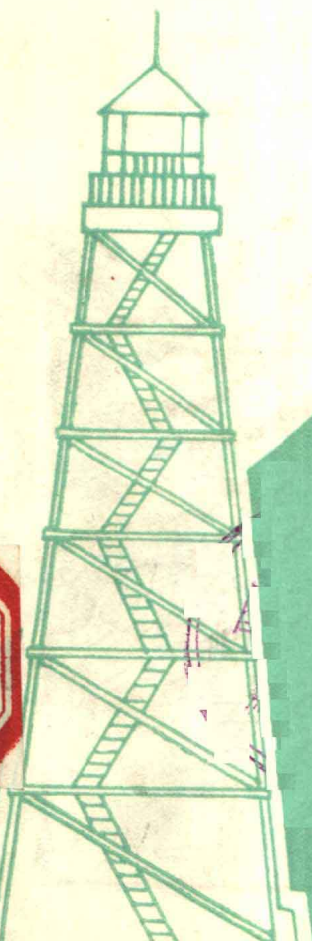


森林防火设施

〔苏〕N.B. 奥弗斯扬尼柯夫著

梁 君 瑞 译



57172
54

中国林业出版社

森 林 防 火 设 施

〔苏〕И·В·奥弗斯扬尼柯夫著

梁 君 瑞 译

中 国 林 业 出 版 社

《森林防火设施》原书是苏联森林工业出版社1978年出版的。

书中研究了设计单位和林业局积多年经验而提出的森林防火设施的设计问题。阐述预防林火发生、及时发现和扑灭林火的最新科学成就和经验。

本书读者对象是林业、森林工业、地面和航空护林、设计和勘测单位的工程技术人员，也可供林业院校的学生阅读。

И. В. Овсянников
Противопожарное устройство лесов
Москва
Издательство
«Лесная промышленность»
1978

森 林 防 火 设 施
〔苏〕И·В·奥弗斯扬尼柯夫著
梁 君 瑞 译

中国林业出版社出版（北京朝内大街130号）
新华书店北京发行所发行 农业出版社印刷厂印刷

787×1092毫米32开本 3.875印张 83千字
1981年3月第1版 1981年3月北京第1次印刷
印数 1—2,500册

统一书号 16046·1024 定价 0.42 元

前 言

森林防火和防治森林病虫害是苏联重要的国家任务之一。在第十个五年计划期间,预计用于自然保护方面的经费约为110亿卢布。

森林是我们周围环境的一个组成部分。保护绿色金子免遭火灾破坏甚至毁灭是林业工作者大军和我国全体公民首要和经常的责任。

由于防火机构的完善、林业技术装备的改进和采用科学技术的最新成果,我国森林的火灾率在逐年下降,特别是减少了森林火灾的平均面积。然而,由于大量开发新的森林,建设许多新的边远林区,例如修筑贝加尔—阿穆尔铁路干线,开发油气田,林区各种地质、大地测量和其它勘测作业的增多,居民进出森林的次数的增加,近来发生森林火灾的危险性增大了。因此,防止森林火灾仍然是林业部门最重要的问题之一,它要求进一步发展和完善护林防火机构、增加防火措施和提高防火效率。

本书旨在研究森林防火设施的规划和综合性防火作业问题。它同时还是制定和检查各地完成森林防火设施总规划的多年劳动总结。森林防火设施总规划由全苏国家林业勘测设计院森林更新和森林保护处制定。

目 录

前言

森林的火灾率, 决定火灾率的自然因素和其它因素	1
根据发生火灾的危险程度划分森林地段	1
森林火灾蔓延速度的计算	6
森林火灾周长增长速度的计算	11
火源对发生林火的影响	13
森林燃烧与气象因子(燃烧条件)的关系	17
森林的实际火灾率	19
地面护林地区的森林防火设施	21
防火措施的种类	21
预防性防火措施	25
发现和扑灭林火的措施	53
运输和通信	81
航空护林地区的防火措施	91
森林防火设施的效益	107
附录	111
参考文献	115

森林的火灾率，决定火灾率的 自然因素和其它因素

对“森林防火设施”这一术语应理解为在林区采取的综合措施，目的是为了：（1）预防火灾的发生；（2）阻止火灾的蔓延；（3）在最短时间内发现火源；（4）确保迅速和可靠地扑灭森林火灾。

