

## ОСОБЕННОСТИ ПАРАМЕТРОВ ТЕПЛОВЛАЖНОСТНОГО РЕЖИМА МНОГОСЛОЙНЫХ НАРУЖНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ОТАПЛИВАЕМЫХ ЗДАНИЙ

*Докт. техн. наук, проф., заслуженный работник образования Республики Беларусь,  
чл.-кор. НАН Беларуси ХРУСТАЛЕВ Б. М., асп. КУДРЕВИЧ О. О.*

*Белорусский национальный технический университет*

Наличие влаги в материалах ограждающих конструкций может быть обусловлено рядом причин: воздействием на ограждения атмосферной влаги, влаги производственных процессов, грунтовой влаги, в результате конденсации водяных паров на поверхности или внутри ограждения и сорбции влаги материалами из воздуха. При правильном конструировании ограждений и их качественном изготовлении влияние на влажность материалов атмосферной, производственной, грунтовой влаги и конденсации водяных паров можно исключить практически полностью, и основным фактором, определяющим влажность строительных материалов в процессе эксплуатации, будет являться процесс сорбции.

Сорбционная влага попадает в материалы ограждающей конструкции вследствие гигроскопичности – свойства материалов поглощать (сорбировать) влагу из воздуха. Почти все строительные материалы в различной степени обладают гигроскопичностью.

Известно, что сорбционная влажность материалов зависит от относительной влажности и температуры окружающего воздуха. Сорбционная влажность материалов повышается при увеличении относительной влажности воздуха, а также при понижении его температуры. При этом для неорганических материалов влияние температуры на сорбционную влажность незначительно, и им можно пренебречь [1].

В соответствии с [2] условия эксплуатации ограждающих конструкций в зависимости от влажностного режима помещений подразделяются на условия «А» и «Б». При сухом режиме

помещений условия эксплуатации ограждений относятся к «А», а при нормальном, влажном и мокром режимах – к «Б» (в зависимости от температуры и относительной влажности внутреннего воздуха).

Согласно [2], влажность материалов (расчетное массовое отношение влаги в материале) и соответственно расчетные коэффициенты теплопроводности и теплоусвоения для условий эксплуатации «А» и «Б» принимаются только в зависимости от влажностного режима помещений, что справедливо лишь для однородных (однослойных) конструкций. В многослойных ограждающих конструкциях влажностный режим материалов зависит также от характеристик материалов, толщины и расположения слоев.

То есть может оказаться, что в многослойной ограждающей конструкции, находящейся в условиях эксплуатации «А» по [2], отдельные слои материалов имеют влажностный режим, соответствующий влажностному режиму однослойной конструкции в условиях эксплуатации «Б» и, наоборот, отдельные слои многослойной ограждающей конструкции, находящейся в условиях эксплуатации «Б» по [2], будут иметь влажностный режим, соответствующий влажностному режиму однослойной конструкции в условиях эксплуатации «А». В подобных случаях при теплотехническом расчете ограждения не учитываются реальные характеристики материала, что приведет либо к понижению теплозащитных качеств, либо повышению стоимости здания.

Следует также отметить, что характеристики большинства материалов, приведенных в [2], заимствованы из ранее действовавшего в Республике Беларусь СНиП П-3-79\*\* «Строительная теплотехника», распространявшегося на территорию бывшего СССР, т. е. влажность материалов в условиях эксплуатации приведена для более суровых климатических условий, чем в Беларуси, что также искажает реальные характеристики материала.

Таким образом, существует необходимость разработки методики определения эксплуатационной влажности строительных материалов для климатических условий Республики Беларусь и с учетом конструктивного решения ограждения.

В процессе ранее выполненных исследований [3] установлено, что для однослойных конструкций, состоящих из разных материалов, при одних и тех же параметрах внутреннего воздуха помещений и одних и тех же характеристиках наружного воздуха относительная влажность воздуха в материале конструкций практически одинакова. Применительно к климатическим условиям Беларуси для режима эксплуатации «А» влажность материала необходимо определять по изотерме его сорбции при относительной влажности воздуха в материале 75 % (среднее значение относительной влажности для наиболее неблагоприятного влажностного режима материала ограждения сухих помещений), а для условий эксплуатации «Б» – 90 % (среднее значение относительной влажности в материале для наиболее неблагоприятного влажностного режима материала ограждения помещений с влажным и мокрым режимом).

