

Ing. Josef B r a b e c, VÚHU

Metodický postup výpočtu větrních sítí uplatněný v programu
VVS1

Úvod

Oddělení DVK zabezpečuje pro k.p. DVÚŽ zpracovávání větrních rozvah a studií pro plánované změny ve větrání. Zvýšené požadavky na přesnost výpočtů a operativnost při řešení naléhavých problémů si vynutily vážně se zabývat možností využívání samočinné výpočetní techniky. Tato technika umožňuje uplatnit při tvorbě programu přesnější metody výpočtů založené na Görtnerových zákonech.

Příkaz generálního ředitele SHD č. 71/82, vydaný na základě opatření federálního ministra paliv a energetiky č. 44/82, přispěl k urychlení celého procesu. Program pod označením VVS1 byl dokončen a ověřen na samočinném počítači ADT 4500.

1. Větrní síť dolu

Větrní síť dolu je dána souhrnem všech vzájemně propojených horizontálních, úklonných a vertikálních důlních děl. Výpočet větrní sítě spočívá v nalezení tlakových spádů a průtočných objemů vzduchu mezi uzlovými body, a to na základě znalosti odporu, stavových parametrů vzduchu a celkových tlaků ventilátorů nebo jejich pracovních charakteristik.

V důlní větrní síti platí mezi základními veličinami dva Görtnerovy zákony:

zákon uzlů $\sum_{i=1}^n s_i \cdot Q_i = 0$,

zákon smyček $\sum_{i=1}^n s_i \cdot h_i = 0$

a zákon
Atkinsonův $R_i \cdot Q_i^2 = h_i$

který má při zapojení ventilátoru do větve i tvar:

$$R_i \cdot Q_i^2 - \Delta p_{vi} = h_i.$$

Použité symboly:

- s_i - orientace větve, je-li kladná, má hodnotu +1, je-li záporná, má hodnotu -1,
- i - číslo větve,
- Q_i - objemový průtok větrů ve větvi i /m³s⁻¹/,
- h_i - tlakový spád ve větvi i /Pa/,
- R_i - aerodynamický odpor větve i /dále jen odpor/ /Pa s²m⁻⁶/,
- Δp_{vi} - celkový tlak, vyvolaný ventilátorem umístěným ve větvi i /Pa/.

Větrná síť je definována uzlovými body /p/, spojnicemi mezi uzlovými body, větvemi /n/ a počtem nezávislých smyček /m/. Mezi uvedenými veličinami platí vztah:

$$m = n - p + 1.$$

Počet nezávislých smyček /m/ je vždy podstatně menší než počet neznámých hodnot Q_i . Proto úlohu nelze řešit přímým výpočtem soustavy rovnic, ale iteračním způsobem výpočtu.

2. Výpočet korekčních hodnot ΔQ_i^m

Z výše uvedených vzorců vznikne jednoduchou úpravou vztah

$$\sum s_i R_i Q_i^2 - \sum \Delta p_{vi} - \Delta p_{Nm} = 0.$$

Tento vztah platí pro každou smyčku ve větrné síti. Hodnoty Q_i neznáme, můžeme však jejich znalost předpokládat ve formě / $Q_i + \Delta Q$ /, kde Q_i jsou hodnoty naměřené nebo zvolené a ΔQ jsou opravy. Pro výpočet oprav byl odvozen vztah:

$$\Delta Q^m = \frac{\sum s_i \cdot R_i \cdot |Q_i| \cdot Q_i - \sum s_i \cdot \Delta p_{vi} - \Delta p_{Nm}}{2 \sum R_i \cdot |Q_i|} \quad //$$

kde ΔQ^m je oprava pro větve ve smyčce m $/m^3 s^{-1}/$,

m - číslo smyčky,

Δp_{Nm} - přirozený tlak ve smyčce m $/Pa/$.