上述全部防火措施是互相联系的，因而应综合地加以完成。防火措施的规模取决于需要防火的森林的自然火险程度（等级）、火源的有无、以及防火季节期内的气候特征。这时森林自然火险占优势的等级越高、林地上的火源越多、防火季节期内的火险日越多，因而也就必须在较短期限内充分应用全套综合性防火措施。

因此，在按规定的综合措施来完成森林防火设施以前，应做的工作有：仔细研究防火对象的热化学特性，确定防护区域内占优势的自然火险等级和不同自然火险等级森林地段的分布特点，以便确定林地上最危险的火险地段，查明阻止火源可能蔓延的天然障碍和火源密度，最后要详细研究防火季节的气象过程。

根据发生火灾的危险程度划分森林地段

森林火灾的发生和蔓延要具备三个必须的条件：具有可

燃物质，火源和促使燃烧蔓延的外部原因。

对森林里的可燃物质应理解为，在该森林地段（林分）的整体或个别地点当时具有可起火或燃烧的有机物质。例如，在杂草松林内，起火的有机物质在早春和秋季较多，晚春和夏季较少，这时土壤上的植被繁茂、湿度大，而在干枯期又开始了腐败过程。因此，可燃燃烧的有机物质的总量是随时间而变化的，与林分各个部分的状况有关。在其它林型中，例如偃松植丛，可燃有机物质的数量在防火季节的各个时期几乎不变，甚至冬季也是如此：在没有雪层覆盖时，这里仍可能发生和蔓延火灾。溪边云杉林（荨麻科和其它）中的有机物数量相当大，但是只有在持续干旱期间，该林子的湿度可能降到使这种一般说来特别潮湿的林分发生和蔓延火灾。在针叶林中，由于富有挥发物质，火灾蔓延迅速，在多数情况下整个林分——从土壤上的植被、幼树和下木直到主林冠的树梢都可能燃烧，火灾表现的形式是树冠火。在阔叶林中，由于有大量的树叶和树叶所含的水分，林火极少形成树冠火，这种林中主要是地面火。

因此，能起火的可燃有机物质的总量和其空间分布特点决定着林分内发生火灾的可能性和蔓延的特点。

在多种多样的森林植物组合情况下，可根据某些假设将该区域内所见到的林分合并为几类，在这几类林分中森林火灾的发生条件和蔓延的大致特点都相同。例如，在最干燥的林型——地衣松林或帚石南灌丛中，森林火灾可能在雨后经过较短的间隔时间而发生，比真藓松林为早。根据H·П·库尔巴茨基^[11]所提出的术语，“火灾成熟期”在地衣林中比真藓林中来得早。因此，为了预防火灾的发生和阻止它的蔓延，与真藓松林或泥炭藓林相比，在地衣松林中应该在较短期限

内完成防火措施。

为了建立森林防火设施，主要是正确规划和设计防火措施，必须按照一定的类型—等级来制定森林分布图。B·Г·聂斯切洛夫^[16]据根火险等级编制了第一个森林分布等级表。在他的等级表中，所有森林都按立地条件的湿度划分为三级，而且前两级还按居民点的远近再划分几个亚级。这个等级表大约使用了十五年，它无论对森林经理人员在制定防火措施，或是对实际工作人员在护林防火、发现和及时扑灭火源的日常工作中都给予了一定的帮助。然而，该等级表没有考虑林分的树种组成。因此，1963年开始采用苏联列宁农业科学院院士И·С·麦列霍夫提出的按自然火险等级划分林型和森林地段的较完善的等级表。

按自然火险等级划分林型和森林地段的等级表

自然火险等级	自然火险程度	最可能的火灾形式，火灾可能发生和蔓延的条件和持续期
I	大	在整个防火季节内可能发生地面火，在有立木的林地可能发生树冠火
II	中上	在整个防火季节内可能发生地面火，在火险季节的个别时期（火灾高值期）内可能发生树冠火
III	中	在整个防火季节，特别在春季和夏秋季高值期可能发生地面火
IV	中下	在防火季节的个别时期内可能发生地面火
V	小	仅在长期干旱时可能发生林火