В многослойных ограждающих конструкциях влажностный режим материалов отдельных слоев в зависимости от их расположения и теплотехнических характеристик может не соответствовать влажностному режиму помещений. Покажем это на примерах тепловлажностного расчета наружных кирпичных стен колодцевой кладки производственного и животноводческого зданий. Конструктивное решение стен показано на рис. 1 и 2. Расчетные характеристики материалов приведены в табл. 1, результаты расчета – в табл. 2. Распределение температур, максимальных и расчетных парциальных дав-

лений водяного пара и относительной влажности воздуха по сечению ограждений показано на рис. 3, 4. Расчет выполнен в соответствии с [1, 2].

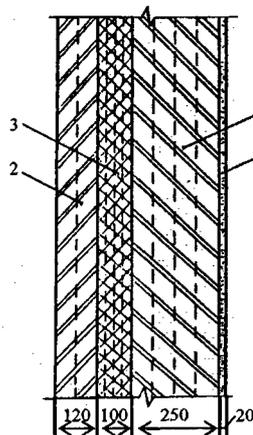


Рис. 1. Наружная стена производственного здания: 1 – кладка из кирпича керамического пустотного; 2 – то же силикатного сплошного; 3 – пенополистирол; 4 – известково-песчаный раствор

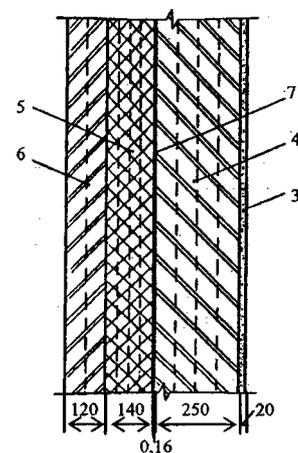


Рис. 2. Наружная стена животноводческого здания: 3 – цементно-песчаный раствор; 4 – кладка из кирпича керамического сплошного; 5 – минеральная вата; 6 – кладка из кирпича силикатного сплошного; 7 – полиэтиленовая пленка

Таблица 1

Расчетные характеристики материалов ограждающих конструкций

Материал	Плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Расчетные коэффициенты при условиях эксплуатации		
		Теплопроводность, $\lambda$ , Вт/(м·°С)		Паропроницаемость, $\mu$ , мг/(м·ч·Па)
		А	Б	
Цементно-песчаный раствор	1800	0,76	0,93	0,09
Кладка из кирпича керамического сплошного	1800	0,70	0,81	0,11
Минераловатные плиты	75	0,056	0,065	0,58
Кладка из кирпича силикатного сплошного	2000	1,36	1,63	0,088
Пленка полиэтиленовая	–	–	–	$R_n = 7,3$ м <sup>2</sup> ·ч·Па/мг
Кладка из кирпича керамического пустотного	1400	0,55	0,69	0,16
Пенополистирол	15	0,045	0,054	0,05
Известково-песчаный раствор	1600	0,70	0,81	0,12

