергии на разрушение и перемещение призмы волочения. Таким критерием является текущее значение удельного сопротивления резанию.

Энергоемкость рабочего процесса плужного снегоочистителя равна в кВт·час/м³

$$\Theta = \frac{R \cdot l}{3600 \cdot h \cdot b \cdot l}, \quad (2)$$

где: l – путь резания; h – толщина стружки; b – ширина отвала.

При постоянной ширине отвала энергоемкость процесса (2) прямо пропорциональна отношению R/h . Поэтому, данное отношение следует считать единственным критерием оптимальности режима резания. Остальные показатели процесса являются косвенными, указывающими лишь близость к оптимуму. Каждому значению R/h отвечает определенное сочетание косвенных показателей оптимальности. Среди косвенных показателей единственным внешним идентификатором режима является величина доли вертикальной составляющей в суммарной силе сопротивления P_v/R .

Давление призмы также влияет на величину R/h . С целью оценки диапазона устойчивости оптимального режима, были вычислены величины R/h и соответствующие им значения P_v/R , при минимальном и при максимальном давлении призмы. Затем были определены пределы оптимальных

значений $(P_B/R)_{opt}$ и оптимального угла резания α_{opt} (табл. 1).

Табл. 1. Определение оптимальных режимов и диапазонов

h , мм	α , град	Снег $\gamma = 400 \text{ кг/м}^3$		Снег $\gamma = 550 \text{ кг/м}^3$		Оптимальные режимы и диапазоны			
		$\frac{R}{h^2}$, кН/м	$\frac{P_B}{R}$	$\frac{R}{h^2}$, кН/м	$\frac{P_B}{R}$	Снег $\gamma = 400 \text{ кг/м}^3$		Снег $\gamma = 550 \text{ кг/м}^3$	
						$\left(\frac{P_B}{R}\right)_{opt}$	α_{opt} , град	$\left(\frac{P_B}{R}\right)_{opt}$	α_{opt} , град
25	35	8,50	0,43	15,26	0,37				
	45	3,48	0,53	8,95	0,40	0,53÷0,25	45÷55		
	55	4,17	0,25	7,47	0,39			0,39÷0,25	55÷55
50	35	4,76	0,13	13,15	0,43				
	45	3,38	0,36	9,75	0,27				
	55	2,95	0,29	4,44	0,39	0,29÷0,20	55÷45	0,39÷0,43	55÷55
70	35	4,31	0,40	6,33	0,41				
	45	3,27	0,34	5,40	0,34			0,34÷0,23	45÷35
	55	3,21	0,25	8,67	0,30	0,25÷0,30	55÷55		

Рассматривая результаты, можно заметить, что минимум P_B/R не всегда соответствует минимуму R/h . Это объясняется тем, что среди влияющих на процесс параметров есть такие, влияние которых взаимно противоположно.

Оптимальные режимы соответствуют $(R/h)_{min}$, а идентифицируются по P_B/R . Оптимальные режимы резания и режимы, близкие к оптимальным, приведены на рисунках 1–3.

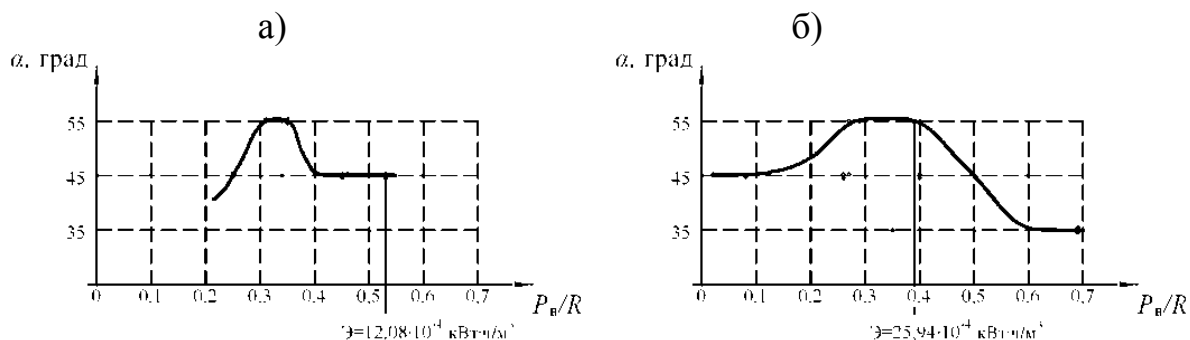


Рис. 1. Оптимальные углы резания снега при стружке $h=25$ мм (а – снег $\gamma = 400 \text{ кг/м}^3$; б – снег $\gamma = 550 \text{ кг/м}^3$)

