

SHORT-TERM PLANNING AND OUTLINING A FEASIBLE SCHEDULE OF MINING ACTIVITIES IN THE ELATZITE MINE USING THE HXGN MINEPLAN™ ACTIVITY SCHEDULER

Ivan Boykov, Valentin Vazharov

Mining Complex, Ellatzite-med AD, 2180 Etropole; E-mail: i.b.dimitrov@ellatzite-med.com; v.v.vazharov@ellatzite-med.com

ABSTRACT. Ore mining is essential for global economy and, based on the increased need of metals worldwide, all deposits should be exploited in the most efficient way. Hence, short-term planning of mining activities is of key importance for the successful management of open-pit and underground mines. *MinePlan Activity Scheduler* combines activity-based scheduling, resource assignment, and Gantt charting with an easy-to-use interface. The planning module features direct cut design against the block model, with the ability to route material to certain destinations, including reclamation. The use of these software tools facilitates the accurate and reliable planning and the efficient management of mining operations.

Key words: open-pit mining, short-term planning, MinePlan Activity Scheduler, Gantt chart, material movement.

КРАТКОСРОЧНО ПЛАНИРАНЕ И СЪЗДАВАНЕ НА РЕАЛИСТИЧЕН ГРАФИК НА ДОБИВНИТЕ ДЕЙНОСТИ В РУДНИК „ЕЛАЦИТЕ“, ПОСРЕДСТВОМ HXGN MINEPLAN™ ACTIVITY SCHEDULER

Иван Бойков, Валентин Вържаров

Рудодобивен комплекс, Елаците-мед АД, 2180 Етрополе

РЕЗЮМЕ. Добивът на руда е от съществено значение за глобалната икономика и въз основа на увеличената необходимост от метали в световен мащаб е важно всички находища да бъдат експлоатирани по най-ефективен начин. Поради тази причина, краткосрочното планиране играе ключова роля за успешното управление на открити и подземни рудници. *MinePlan Activity Scheduler* съчетава планиране на минните дейности, разпределяне на наличната минно-добивна техника и изработка на линеен график, чрез удобен за работа интерфейс. Модулът за планиране позволява създаване на планови полигони, на база блоков модел, с възможност за проектно разпределяне на минната маса до съответните разтоварни пунктове. Използването на тези софтуерни инструменти спомага за точно и надеждно планиране и ефективно управление на минно-добивните дейности.

Ключови думи: открит добив, краткосрочно планиране, MinePlan Activity Scheduler, линеен график, разпределяне на минната маса

Въведение

Минното планиране се дефинира като процес от минното инженерство, отговарящ за усвояване на минералните ресурси по най-продуктивен начин, докато календарният график за добив е едно добро пожелание, което съответства на борсовите и банкови договори на инвеститорите (Smith, 1998). В този смисъл, целта на минното планиране е да определи изземването на запасите във всеки един период, за да се достигне максимална печалба от преработката, включително коя част от запасите трябва да бъде преработена, изискванията за транспортната механизация, необходимите инвестиции за обогатителната фабрика и др.

Процесът на планиране в мината се извършва като се вземат предвид оперативните и металургичните ограничения. Изготвянето на краткосрочни и средносрочни планове за добив, чрез наличните софтуерни продукти, налага разработване на различни алтернативи, които да оптимизират резултатите по отношение на извлечения метал, използването на изкопно-товарната и транспортна техника, както и правилното технологично отработване на мината. И тъй като е изключително трудно да се вземат предвид всички променливи и тяхната взаимовръзка, за да се визуализира в една платформа, „се обръщаме“ за помощ към специализиран минен софтуер.

В рудник „Елаците“, за целите на планирането, както дългосрочно, така и краткосрочно, се използва специализиран минен софтуер на компанията Hexagon,

лидер в дигиталните решения, съчетаващи сензорен, софтуер и автономни технологии. По отношение на краткосрочното планиране, компанията разработва модул *MinePlan Activity Scheduler*, който улеснява работата по задаване последователността на изземване, разпределяне на изкопно-товарната техника, изчисляване на транспортната работа и изчисляване необходимия брой автосамосвали. Чрез създаването на линеен график, към добивните дейности се включва продължителността на пробивно-взривни работи, на база производителността на сондажното оборудване, планирани и извънредни ремонти, регламентирано време, в което не се извършват минни дейности и др. Алгоритмите и значителното подобрение в изчислителната мощ на компютърната техника, позволяват генериране на множество варианти и алтернативи, целящи коректно достигане на зададените параметри (обеми, тонове и съдържания), както и безопасното отработване на находището. Форсмажорните обстоятелства, възникнали по време на оперативните дейности, биват отбелязвани в графика, което води до по-правилно управление на процесите. Така събраната и генерирана информация от линейния график, дава възможност на минните инженери от отдел „Минно планиране“ да представят краткосрочното развитие на минно-добивните дейности пред ръководството на компанията.