Таблица 2

Результаты расчета тепловлажностного режима многослойных ограждающих конструкций

№ п/п	Тип здания, расчетные параметры внутреннего и наружного воздуха, режим помещений, условия эксплуатации ограждений	Слой ограждающей конструкции	Температура, °С					Парциальное давление водяного пара, Па,					Относительная влажность воздуха, %, в материале	
			Максимальное парциальное давление водяного пара, Па, в расчетном сечении					Относительная влажность воздуха, %, в расчетном сечении						
			1	2	3	4	5	1	2	3	4	5		
1	Производственное здание: $t_{в} = 12\text{ °С}$ ; $\phi_{в} = 60\%$ ; $e_{в} = 842\text{ Па}$ ; $t_{н} = -1,9\text{ °С}$ ; $\phi_{н} = 84\%$ ; $e_{н} = 439\text{ Па}$ . Режим помещения – сухой. Условия эксплуатации – «А»	Наружная кладка (из кирпича силикатного сплошного)	$\frac{-1,7}{531}$	$\frac{-1,5}{540}$	$\frac{-1,3}{549}$	–	–	$\frac{439}{82,7}$	$\frac{493}{91,3}$	$\frac{547}{99,6}$	–	–	91,2	
		Теплоизоляция (пенополистирол)	$\frac{-1,3}{549}$	$\frac{1,4}{676}$	$\frac{4,0}{813}$	$\frac{6,6}{974}$	$\frac{9,2}{1164}$	$\frac{547}{99,6}$	$\frac{586}{86,7}$	$\frac{626}{77,0}$	$\frac{666}{68,4}$	$\frac{705}{60,6}$		78,5
		Внутренняя кладка (из кирпича керамического пустотного)	$\frac{9,2}{1164}$	$\frac{9,7}{1204}$	$\frac{10,2}{1245}$	$\frac{10,8}{1295}$	$\frac{11,3}{1339}$	$\frac{705}{60,6}$	$\frac{736}{61,1}$	$\frac{767}{61,6}$	$\frac{798}{61,6}$	$\frac{829}{61,9}$		
2	То же. Условия эксплуатации внутреннего слоя кладки «А», теплоизоляции и наружного – «Б»	Наружная кладка (из кирпича силикатного сплошного)	$\frac{-1,7}{531}$	$\frac{-1,5}{540}$	$\frac{-1,3}{549}$	–	–	$\frac{439}{82,7}$	$\frac{493}{91,3}$	$\frac{547}{99,6}$	–	–	91,2	
		Теплоизоляция (пенополистирол)	$\frac{-1,3}{549}$	$\frac{1,2}{667}$	$\frac{3,8}{802}$	$\frac{6,3}{955}$	$\frac{8,8}{1133}$	$\frac{547}{99,6}$	$\frac{586}{87,9}$	$\frac{626}{78,0}$	$\frac{666}{69,7}$	$\frac{705}{62,2}$		79,5
		Внутренняя кладка (из кирпича керамического пустотного)	$\frac{8,8}{1133}$	$\frac{9,4}{1180}$	$\frac{10,0}{1228}$	$\frac{10,6}{1278}$	$\frac{11,2}{1330}$	$\frac{705}{62,2}$	$\frac{736}{62,4}$	$\frac{767}{62,5}$	$\frac{798}{62,4}$	$\frac{829}{62,3}$		
3	Животноводческое здание: $t_{в} = 16\text{ °С}$ ; $\phi_{в} = 75\%$ ; $e_{в} = 1363\text{ Па}$ ; $t_{н} = 0,2\text{ °С}$ ; $\phi_{н} = 84\%$ ; $e_{н} = 521\text{ Па}$ . Режим помещения – влажный. Условия эксплуатации – «Б»	Наружная кладка (из кирпича силикатного сплошного)	$\frac{0,4}{629}$	$\frac{0,6}{639}$	$\frac{0,9}{652}$	–	–	$\frac{521}{82,8}$	$\frac{572}{89,5}$	$\frac{622}{95,4}$	–	–	89,2	
		Теплоизоляция (минеральная вата)	$\frac{0,9}{652}$	$\frac{4,0}{813}$	$\frac{7,2}{1015}$	$\frac{10,3}{1253}$	$\frac{13,4}{1538}$	$\frac{662}{95,4}$	$\frac{626}{77,0}$	$\frac{631}{62,2}$	$\frac{635}{50,7}$	$\frac{640}{41,6}$		65,4
		Внутренняя кладка (из кирпича керамического сплошного)	$\frac{13,4}{1538}$	$\frac{13,8}{1579}$	$\frac{14,3}{1631}$	$\frac{14,8}{1684}$	$\frac{15,2}{1727}$	$\frac{1179}{76,6}$	$\frac{1221}{77,3}$	$\frac{1263}{77,4}$	$\frac{1305}{77,5}$	$\frac{1347}{78,0}$		
4	То же. Условия эксплуатации внутреннего и наружного слоев кладки – «Б», теплоизоляции – «А»	Наружная кладка (из кирпича силикатного сплошного)	$\frac{0,4}{629}$	$\frac{0,6}{639}$	$\frac{0,8}{648}$	–	–	$\frac{521}{82,8}$	$\frac{572}{89,5}$	$\frac{622}{96,0}$	–	–	89,4	
		Теплоизоляция (минеральная вата)	$\frac{0,8}{648}$	$\frac{4,0}{813}$	$\frac{7,2}{1015}$	$\frac{10,4}{1262}$	$\frac{13,7}{1568}$	$\frac{622}{96,0}$	$\frac{626}{77,0}$	$\frac{631}{62,2}$	$\frac{635}{50,3}$	$\frac{640}{40,8}$		65,3
		Внутренняя кладка (из кирпича силикатного сплошного)	$\frac{13,7}{1568}$	$\frac{14,1}{1610}$	$\frac{14,5}{1652}$	$\frac{14,9}{1694}$	$\frac{15,3}{1739}$	$\frac{1179}{75,2}$	$\frac{1221}{75,8}$	$\frac{1263}{75,6}$	$\frac{1305}{77,0}$	$\frac{1347}{77,5}$		