И·С·麦列霍夫的等级表是建立在土壤类型学原理之上的，它考虑到了林分的树种组成、土壤湿度、林龄和林况。在该等级表中，所有的林型和林地都按林火可能发生的程度和蔓延特点分为五个等级。属于自然火险最大级（第I级）

的林型和森林地段在整个防火季节可能发生和蔓延地面林火，而在有立木的地方可能发生和蔓延树冠火。属于这一级自然火险的森林是：地衣松林和帚石南灌丛，某些类型特别是干谷地区的采伐迹地，枯死的和受火灾和风倒破坏的林分。

在沼泽地区，以阔叶树种占优势的潮湿和湿润的林型，如赤杨林、松林中，林火发生和蔓延的可能性极小。这些林分属于自然火险的第Ⅴ级，这时只有经过长期干旱以后，火灾才可能发生和蔓延。

И·С·麦列霍夫等级表的另一特点是，当林分的生物特性不变时，每个森林植物区可单独组成林型和森林地段，这时当某种林型的生物特性相同，而热化学特性各异时，在不同的森林植物区可将它列入不同的自然火险等级。

在苏联的国家森林资源经理规程（1965）中，附有一张按林地发生火灾的危险程度划分森林地段的等级表。在这个等级表中采用了И·С·麦列霍夫等级表中的森林热化学原理，在每个自然火险的等级中都列出了林型和森林地段的名单。这些林型和森林地段基本上是苏联欧洲部分西北地区的森林。因而，当森林植物条件不同时，某些林型的热化学特性也不相同，应该在当地按自然火险等级划分林型。应根据当地的类型学、科研机关、森林经理和护林防火的实践资料来划分大型森林植物区。

近年来，许多作者制定了一些划分森林火险等级的综合等级表。在这些等级表中，除了生物和热化学指标以外，还包括火源的特点和密度、道路网密度指标、天气干旱程度指标、过去8—10年间林地的相对实际火灾率和火灾频率指标等等。但是，由于列入等级表中的指标数量宠杂，最主要的是指标

的重要性不等，因此它们未获得实际应用。

C·B·雷日柯夫^[25]提出的火灾类型等级表很值得重视，表中指出了在什么样的林型中和依据地被物状况的特点或气象因子的不同，火灾发生的或然率或可能蔓延的特点将怎样发生变化。但是该等级表还需要做大量的补充加工，因为该等级表中不仅需要增加林分类型学特性，还应增加可能产生火源或蔓延火灾的天气火险综合指标的最小值等等。

在制定白俄罗斯、乌克兰和俄罗斯联邦大部分森林(75%)的森林防火设施总规划时，使用И·С·麦列霍夫林型和林地划分等级表的传统经验，证实了该表的效能，而用数理统计法来整理林火纪录，便可用某些指标对等级表加以补充，这些指标为设计提供了基本要素。例如，在整理P·С·勃列日娜提供的斯维尔德洛夫省各级自然火险林分中火灾频率的资料时，曾根据自然火险5个等级中每级林分的火灾次数(火灾数/百万公顷)算出了相对的火灾率。整理资料时将一些林业局(林业集约经营地区和发达的工业式木材采运地区的代表局)分成两类，在这些林业局中居民进出森林的次数和人在林中的活动特点是不相同的。但是，无论在哪种情况下，计算时都获得相同的指标。火灾总次数的52%发生在Ⅰ级自然火险林分中，Ⅱ级—26%，Ⅲ级—13%，Ⅳ级—6%，Ⅴ级—3%。换言之，在Ⅰ级自然火险林分中，火灾发生的次数要比Ⅱ级林分中高1倍，Ⅱ级林分又比Ⅲ级高1倍等等，即各级自然火险林分的火灾次数可用 $1, \frac{1}{2}, \frac{1}{4}, \frac{1}{8}$ 和 $\frac{1}{16}$ 的几何级数加以表示。应用这些规律和得知各级自然火险森林面积的百分率，以及护林区域内每年发生的火灾总次数以后，就不难计算出每级自然火险林分火灾次数的百分数。

