

частиц заполнителей асфальтовязущим веществом на принцип их «обдувки» битумной аэрозолью.

Изложенные выше пути ресурсосбережения требуют детального исследования и опытно-промышленной апробации. Имеются и другие неиспользованные пока резервы. В частности, далеко не исчерпаны потенциальные возможности ресурсосбережения при получении материалов, требующих автоклавной обработки, замены остродефицитных минеральных вяжущих (например, цемента) на менее дефицитные известково-кварцевые, позволяющие получать вместо дорогостоящего цементобетона более дешевый силикальцит и др.

В заключение можно отметить, что затронутая проблема многогранна и требует своей разработки на уровне государственной научно-технической программы.

### Литература

1. Романюк, В.Н. Основы эффективного энергоиспользования на производственных предприятиях дорожной отрасли / В.Н. Романюк, В.Н. Радкевич, Я.Н. Ковалев. – Минск: УП «Технопринт», 2001. – 292 с.
2. Ковалев, Я.Н. Состояние и перспектив использования электронно-ионной технологии при производстве асфальтобетона / Я.Н. Ковалев. – Минск: БелНИИТИ, 1985. – 36 с.
3. Ковалев, Я.Н. Активационно-технологическая механика дорожного асфальтобетона / Я.Н. Ковалев. – Минск: Вышэйшая школа, 1990. – 180 с.

УДК 625.731.1:634.0.383

## ВОДНО-ТЕПЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЗЕМЛЯНОМ ПОЛОТНЕ И УЧЕТ ИХ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Леонович И.И., д-р техн. наук, проф.,

Вырко Н.П., д-р техн. наук, проф.,

Тумашик И.И.

*Белорусский государственный технологический университет,*

*Белорусский национальный технический университет*

*Минск, Беларусь*

Лесной комплекс Беларуси имеет большое экономическое, социальное и стратегическое значение. Он обеспечивает не только по-

важность народного хозяйства в древесных ресурсах, но и в значительной степени способствует международной интеграции.

Лесная промышленность республики работает, в основном в лесах II группы с ограниченным лесопользованием. Лесосырьевые базы не закрепляются за предприятиями на длительный период, а лесосечного фонда производится ежегодно в объемах плана лесозаготовок на один год.

По приоритетным функциям леса Беларуси разделены на 2 группы [1]. К лесам первой группы относятся национальные парки, заповедники, особенно ценные участки генетического фонда, водоохранные, защитные, научного и историко-культурного значения, оздоровительные вокруг населенных пунктов и промышленных предприятий, а также курортные. Эти леса в Беларуси занимают 31,6 % от общей лесной площади. К лесам второй группы относятся эксплуатационные леса, которые занимают 48,4 % от лесной площади. Они являются основным источником древесины.

Запасы древесины на корню в лесах Беларуси составляют 1,4 млрд м<sup>3</sup> с ежегодным средним приростом 28,6 млн м<sup>3</sup>. Запас спелых и перестойных древостоев равен 163 млн м<sup>3</sup> (11,6 % от общего запаса). В 2007 году объем заготовок деловой древесины составил около 8,0 млн м<sup>3</sup>, а к 2015 году планируется увеличить его до 19-20 млн м<sup>3</sup>. Выполнение такого объема лесозаготовок связано с большими трудностями и особенно с разбросанностью лесосечного фонда, отводимого в рубку, по всей территории республики малыми по площади и объему лесосеками, природно-гидрологическими условиями. Более 60 % лесного фонда произрастает на заболоченных участках.

Разбросанность лесосечного фонда, расположение его вдали от населенных пунктов, потребителей, приводит к значительным объемам строительства транспортных путей. Планирование и организация работ по лесопользованию тесно связана с работой специализированного ведомственного лесотранспорта и мобильных технологических машин [2, 3].

Транспорт леса в лесной отрасли является основным и решающим звеном лесозаготовительного процесса, так как оценка работы лесозаготовительного предприятия оценивается по объему вывозки подготовленного леса. Для обеспечения успешной работы указанного вида транспорта необходимо иметь разветвленную транспортную

сеть лесных дорог, так и дорог общего пользования в хорошем техническом состоянии.

Для освоения лесных массивов строятся следующие виды лесных дорог: магистрали и технологические пути. Если магистральный путь – это дорога круглогодочного действия, то технологические пути функционируют от 1 до 10 лет.

В настоящее время протяженность существующих дорог, проходящих по территории лесного фонда Минлесхоза Республики Беларусь, по данным О. Шарафанович [4], приведена в таблице.