Как видно из расчетов, теплоизоляционный слой и наружная кладка стены производственного здания с сухим режимом помещения находятся при относительной влажности воздуха более 75 %, что соответствует условиям экс-

плуатации «Б», а не условиям эксплуатации «А», как это указано в [2] для сухого режима помещений. При этом реальное сопротивление теплопередаче стены ниже расчетного значения на 15 % ( $2,57\text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}$  вместо  $2,95\text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}$ ).

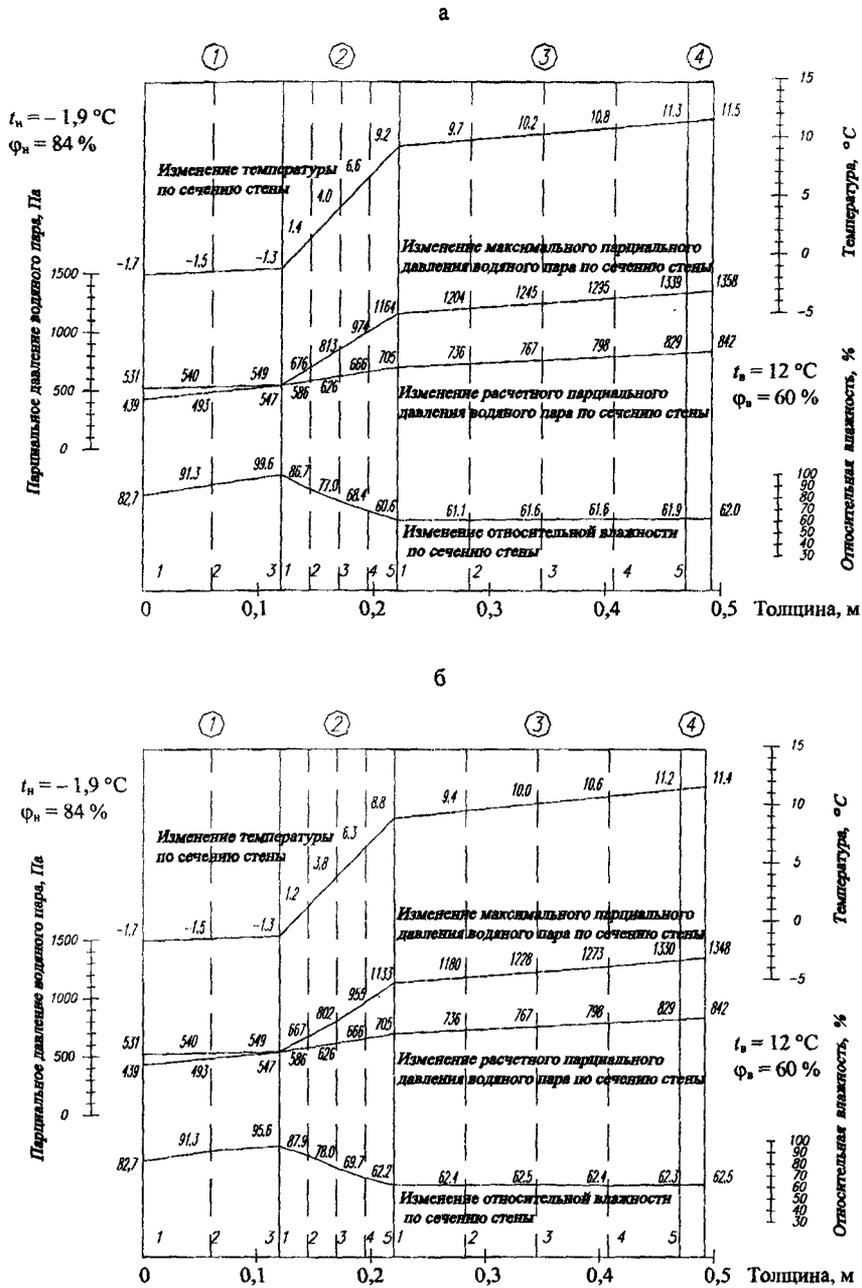


Рис. 3. Тепловлажностный режим наружной стены производственного здания: а – вариант 1; б – вариант 2; 1 – кладка из кирпича керамического пустотного; 2 – то же силикатного сплошного; 3 – пенополистирол; 4 – известково-песчаный раствор