В настоящия доклад ще бъде представена последователността при изготвяне на краткосрочен план на минно-добивните дейности за период от 1 месец. В среда на *MinePlan Activity Scheduler* е съставен оперативен план с линеен график, който изобразява

продължителността на основните минни дейности. Резултатът представя транспортната работа, необходимият брой автосамосвали и продължителността на минно-технологичните дейности за постигане на заложените цели (натурални показатели).

Входни данни

Краткосрочното планиране цели да следва стратегията на дългосрочното планиране и да минимизира оперативните разходи (Osanloo & Rahmanpour, 2017). Ролята на минния инженер е да определи оптималното количество материал, който трябва да бъде добит от всеки етап на мината, така че обогатителната фабрика да получи руда с необходимото качество и обем. Входната информация трябва да бъде определена, спрямо наличните данни, преди планиране.

За основни, се считат следните геометрични и геоложки параметри:

- Бортово съдържание на Cu% за определяне на видовете минна маса;
- Планово количество и качество на рудата, както и количество на откривката за съответния месец;
- Актуален блоков модел - обединява информация от ресурсен модел и експлоатационно проучване;
- Актуална маркшайдерска повърхнина на рудника;
- Проектна повърхнина към края на година (краен контур).

От гледна точка на механизацията и достъпността на минното оборудване, е необходима информация за:

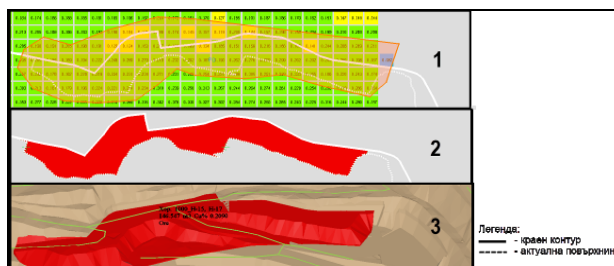
- Планирани ремонти на изкопно-товарната и транспортната техника;
- Планирани ремонти на сондажното оборудване;
- Планирани ремонти на корпусите за трошене на рудата.

При създаване на краткосрочен план за добив е важно да се обърне внимание и на непредвидими фактори, които биха повлияли на производството. Те могат да бъдат от различно естество и характер, но най-често при открития добив се наблюдават минно-технологични и метеорологични. Залагането на песимистични данни за минно-добивните процеси намаляват риска от неизпълнение на плановите показатели, като това се прави по преценка на минния инженер.

Моделиране на добивните дейности

Планирането на различни варианти на минно-добивните дейности е ключов елемент при разглеждане развитието на рудника в краткосрочен период. Минният софтуер е разработен и усъвършенстван, така че да позволява бърза оценка и съответно вземане на решение от ръководния персонал накъде да бъде насочен добивът. Процеса по планиране се извършва в 2D, но всички резултати от изчисленията, са на база актуална повърхнина и актуален блоков модел (Фиг. 1).

За съответното обемно тяло (солид) се изчислява неговите обем, маса, съдържание на метал и др. (Фиг. 2), като тези данни се генерират на база блоковия модел и кодираната в него информация.



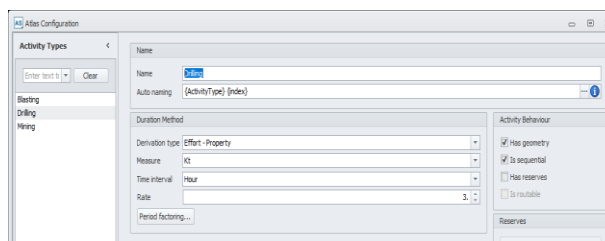
Фиг. 1. Изглед на хоризонтен план на рудника и актуален блоков модел- използван за планиране, където: 1 – ръчно изчертаване на планов полигон; 2 – коригиран полигон спрямо актуална и проектна повърхнина; 3 – проектно обемно тяло (солид) за добив

Фиг. 2. Табличен вид с информация за обем, тегло, средно съдържание Cu% на полигона/солида и др.