Při praktickém výpočtu je přirozený tlak na smyčce nahrazen součtem součinů $\sum /s_i \cdot g \cdot \rho \cdot \Delta z_i/$; kde g je gravitační zrychlení, ρ - měrná hmotnost vzduchu, Δz_i - výškový rozdíl mezi začátkem a koncem větve.

Iterační výpočet Q_i je postupný, Gaussova - Seidelova metoda. Vždy po stanovení ΔQ^m následuje oprava množství větrů ve větvích smyčky m :

$$Q_i = Q_i^0 + s_i \cdot \Delta Q^m.$$

Opravy se vypočítávají a Q_i^0 se opravují postupně ve všech smyčkách. Po uzavření cyklu, tj. po provedení oprav ve všech smyčkách, se porovná největší oprava s požadovanou přesností. Není-li požadavek přesnosti splněn, iterační cyklus se opakuje.

3. Vkládání ventilátorů do větrné sítě

Ventilátory jako zdroje tlaků jsou vkládány do libovolných větví sítě prostřednictvím svých pracovních charakteristik, které vyjadřují závislost celkového tlaku ventilátoru na dopravovaném množství vzduchu a jsou sestrojovány z naměřených hodnot.

Pro účely výpočtu bylo nutné pracovní charakteristiku vyjádřit vhodným matematickým vztahem - aproximativně v analytické formě /vyrovnávací metodou nejmenších čtverců/. Byl zvolen aproximující polynom druhého stupně

$$\Delta p_v = A \cdot Q^2 + B \cdot Q + C$$

/2/,

kde Δp_v je celkový tlak ventilátoru

/Pa/,

Q - dopravované množství vzduchu

/m³s⁻¹/,

A - vyrovnávací koeficient,

B - vyrovnávací koeficient,

C - vyrovnávací koeficient.

Jednotlivé charakteristiky se od sebe liší hodnotami vyrovnávacích koeficientů.

Postup výpočtu koeficientů A , B , C :

- na pracovní charakteristice se určí souřadnice několika bodů /zpravidla 4/ - $P/Q, \Delta p_v$ /;
- pak následuje výpočet koeficientů normálních rovnic a z nich vyrovnávací koeficienty A , B , C .

V oddělení DVK se postupně vypočítávají vyrovnávací koeficienty pro všechny pracovní charakteristiky ventilátorů používaných v hlubinných dolech k.p. DVÚZ a budou sloužit jako pracovní pomůcka pro řešení úloh ve větrných sítích na samočinném počítači.

4. Analytické řešení součinnosti ventilátoru s větrní sítí

Řešení je založeno na analytické metodě výpočtu. Jak již bylo uvedeno, má každý ventilátor pracovní charakteristiku; charakteristiku má i každá větrná oblast, na kterou je ventilátor napojen. Součinnost ventilátoru s větrní oblastí je dána průsečíkem jejich charakteristik - pracovním bodem ventilátoru.

Charakteristiku větrní oblasti odvodíme ze vzorce pro výpočet ekvivalentního průřezu:

$$\Delta p_v = \frac{1,2 \cdot Q}{A_e} /^2$$

/3/,

kde A_e je ekvivalentní průřez větrné oblasti $/m^2/$,
 Δp_v - celkový tlak, při kterém větrná oblast proudí
 Q množství vzduchu $/Pa/$,
 $1,2$ - číselná hodnota zlomku

$$\frac{1}{\alpha \sqrt{\frac{2}{\rho}}} = 1,1927 \approx 1,2,$$

α - kontrakční koeficient $/0,65/$,
 ρ - měrná hmotnost vzduchu $/1,2 \text{ kg} \cdot m^{-3}/$.