И наоборот, теплоизоляционный слой стены животноводческого здания с влажным режимом помещения находится при относительной влажности воздуха значительно меньшей 75 % ( $\approx 65\%$ ), что соответствует условиям эксплуатации «А», а не условиям эксплуатации «Б» для наружных ограждений с влажным режимом помещений. При этом реальное сопротивление теплопередаче стены на 12,5 % выше расчетного

значения ( $3,06 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$  вместо  $2,72 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ ).

Несоответствие реального сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций расчетному приводит к неправильному подбору мощности нагревательных приборов системы отопления здания, в результате чего или ухудшаются параметры микроклимата помещений, или завышаются расходы на систему отопления.

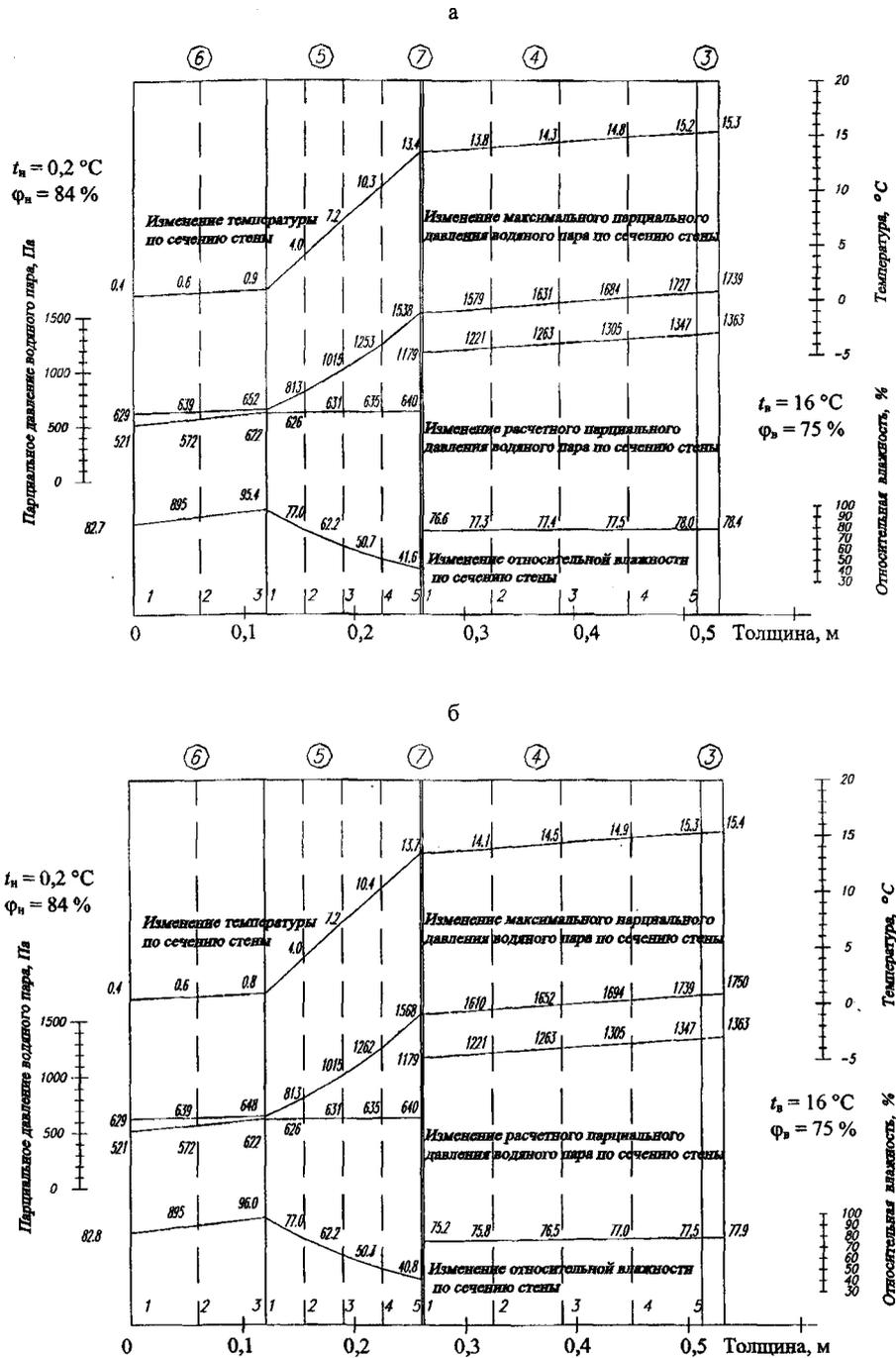


Рис. 4. Тепловлажностный режим наружной стены животноводческого здания: а – вариант 1; б – вариант 2; 3 – цементно-песчаный раствор; 4 – кладка из кирпича керамического сплошного; 5 – минеральная вата; 6 – кладка из кирпича силикатного сплошного; 7 – полиэтиленовая пленка

В табл. 2 и на рис. 3, 4 приведены два варианта расчетов. Первый выполнен исходя из условия учета только режима помещений, а второй – с учетом как режима помещений, так и реальной относительной влажности воздуха материалов слоев ограждающей конструкции.

Видно, что второй вариант, в котором коэффициенты теплопроводности материалов слоев соответствуют их относительной влажности, практически не изменил тепловлажностных характеристик слоев конструкции. Это свидетельствует о том, что имеется возможность корректировать толщину слоев в ту или иную сторону.

**ВЫВОД**

На основании выполненных исследований тепловлажностного режима многослойной ограждающей конструкции разработана методика теплотехнического расчета.

Для многослойной ограждающей конструкции после определения сопротивления теплопередаче необходимо выполнить тепловлажностный расчет ограждения при расчетных параметрах внутреннего воздуха и средних параметрах наружного воздуха за отопительный период, определить средние значения относительной влажности воздуха в материале для каждого слоя ограждения и произвести уточненный расчет ее сопротивления теплопередаче, приняв условия эксплуатации материала

слоя «А» при средней относительной влажности воздуха в слое  $\leq 75\%$  и условия эксплуатации материала «Б» – при средней относительной влажности слоя  $> 75\%$ .