В резултат на проектирането се получава планова повърхнина на рудника, която отчита добивните дейности и визуализира в какво положение ще бъдат рудничните пътища, работните площадки, наклонените полутраншеи в края на периода.

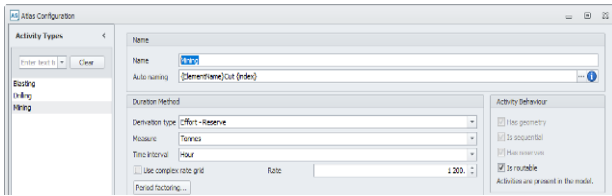
Activity Scheduler дава възможност дейностите в рудника да бъдат планирани като група от последователни действия - подготовка на масива (пробивно-взривни работи) и изземване на минната маса (добивни работи). В настоящата разработка няма да бъдат разглеждани и коментирани дейностите по подготовка на дадено поле в детайли (маркшайдерска снимка, технологично почистване на площадка и др.).

Планирането на пробивно-взривните работи е съобразено с наличната техника, персонал и технически параметри на сондите - производителност (хил. t/h) (Фиг. 3). На този етап, в рудник „Елаците“, проектирането на взривните работи не се извършва в среда на MinePlan. За работата на софтуера се прилагат обобщени данни за производителността на база досегашния опит.



Фиг. 3. Задаване на базова производителност на сондажното оборудване

Задава се планова производителност на изкопно-товарната техника (Фиг. 4), за да бъде изчислено времето, за което ще бъде добита планираната минна маса. Коефициенти на ефективност и ефикасност се прилагат впоследствие, които отчитат времето за технологичен престой, изчакване, аварийни ремонти и др.



Фиг. 4. Задаване на технологична производителност на изкопно-товарната техника

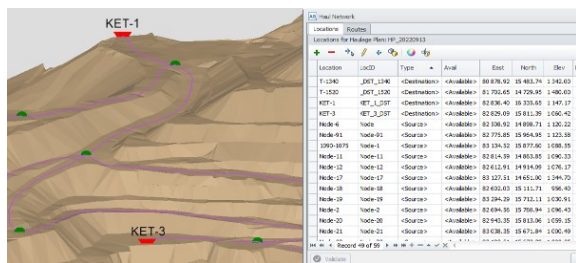
Определяне и дефиниране на разтоварните пунктове

Капацитетът и местоположението на разтоварните пунктове са неразделна част от процеса планиране и изграждане на краткосрочен график. В ранен етап, преди започване на изпълнение на плана, се вижда какво е очакваното количество минна маса, която ще приеме всеки един от тях (Workbook, 2023). Местоположението им може да бъде посочено в модела, както и от модула Haulage, съдържащ геометрична информация за рудничните кръстовища и пътища. Проектирането на съоръжението за минни отпадъци се извършва с друг инструмент в Mine Plan, като геометрията му се посочва с цел отчитане във всеки един момент от зададения период, количеството насипана откритка и оставащия обем до запълването му.

При рудник „Елаците“, разтоварните пунктове са разделени на две категории:

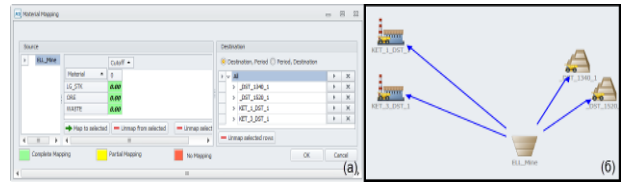
- по руда – Корпус едно трошене – 1 и 3 (KET-1 и KET-3);
- по откритка – съоръжение за минен отпадък, като са определени 3 места за насипване (T-1340, T-1340-1 и T-1520).

Местоположението им е определено в Haulage с координати и наименования (Фиг. 5), като за откритката не е определен проектният обем на насипището. Поради факта, че корпусите за едро трошене имат технически капацитет, за тях е зададена средно-дневната производителност, отчетена за последната 1 година.