例如，森林经理对象的森林按自然火险等级可划分为：Ⅰ级自然火险森林在经理对象中占20%，Ⅱ级—22%，Ⅲ级—36%，Ⅳ级—16%，Ⅴ级—6%。考虑到上述列举的每级自然火险林分火灾次数的百分率，就不难算出该例中Ⅰ级林分发生林火的次数占森林经理对象森林火灾总次数的47.4%，Ⅱ级—26.2%，Ⅲ级—21.3%，Ⅳ级—4.4%，Ⅴ级—仅0.8%。得知在经理对象区域内观察到的火灾每年平均最小、平均数和最大数以后，就容易算出各个不同热化学特性的林分占火灾总数的百分比。

毫无疑问，在实际工作中可能出现与上述规律不符的误差，尤其是只进行了短期（1—2年）观察，但是为了设计长期（10—15年）的防火措施，在森林着火次数预计增加或减少情况下，上述规律有助于用来计算一定自然火险等级林分的预计起火次数。这一点不仅对确定预防措施规模和完成期限很重要，而且对确定所计划的防火装备的特性和灭火组的数量及其空间配置都很重要。

森林火灾蔓延速度的计算*

整理林地地面火蔓延速度的数据后，得出的结论是林火面积接近似抛物线的曲线增长，即：如果在 $x = ay^n$ 的数理统计公式中，将 x 换成面积 S ， a 换成系数 k ， y 换成时间 t （小时）， e 换成 n ，这时

$$S = kt^n,$$

式中： S —林火面积，公顷； k —该级林分自然火险的系数； t —火灾开始发生的时间，小时； n —该级自然火险林分的火灾程度和火险季节期（春、夏、秋）。

* 此处和以后论及的都是地面林火，由于缺少有关树冠火和地下火速度的充分可靠的统计数据，因而不能得出结论。

计算出每级自然火险以及火险季节（春、夏、秋）各个时期的系数和程度值，该值要乘上火灾发生后的持续时间。整理资料的结果表明，在火险季节的各个时期，Ⅰ级自然火险林分的系数和程度都相同，Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ级林分在夏季和秋季相等，春季各异。

作者对相同等级的自然火险、相同的火险季节期，就我国的不同地区对系数 k 和程度 n 做了比较，其结果表明它们都很接近，从而有可能得出一些统一的公式，可用来计算防火季节各个时期我国泰加林带各级自然火险林分内所发生的林火面积：

林分的自然火险等级	火 险 季 节 的 时 期	公 式
Ⅰ	整个季节	$S = 4.21t^{1.97}$
Ⅱ	春	$S = 3.04t^{1.55}$
Ⅱ	夏, 秋	$S = 1.99t^{1.39}$
Ⅲ	春	
Ⅲ	夏, 秋	$S = 1.00t^{1.25}$
Ⅳ	春	
Ⅳ	夏, 秋	$S = 0.1t^{1.08}$
Ⅴ	春	
Ⅴ	春	$S = 0.26t^{0.19}$

按上述公式计算出各级自然火险林分、火险季节不同时期（风速 3—5 米/秒，Ⅰ级自然火险林分的风速为 8.10 和 12 米/秒）的林火面积。这些数据列于表 1。

在无风条件下，纯林中的火灾均匀地向四周蔓延，火灾面积的形状近似圆形。当有风时，由于风力对燃烧边缘各个地段的不均匀作用，火灾面积的形状受风力影响呈现为椭圆形。火焰在顺风方向的蔓延速度最大（顺风火头），逆风方向的速度最小（逆风火头）。当火灾在纯林中发生时，在它的始

发阶段，最常见到的都是椭圆形。

为了计算的简便起见，可以假定椭圆形面积为两个半椭圆面积的和，这时火烧面积可按下式计算：

$$S = \frac{\pi \left(\frac{r_1 + r}{2} \right)^2}{2} + \frac{\pi \left(\frac{r_2 + r_3}{2} \right)^2}{2},$$

式中：S—火灾面积； r_1 —顺风火头蔓延速度矢量； r_2 —侧方； r_3 —逆风火头。

将火灾蔓延速度值（米/分钟）与火灾作用时间（分钟）的乘积代入公式取代 r_1 ， r_2 和 r_3 ，即得：

$$S = \frac{\pi \left(\frac{v_1 t + v_2 t}{2} \right)^2}{2} + \frac{\pi \left(\frac{v_2 t + v_3 t}{2} \right)^2}{2},$$