Разработанная методика расчета тепловлажностного режима многослойных наружных ограждений предназначена для проектных организаций и включена в нормативный документ [3].

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Фокин К. Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. – М.: Стройиздат, 1973. – С. 287.
2. СНБ 2.04.01-97 «Строительная теплотехника». – Мн., 1998.
3. Изменения № 2 СНБ 2.04.01-97 «Строительная теплотехника». – Мн., 2003.

УДК 625.096

**АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНО-КЛИМАТИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ  
ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ  
И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТРАНСПОРТНЫХ УСЛУГ**

*Канд. техн. наук, доц. СЕЛЮКОВ Д. Д., докт. техн. наук, проф. ЛЕОНОВИЧ И. И.*

*НИИ проблем криминологии, криминалистики и судебной экспертизы  
Министерства юстиции Республики Беларусь,  
Белорусский национальный технический университет*

В нормативных правовых актах Республики Беларусь отсутствует районирование территории страны по влиянию неблагоприятных погодноклиматических условий на конечный результат функционирования социально-детерминированной биомеханической системы «водитель – транспортное средство (ТС) – условия дорожного движения».

Дорожно-транспортное происшествие (ДТП) представляет собой негативный результат работы такой системы и возникает при наличии дефекта в одном из ее элементов или связей. Влияние метеорологических факторов на результат функционирования системы показано на схеме (рис. 1).

Существует районирование территории страны по неблагоприятным погодноклиматическим факторам при конструировании транспортных средств и дорожном строительстве (проектировании, строительстве и эксплуата-

ции автомобильных дорог). При конструировании ТС учитывают предстоящие погодноклиматические условия их эксплуатации. Согласно критерию районирования территория Беларуси отнесена к зоне умеренного климата.

При эксплуатации типичные условия работы базовых автомобилей в зависимости от их влияния на периодичность технического обслуживания, ремонта и срока службы подразделяются на три категории (табл. 1).

*Таблица 1*

Категория условий работы ТС	Характеристика дорожных условий
I	Автомобильные дороги I...III технических категорий
II	Автомобильные дороги IV, V технических категорий
III	Временные подъездные пути, грунтовые наезженные непрофилированные пути