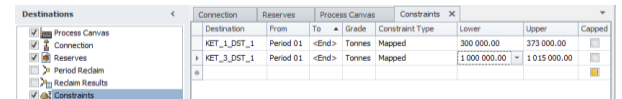
Фиг. 5. Графично и таблично местоположение на разтоварни пунктове (KET-1 и KET-3)

Разпределянето на вида минна маса се осъществява предварително, за да се покаже всеки вид материал на кой разтоварен пункт трябва да бъде закаран. MinePlan Activity Scheduler е софтуер за ръчно планиране, така че логиката за проектно разпределяне на минната маса се въвежда от потребителя (Workbook, 2023). Съставя се диаграма и таблица с разпределение на материала (Фиг. 6), което служи на алгоритъма да изчисли транспортната работа, циклите на движение на автосамосвалите и правилно да бъде определен броят автосамосвали, необходими за извършване на планираната работа.



Фиг. 6. Таблично (а) и схематично (б) разпределение на видовете минна маса спрямо разтоварните пунктове

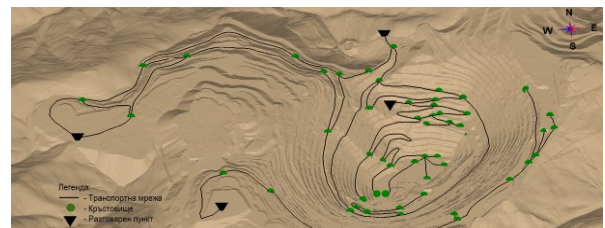
Важен аспект при планирането е определянето на ограничения на производителност/капацитет за всеки разтоварен пункт (Фиг. 7). Целта е да се получи правилно разпределение на минните маси от всеки участък. Задават се минимални и максимални тонажи/обеми и други атрибути, дефинирани в блоковия модел, служещи за ограничения (Workbook, 2023).



Фиг. 7. Планово минимално и максимално количество руда за двата корпуса едро трошене за периода

Транспортна работа и задаване техническите параметри на изкопно-товарната и транспортна техника

Activity Scheduler има вграден модул Haulage, който регламентира изграждането и поддръжката на транспортната мрежа и валидация на взаимодействието ѝ с минния план. Транспортната мрежа се изгражда по съществуващите пътища, като между всеки две кръстовища трябва да има една единствена линия (Фиг. 8). Основният принцип за изчертаване е посоката на отсечките да бъде от планирания забой към разтоварните пунктове (Workbook, 2023).



Фиг. 8. Разположение на кръстовищата, разтоварните пунктове и транспортна мрежа на рудник „Елаците“

При планиране работата на добивната техника е необходимо да бъдат отчетени техническите параметри при работа в рудника. Тъй като работната среда не е еднородна и има фактори, влияещи върху производителността, се въвеждат технологичните характеристики, които са отчетени за предходен период. При дефинирането и планирането на минната техника, в софтуера са обособени три комбинации на автосамосвали, които се използват за превозване на минната маса – спрямо капацитета им и спрямо горивото на наличните багери (Фиг. 9). Част от основните параметри на автосамосвалите, необходими за изчисление на цикъла на работа, са капацитет на коша, скорост според наклона на трасето, дължина на трасето и др. При въвеждане на допълнителни данни, относно автосамосвалите, има

възможност за генериране на доклади за цялостната работа на всеки един от тях.

| Equipment List | | Attributes for Bellaz-HH_Diesel big | | | | |
|----------------|------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|-------|------------|--------|
| Type | Name | Name | Description | Type | Units | Value |
| Hauler | Bellaz_130t | _J_Use | Use trolley assist where available | TEXT | TRUE/FALSE | FALSE |
| Hauler | Bellaz-HH_Diesel big | _J_FBWait | Fuel burn during wait time | FLOAT | GPH/LPH | 63.5 |
| Hauler | Bellaz-HH_Diesel small | _J_FBSpot | Fuel burn during spot time | FLOAT | GPH/LPH | 70.56 |
| Hauler | Bellaz-HH_Electric | _J_FBDump | Fuel burn during dump time | FLOAT | GPH/LPH | 105.84 |
| Hauler | Bellaz-HH_Electric | _GrossWeight | Unloaded weight of equipment | FLOAT | Kg | 107100 |

Фиг. 9. Технически параметри на автосамосвалите

За изкопно-товарните машини се задават параметри като ефективност, ефикасност, време за един цикъл и капацитет на кофата (Фиг. 10). Тези данни са базирани на технологичната производителност на багерите, за период от 1 година. Обобщаването и генерализирането за такъв период е с цел да се отчете разликата в работата при различните климатични условия, както и различните работни условия - забои, видове скали и др.