Таблица

Наименование ПЛХО	Железные дороги, км	Автомобильные дороги, км			Круглогодочного действия
		Лесные грунтовые дороги			
		Всего	в том числе		
			общего пользования	из них в удовлетворительном состоянии	
Брестское	292	2772	272	136	1466
Витебское	175	12990	972	295	1645
Гомельское	425	31034	2426	1405	3516
Гродненское	289	15269	1518	276	1978
Минское	161	24438	3223	753	3744
Могилевское	341	18752	1632	1125	2503
ИТОГО	1683	105225	10042	3989	14852

Сколько же на самом деле отрасли нужно лесных дорог, чтобы обеспечить ритмичную работу предприятий лесного комплекса? Чтобы ответить на этот вопрос, необходимо знать, какая должна быть густота транспортной сети, чтобы обеспечить нормальную работу лесохозяйственных и лесозаготовительных предприятий.

Густота дорожной сети для транспортного освоения лесных территорий по данным Белгипролес должна составлять 0,432 км на 100 га общей покрытой лесом площади. В настоящее время она составляет 0,222 км на 100 га. Для достижения густоты транспортной сети 0,432 км на 100 га необходимо построить около 11,8 тыс. км лесных автомобильных дорог, в т.ч. 620 км магистральных и 11,2 тыс. км технологических путей.

В соответствии с Программой транспортного освоения и строительства лесохозяйственных дорог в лесах Минлесхоза на период до 2010 года, разработанной УП «Белгипролес» должно ежегодно строиться 100 – 120 км автомобильных лесных дорог.

Для строительства автомобильных лесных (лесохозяйственных) дорог распоряжением Совета министров Республики Беларусь №06/102-302 от 15.06.2006 года, начиная с 2007 года предусмотрено ежегодное выделение финансовых средств в размере 10 млрд рублей.

За период 2004 – 2007 годы построено около 260 км лесохозяйственных автодорог, т.е. за оставшиеся три года необходимо, в среднем, строить по 120 км в год. Это даст возможность обеспечить ежегодную вывозку заготовленной древесины в объеме более 1,1 млн тыс. м<sup>3</sup>. Однако есть факторы, которые необходимо в обязательном порядке учитывать при проектировании и строительстве лесных автомобильных дорог. Главный из них водно-тепловой режим земляного полотна и дорожной одежды, который имеет существенные особенности для лесных дорог. К ним можно отнести источники увлажнения и глубину промерзания грунтов.

Для лесохозяйственных автодорог, построенных в лесу, существенным источником увлажнения грунтов земляного полотна является миграция влаги из боковых канав, в которых вода может застаиваться 40 и более суток, а в Витебской области до полугода. В связи с этим нами был исследован процесс передвижения (миграции) влаги из боковых канав в тело земляного полотна.

Вопросами движения влаги в ненасыщенном грунте занимались многие ученые, к числу которых можно отнести профессоров Боженову А. П., Бируля А. К., Роде А. А., Пузакова Н. А., Сиденко В. М., Судницына И. И., Тулаева А. Я. и ряд других.

Для решения данного вопроса нами использовано дифференциальное уравнение второго порядка, так как основная трудность применения закона Дорси к ненасыщенному потоку влаги заключается в том, что коэффициент влагопроводности грунта является функцией влагосодержания последнего. Первоначально считалось, что влагопроводимость прямо пропорциональна содержанию влаги, однако, как показали дальнейшие исследования Роде А. А. [5], Сиденко В. М. [6], Пузакова Н. А. [7], Тулаева А. Я. [8] и ряда зарубежных исследователей влагопроводность убывает быстрее, чем

влажность. Главной причиной этого явления является уменьшение площади поперечного сечения, занятого водой, потому что влага передвигается только через ту долю порового пространства, которая занята водой.

Учитывая изложенное, нами проводились исследования по накоплению и передвижению влаги из боковых канав при плохом или затруднительном водоотводе, т.е. изучалось насколько увеличивается влажность грунта земляного полотна в зависимости от продолжительности действия источника увлажнения, а также за какое время и на какое расстояние может мигрировать влага при увеличении влажности грунта до полной влагоемкости.

В результате проведенных исследований нами получена математическая зависимость, позволяющая определить максимальное расстояние, на которое способна мигрировать влага за период действия источника увлажнения.

$$W_{(x,t)} = W_n \left[ 1 - \Phi \left( \frac{x}{2\sqrt{k \cdot t}} \right) \right] + \frac{W_0}{2} \left[ 2\Phi \left( \frac{x}{2\sqrt{k \cdot t}} \right) - \Phi \left( \frac{x-l}{2\sqrt{k \cdot t}} \right) - \Phi \left( \frac{x+l}{2\sqrt{k \cdot t}} \right) \right], \quad (1)$$

где  $W_n$  — полная влагоемкость грунта, %;  $x$  — текущая координата;  $k$  — коэффициент влагопроводности грунта, м/сут;  $t$  — время увлажнения, сут;  $W_0$  — естественная влажность грунта, %;  $l$  — расстояние от источника увлажнения, м.