Řešením soustavy dvou rovnic $/2/$ a $/3/$ obdržíme výraz:

$$Q_{1,2} = \frac{-B \pm \sqrt{D}}{2 \cdot \left[A - \frac{1,2^2}{A_e} \right]} \quad /4/$$

kde

$$D = B^2 - 4 \cdot \left[A - \frac{1,2^2}{A_e} \right] \cdot C$$

Pro další postup výpočtu má smysl větší hodnota Q . Dosazením této hodnoty do rovnice $/2/$ nebo $/3/$ dostaneme hodnotu Δp_v . Souřadnice $/Q, \Delta p_v/$ určují průsečík pracovní charakteristiky ventilátoru s charakteristikou větrné oblasti dolu $/pracovní bod ventilátoru/$.

5. Postup výpočtu

Do počítače se vloží větve větrné sítě těmito údaji: začátek a konec větve $/číslo uzlových bodů/$, odpor větve, celkový tlak ventilátoru $/je-li umístěn ve větvi a je-li znám/$ a součin $/s_i \cdot g = \sum (z_i - z_{i+1})/$

Ventilátory se vkládají do počítače v průběhu výpočtu následujícími vyrovnávací koeficienty A, B, C , vstupní celkový tlak ventilátoru Δp_{v0} $/vkládá se orientovaně, tj. se znaménkem $+$ nebo $-$ / a údaje popisného charakteru.$

Počítač provede vstupní rozdělení větrů ve větrní síti při zachování zákona uzlů. Vybere nezávislé smyčky a provede první vyrovnaní větrní sítě k celkovým tlakům Δp_{v0} .

Vyrovnaná hodnota Q_1 , u každého ventilátoru, je x souřadnicí bodu P_1 . Dosazením hodnoty Q_1 do rovnice /2/ vypočteme hodnotu $\Delta p'_{v0}$ a dosazením Q_1 do rovnice /3/ vypočteme hodnotu $\Delta p''_{v0}$. Při rovnosti $\Delta p'_{v0} = \Delta p''_{v0}$ se jedná o x souřadnici pracovního bodu; je-li nerovnost, dostáváme dva různé body $/P'_0, P''_0/$ ležící na společné pořadnici.

Do programu je vložen test ve formě nerovnosti:

$$|p'_{vi} - p''_{vi}| < \epsilon \quad /5/$$

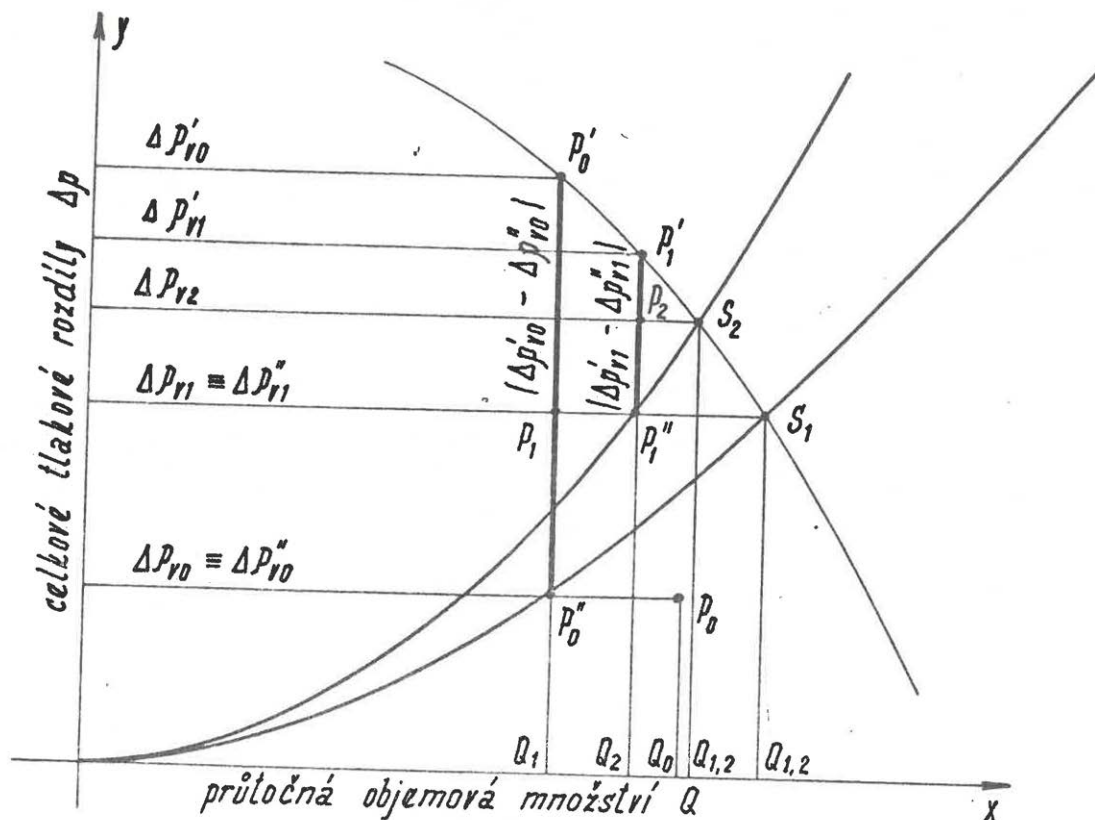
kde hodnota ϵ je libovolně zvolené malé kladné číslo udávající přesnost výpočtu. Při splnění podmínky /5/ u všech ventilátorů výpočet končí. Při nesplnění pokračuje následujícím postupem:

Podle vzorce /4/ se vypočte hodnota $Q_{1,2}$ / x souřadnice bodu S_1 - průsečíku pracovní charakteristiky ventilátoru s křivkou nastupující charakteristiku větrní oblasti/. Dosazením této hodnoty do vzorce /2/ nebo /3/ se stanoví nový celkový tlak Δp_{v1} / x souřadnice bodu P_1 /. V další fázi výpočtu jsou body P_0 nahrazeny body P_1 a výpočet pokračuje vyrovnaním větrní sítě k těmto bodům. Cyklus je uzavřen testem /5/. Pro každý následující cyklus platí nerovnost:

$$|\Delta p'_{vi} - \Delta p''_{vi}| > |\Delta p'_{v/i+1} - \Delta p''_{v/i+1}| ;$$

každým cyklem se bod P_i přibližuje k pracovnímu bodu ventilátoru. To platí pro všechny ventilátory instalované ve větrní síti. Pro názornost je popsán postup demonstrován graficky na obr. 1.

Výsledkem výpočtu je tlakově vyrovnaná větrní síť dlu: tlakové spády a objemové průtoky větrů mezi uzlovými body, pracovní body ventilátorů, ekvivalentní průřezy a celkové odpory větrních oblastí.



Obr. 1

Závěr

Konkrétní větrní síť má zpravidla složité až komplikované paralelní i diagonální propojení aerodynamických odporů. Uplatňovaný způsob výpočtu /bez samočinné výpočetní techniky/ byl složitý, časově velmi náročný, vyžadoval značnou pozornost a prakticky neumožňoval řešit některé úkoly. Přitom musela být větrní síť do určité míry zjednodušována na úkor přesnosti a srozumitelnosti pro technické pracovníky hlubinných dolů. Naléhavé problémy v důlním větrání nebylo možno operativně řešit.

Samočinná výpočetní technika umožnila praktické uplatnění Gärtnerových zákonů při řešení složitých větrních sítí. Program VVS1, sestavený podle uvedeného postupu, umožňuje matematické modelování větrní sítě. Komunikačním způsobem se dají měnit odpory, vkládat ventilátory a editorem měnit propojení /vkládat a vyndávat větve/. Tím se vytvořily podmínky k postupnému zhotovování záznamů větrních sítí dolů k.p. DVÚZ s možností jejich pravidelných aktualizací.

Jedním z cílů oddělení DVK je využívat takové výpočetní postupy, které umožní operativně řešit požadavky hlubinných dolů.