式中：S—火灾面积，米²； v_1 —顺风火头速度，米/分钟； v_2 —侧方； v_3 —逆风火头； t —火灾发生后的时间，分钟。

Г·А·阿莫索夫^[1]计算了顺风火头、侧方和逆风火头蔓延速度之间的联系。这些关系是按下列公式确定的：

$$v_{\text{侧方}} = 0.35 v_{\text{顺风火头}} + 0.17$$

$$v_{\text{逆风火头}} = 0.10 v_{\text{顺风火头}} + 0.20$$

在所列公式中，将Г·А·阿莫索夫公式的 v_2 和 v_3 值替换为 v_1 （顺风火头的蔓延速度），我们便得出下列公式：

$$S = \frac{\pi \left[\frac{v t_1 + (0.35 v_1 + 0.17) t}{2} \right]^2}{2} + \frac{\pi \left[\frac{(0.35 + 0.17) t + (0.1 v_1 + 0.2) t}{2} \right]^2}{2},$$

或

$$S = \frac{\pi \left[\frac{(1.35v_1 + 0.17)t}{2} \right]^2}{2} + \frac{\pi \left[\frac{(0.45v_1 + 0.17)t}{2} \right]^2}{2}$$

如果已知火灾面积和火灾发生后的持续时间，就不难求
出顺风火头蔓延的速度值，并由该值求出侧方和逆风火头的
速度。

对林火次数和林火面积蔓延速度的纪录资料进行整理
后，即可得出各级自然火险林分在春、夏和秋季顺风火头蔓
延的速度值。

在各级自然火险的松林中，顺风火头的蔓延速度平均为：

春季	夏季和秋季
I 4.0—2.0	4.0—2.0
II 2.5	2.0
III 2.0	1.5
IV 1.0	0.5
V 0.5	0.25

由表 1 可见，顺风火头的蔓延速度春季比夏季和秋季快，
高等级自然火险林分内的速度比低等级自然火险林分内的
快。该速度的下降数大约相当于 $1, \frac{1}{2}, \frac{1}{4}, \frac{1}{8} \dots$ 形式的
几何级数。

所列举的顺风火头蔓延的上述速度，测定时的风速接近
或不超过 3—5 米/秒。当风速超过 5 米/秒时，顺风火头的蔓
延速度将增大。

一些作者指出，顺风火头的蔓延超过火车快车的速度（即
50—60 公里/时）。H·П·库尔巴茨基〔8〕和 M·Г·契尔沃内〔33〕
指出，在 I 级自然火险林分内，该速度为 100 米/分以上（6 公
里/时以上——作者）。然而，在 20 万起林火资料中一次也未

表 1 顺风火头蔓延的各种平均最大速度和林火的面积及周长
(据И. Б. 奥弗斯扬尼柯夫)

顺风火头蔓延的平 均最大速度, 米/分	林分的自然 火险等级	火灾季节的时期	风速, 米/秒	与火灾发生时间(小时)相关的火灾面积 (公顷一分子) 和周长(公里一分母)						
				1	2	3	4	5	7	10
10.0	I	整个季节	12	28.8 1.8	115.4 3.5	253.5 5.2	461.5 7.0	121.1 8.7	1413.3 12.2	2854.3 17.5
7.0	I	整个季节	10	14.8 1.2	59.3 2.5	133.4 3.7	237.2 5.0	370.7 6.2	726.5 8.7	1482.7 12.4
5.0	I	整个季节	8	7.5 0.9	30.1 1.7	67.8 2.6	120.4 3.5	168.2 4.3	368.9 6.0	152.8 8.6
3.0	I	整个季节	5以下	2.9 0.6	11.7 1.1	26.4 1.7	46.9 22.2	73.4 2.8	143.8 3.9	293.4 5.6
2.5	II	春	同上	1.8 0.5	7.0 1.0	16.0 1.4	28.0 1.9	42.0 2.4	86.0 3.3	175.0 4.8
2.0	II	夏, 秋	5以下	1.2 0.4	4.7 0.8	11.0 1.2	19.0 1.6	30.0 3.0	58.0 2.7	118.0 3.9
1.5	III	春	同上	0.7 0.3	2.9 0.6	6.6 0.9	12.0 1.2	18.0 1.5	36.0 2.1	73.0 3.1
1.0	IV	夏, 秋	同上	0.4 0.2	1.5 0.4	3.4 0.7	6.0 0.9	10.0 1.1	19.0 1.5	38.9 2.2
0.5	IV	春	同上	0.15 0.1	0.6 0.3	1.8 0.4	2.4 0.5	3.7 0.7	7.3 1.0	14.8 1.4
0.25	V	夏, 秋	同上	0.07 0.1	0.3 0.2	0.6 0.3	1.1 0.4	1.7 0.5	3.3 0.6	6.7 0.9