Для расчета по уравнению (1) была составлена программа на ЭВМ. Анализ полученных расчетов показывает, что интенсивное водонасыщение грунта происходит в первые 5 суток, а по истечении 15–25 суток почти прекращается (рис. 1). Увеличение влажности грунта в первые 5 суток достигает 60–70 % (рис. 2) по отношению к первоначальной.

Насыщение грунта влагой наступает тем раньше, чем меньше его первоначальная влажность. Проведенные исследования позволили установить максимальное расстояние от источника увлажнения, на которое способна мигрировать влага за время действия источника увлажнения в зависимости от типа грунта. Это расстояние, за 20 суток действия источника увлажнения, для глинистых грунтов составляет 2,5–3,5 м; суглинистых — 3,0–4,0 м; супесчаных — 7,0–9,0 м и для мелкого песка — 27,0–36,0 м.

Другим важным фактором, который необходимо учитывать при проектировании дорог, и особенно для лесных дорог, является глубина промерзания грунта. Промерзание грунта оказывает большое влияние на распределение и передвижение влаги, изменение фазового состава грунта, высоту насыпи и т.д.

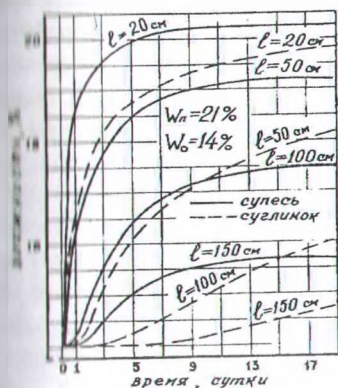


Рис. 1. Изменение влажности грунтов в зависимости от расстояния до источника увлажнения и времени его действия

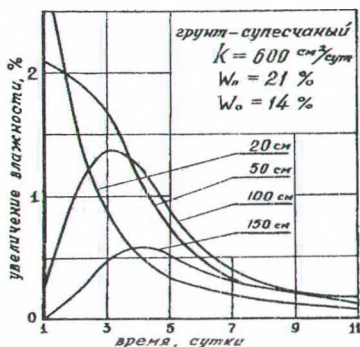


Рис. 2. Интенсивность нарастания влажности грунтов в зависимости от расстояния до источника увлажнения и времени его действия

Исследования, проведенные нами и другими исследователями, показывают, что на промерзание грунта существенное влияние оказывает тип грунта, его влажность, интенсивность и продолжительность действия отрицательной температуры, теплопроводность грунта и т.д.

Чем выше теплопроводность грунта, тем больше глубина его промерзания. Влажность в начальный момент способствует промерзанию, так как увеличивает теплопроводность, а в дальнейшем при замерзании воды процесс замедляется. Это вызвано тем, что при замерзании воды выделяется теплота льдообразования, поэтому скорость и глубина промерзания более влажного грунта будет меньше, чем грунта с меньшей влажностью. Сказанное особенно необходимо учитывать при проектировании лесных дорог, проходящие по лесным территориям, грунты которых имеют повышенную влажность.

Вопросу промерзания грунта посвящены работы профессоров Золоторя И. А. [9], Пузакова Н. А. [7], Сиденко В. М. [6], Тулаев А. Я. [8] и других исследователей. В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований предложен ряд формул для определения глубины промерзания грунта. Одни из них учитывают теплофизические и тепломассообменные процессы, протекающие в грунтах, а другие получены в результате обработки экспериментальных исследований. Расчет глубины промерзания грунта по этим формулам в большинстве случаев требуется знание теплофизических характеристик грунта по этим формулам по трассе дороги, при определении которых возникают значительные трудности.

Для определения глубины промерзания грунта нами предложен статистический метод, который в обобщенном виде учитывает все факторы, влияющие на промерзание грунта. В основу данного метода положены многолетние наблюдения за глубиной промерзания грунта, при этом быть два случая: первый – многолетние данные наблюдений о глубине промерзания грунта имеются; второй – они отсутствуют. Ко второму случаю относятся лесные дороги. В связи с этим нами построены карты изолиний средней многолетней глубины промерзания грунта (рис. 3) и коэффициента вариации (рис. 4), по которым максимальная глубина промерзания может быть определена по формуле

$$Z = k_n \cdot k_s \cdot Z_{\text{ср}}, \quad (2)$$

где  $k_n$  – коэффициент перехода от глубины промерзания грунта под снегом к глубине промерзания его без снега;  $k_s$  – модульный коэффициент, определяемый по таблицам С.И. Рыбнина в зависимости от коэффициентов вариации и асимметрии;  $Z_{\text{ср}}$  – средняя многолетняя глубина промерзания грунта под снегом определяемая по карте изолиний.