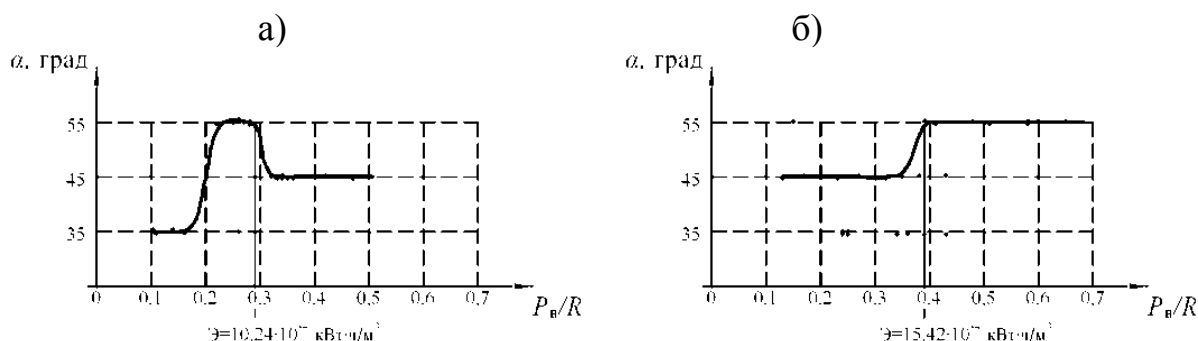


Рис. 2. Оптимальные углы резания снега при стружке $h=50$ мм (а – снег $\gamma = 400 \text{ кг/м}^3$; б – снег $\gamma = 550 \text{ кг/м}^3$)

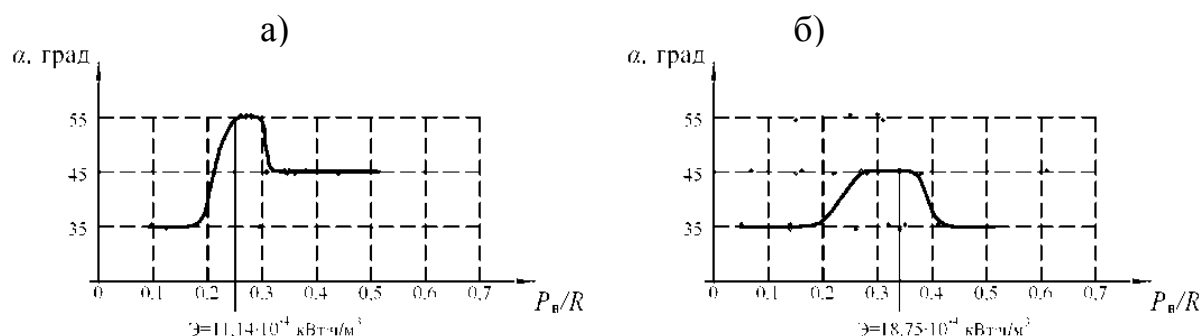


Рис. 3. Оптимальные углы резания снега при стружке $h=70$ мм (а – снег $\gamma = 400$ кг/м³; б – снег $\gamma = 550$ кг/м³)

Для сравнения вычислены энергоёмкость и коэффициент сопротивления резанию при оптимальных режимах (табл. 2). Видим, что снижение $k_{рез}$ и энергоёмкости на оптимальных режимах составляет для снега $\gamma = 400$ кг/м³ $1,83 \div 2,17$ раз, а для снега $\gamma = 550$ кг/м³ $2,68 \div 4,50$ раз. При работе снегоуборщика значения $P_{в}/R$ непрерывно меняются. Ломаные линии на рисунках 1-3 являются законом оптимального управления углом резания по возмущению $P_{в}/R$ для данного вида и состояния снега.

Табл. 2. Энергоёмкость и коэффициент сопротивления резанию снега при оптимальных режимах

h , мм	R , Н	$\left(\frac{R}{h}\right)_{min}^{(R)}$, кН/М	$\left(\frac{P_6}{R}\right)_{opt}^{(P_6)}$	$\mathfrak{E} \cdot 10^{-4}$, кВт·час/м ³	$k_{рез}^{opt}$, кПа	$k_{рез}$, кПа [5]
Снег $\gamma = 400$ кг/м ³						
25	87,13	3,48	0,53	12,08	4,36	8
50	147,44	2,95	0,29	10,24	3,69	
70	224,93	3,21	0,25	11,14	4,02	
Снег $\gamma = 550$ кг/м ³						
25	186,85	7,47	0,39	25,94	9,34	25
50	222,31	4,44	0,39	15,42	5,56	
70	378,05	5,40	0,34	18,75	6,75	

В результате проведенного исследования, открываются новые возможности для снижения энергоёмкости рабочего процесса плужного снегоочистителя путем оптимального управления рабочим органом, на основе использования созданной базы данных о предельных состояниях снега.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баранчик, В. П. Напряженно-деформированное состояние снега при взаимодействии с отвальным рабочим органом / В. П. Баранчик, М. Ф. Закиров // Интерстроймех – 2009 : материалы междунар. науч.-техн. конф. – Бишкек : КГУСТА, 2009. – С. 105–106.
2. Баранчик, В. П. Исследования сопротивления резанию снега малогабаритным плужным снегоочистителем / В. П. Баранчик, М. Ф. Закиров // Механизация строительства. – 2009. – № 11. – С. 16–18.
3. Закиров, М. Ф. Исследование предельного напряженного состояния снега / М. Ф. Закиров // Проблемы эксплуатации систем транспорта : материалы всерос. науч.-практ. конф. – Тюмень : ТюмГНГУ, 2009. – С. 99–101.
4. Закиров М.Ф. Оптимальное управление и автоматизация процесса резания снега плужным снегоочистителем / М. Ф. Закиров, В. П. Баранчик // Интерстроймех–2010 : материалы междунар. науч.-техн. конф. – Белгород : БГТУ, 2010. – Т.1. – С. 168–171.
5. Шалман, Д. А. Снегоочистители / Д. А. Шалман. – Л. : Машиностроение, 1973. – 216 с.