纪录过该速度曾超过 30—40 米/分,即 1.8—2.4 公里/时。据 H·П·库尔巴茨基 1972 年纪录的有关高尔基省一些大型林火的资料,顺风火头的蔓延速度曾达到 4 公里/时,或 66.6 米/分。在《扑灭森林火灾的技术和战术》一书中,H·П·库尔巴茨基〔8〕列出了顺风火头的蔓延速度表,并指出该数值可能达到 100 米/分,然而他未举出确实达到这一数值的具体例证。

在检查俄罗斯联邦、乌克兰和白俄罗斯一些省份的森林防火设施总规划的执行情况时,未曾发现过一次林火的速度超过了设计计算中所采用的速度。

森林火灾周长增长速度的计算

确定各级自然火险林分在防火季节的不同时期的单位时间内林火周长的增长速度,是计算灭火人员和工具的最重要的指标。林火周长增长的越快,越需要尽速封锁火道。换言之,要扑灭高速发展的林火,就需要有更多的人或必须采用高效率的机器和机械。

火灾的周长尺寸按等差级数增长,但在火灾边缘的不同区段,周长增长值各不相同。该值在顺风火头部分最大,逆风火头部分最小。

计算火灾边缘的顺风火头、侧方和逆风火头部分的尺寸,以及这些部分的周长增长速度的科研工作,至今尚未开展。也未测定顺风火头尺寸与侧方和逆风火头尺寸的联系。

掌握火灾周长在其不同部分(顺风火头、侧方和逆风火头)的增长速度,对计算派往火灾边缘各个区段去的灭火人员和工具、以及制定防火战术都具有重大意义。

用 π 的常数乘以向量半径值的平方（火灾在不同方向蔓延的速度乘以时间），即可求出火灾的周长值。因此，可以假定火灾周长侧方和逆风火头部分的值、以及火灾边缘这些部分的周长增长速度既取决于顺风火头部分内的周长增长速度，又取决于顺风火头部分在这些方面的速度。因而可采用阿莫索夫的公式来计算周长的增长值和周长各部分的尺寸。阿莫索夫所导出的公式（见8页）是用计算火灾在侧方和逆风火头部分的蔓延速度。这时火灾周长各部分占周长的总长度分别为：顺风火头—50%，侧方—40%（20+20），逆风火头—10%。在火灾的各个部分，火灾周长增长速度的比例就是这样。应该指出，在火灾各个部分火灾周长增长速度的这种比例仅适用于下述情况，即风速接近或等于3—5米/秒。当风速较小时，火灾的形状将近似圆形，因而顺风火头、侧方和逆风火头的周长增长速度之间的差别将减小。相反，当风速增大时，上述火灾边缘各部分速度之间的差异将增大，而火灾将呈现椭圆形。

由于观察到的绝大多数林火的风速为3—5米/秒，因此，可采用上述火灾周长各部分增长速度的比例关系来计算火灾周长值。然而应当指出，无风时火灾周长各部分的比例将发生变化：顺风火头—25%，侧方—50%，逆风火头—25%。当风速很大时，顺风火头部分的周长增长速度将增大。表2列出的是顺风火头的不同蔓延速度的周长增长值。

如上所述，火灾周长的增长速度对计算灭火所需的人员和工具都很重要。Г·П·铁里茨^[30]认为，要想封锁林火，必须使封锁火道的速度超过周长增长速度30%，否则就无法封锁林火。

已知火灾周长的增长速度，以及各种机械和设备的劳动