В результате проведенных исследований в зависимости от категории дороги и расчетной обеспеченности нами установлен коэффициент перехода  $k_n$ . Для дорог общего пользования данный коэффициент колеблется в пределах 1,7 – 2,3, а для лесных дорог 1,2 – 1,6.

Чем выше категория дороги, тем выше коэффициент перехода. Так для дороги общего пользования I категории при 1 % обеспеченности  $k_n=2,3$ ; для II категории при 2 % обеспеченности  $k_n=1,9-2,0$ .

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы:



Рис. 3. Карта изолиний средней многолетней глубины промерзания грунта

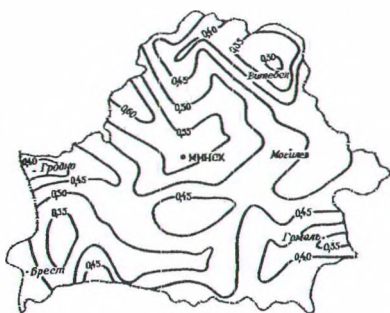


Рис. 4. Карта изолиний коэффициента вариации

1. Лесной комплекс Республики Беларусь обладает значительными запасами древесных ресурсов. Рациональное и эффективное их использование в значительной степени зависит от наличия и технического состояния лесных автомобильных дорог.

2. При проектировании и строительстве автомобильных лесных дорог необходимо учитывать, что около 66 % лесосеченого фонда заболочено. Колебание уровня грунтовых вод имеет два максимума: весенний – продолжительностью 15 – 25 суток и осенний – до 40 суток. Продолжительность расчетного состояния грунта земляного полотна в осенний и весенний периоды составляет от 15 до 40 суток, чем осложняется обеспечение круглогодичной работы автомобильного транспорта на вывозке заготовленного леса.

3. Теоретически доказано и экспериментально подтверждено, что интенсивное увеличение влажности происходит в первые 3 суток и составляет 60 – 70 % по сравнению с последующим увеличением. Максимальное расстояние, на которое может мигрировать влага из боковых канав в течение 20 суток, составляет: для глинистых грунтов – 2,5 м; суглинистых – 4,0 м; супесчаных – 7,0 м; мелкозернистого песка – 27,0 м.



4. В весенний период влажность грунта земляного полотна для лесных автомобильных дорог, проходящих по лесным массивам в 1,5 – 2,0 раза выше, чем для дорог в открытой местности.

5. Рекомендуется для лесных районов, где отсутствуют данные наблюдений о глубине промерзания грунта с достаточной точностью ( $\pm 2 - 3 \%$ ) можно использовать карты изолиний средней многолетней глубины промерзания грунтов и коэффициента вариации, разработанные автором.

### Литература

1. Леонович, И.И. Учет тенденций развития сети автомобильных дорог при разработке перспективных планов лесопользования. Труды БГТУ. Сер. II. Лесная и деревообрабатывающая промышленность – Минск: БГТУ, 2006. – Вып. XIV. – С. 3–6.

2. Побирušко, Н.Ю. Лесное хозяйство / Н.Ю. Побирušко // Республика Беларусь: Энциклопедия: в 6 т. – Минск: БелЭН, 2005. – Т.1 – С. 500–555.

3. Вырко, Н.П. Где-то густо, а у нас пусто / Н.П. Вырко // Лесная промышленность Беларуси. – 2004. – № 1. – С. 26–28.

4. Шарафанович, О. Эх, дороги / О. Шарафанович // Лесное и охотничье хозяйство. – 2006. – № 7. – С. 8–10.

5. Роде, А.А. Основы учения о почвенной влаге / А.А. Роде. – Л.: Гидрометиздат, 1965. – 432 с.

6. Сиденко, В.М. Расчет и регулирование водно-теплового режима дорожных одежд и земляного полотна / В.М. Сиденко. – М.: Авто-трансиздат, 1962. – 116 с.

7. Пузаков, Н.А. Водно-тепловой режим земляного полотна автомобильных дорог / Н.А. Пузаков. – М.: Автотрансиздат, 1960. – 168 с.

8. Тулаев, А.Я. Регулирование водно-теплового режима земляного полотна в городских условиях: учебное пособие / А.Я. Тулаев, Н.А. Пузаков, Е.И. Богатырева, под общ. ред. А.Я. Тулаева. – М.: Высшая школа, 1972. – 121 с.

9. Водно-тепловой режим земляного полотна и дорожных одежд / под ред. И.А. Золотаря, Н.А. Пузакова, В.М. Сиденко. – М.: Транспорт, 1971. – 416 с.