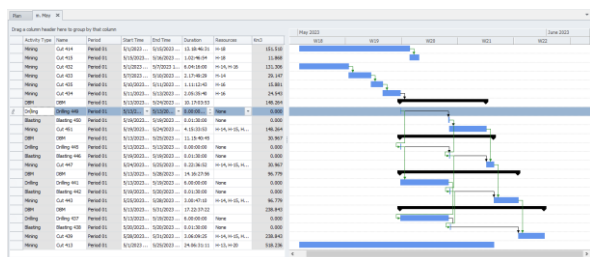
| Equipment List | | Attributes for HH_Diesel big | | | | |
|----------------|------------------------|------------------------------|-------------------------------------|-------|-------------|-----------|
| Type | Name | Name | Description | Type | Units | Value |
| Hauler | Bellaz_130t | _J_Availability | Availability for piece of equipment | FLOAT | Percent | 95 |
| Hauler | Bellaz-HH_Diesel big | _CyclLoader | Cycle time of loader | FLOAT | Minutes | 26 |
| Hauler | Bellaz-HH_Diesel small | _Description | Description of equipment | TEXT | Text | Htachi 16 |
| Hauler | Bellaz-HH_Electric | _LoadRate | Loading Rate | FLOAT | Kg per hour | 968000 |
| Loader | HH_Diesel big | _Payload | Capacity for piece of equipment | FLOAT | Kg | 40650 |
| Loader | HH_Diesel_small | _Utilization | Utilization for piece of equipment | FLOAT | Percent | 43 |
| Loader | HH_Electric | | | | | |

Фиг. 10. Технически параметри на изкопно-товарната техника

Създаване на линеен график (Gantt chart)

Основната задача на ръководството на всяка компания е да взема решения относно политиките и да предприема действия, които ще доведат до желаното състояние. В условия на непрекъснато нарастваща нужда от метали, решенията и действията трябва да се основават не само на внимателно доказана информация, но и на пълното оценяване на важността на въздействието от нея (Clark, 1922). Линейният график (диаграмата на Гант), поради своето пространственото представяне, както на количеството време, така и количеството работа, която трябва да бъде извършена през това време, има забележителен принос при ръководене и управление на минни проекти.

За целите на този доклад планирането и проектирането е направено за период от 1 месец. Гант диаграмата съдържа два основни раздела - табличен и графичен (Фиг. 11), като в детайли е показана информацията, нужна за ръководството да контролира процесите.



Фиг. 11. Линеен график на минно-добивните дейности на рудник „Елаците“ за период от 1 месец

Детайлната таблица представя минните дейности и свързаната с тях информация – начало и край, продължителност за изпълнение и др. За визуалното изобразяване на продължителността и последователността им таблицата е обвързана с графика.

Заклучение

Тъй като рудникът е сложна система с множество критерии, функционални ограничения и липса на пълна априорна информация за средата, планирането на минно-добивните дейности се превръща в предизвикателство. Затова работата със стандартните софтуери, използвани за минно проектиране, вече отстъпва място на модерни и специализирани продукти, ориентирани към конкретната сфера. Те предоставят на минния инженер голяма гъвкавост за изработване на множество варианти, които от своя страна да покажат различни крайни състояния на рудника при зададен кратък период. Минно-геоложката информация е на разположение в една платформа, което намалява възможността от грешки и рационализира планирането. MinePlan Activity Scheduler обединява модул за проектиране, обвързване на планираните дейности времево и създаване на реалистичен график на дейностите в рудник „Елаците“. Това помага за максимално използване на времето и ресурсите в отдел „Минно планиране“, като позволява на инженерите да се съсредоточат върху проекти с по-значимо въздействие, които често изискват решаване на проблеми и творческо мислене – нещо, което дори най-добрият софтуер за планиране и проектиране няма да може да замени.

Благодарности

Авторите на доклада изразяват своята благодарност към всички колеги от техническите служби. Тяхната отдаденост към работата, любопитство за нови иновативни методи и подходи, спомогна за написването на разработката.

Литература

- Clark, H. W. (1922). The Gantt Chart: A Working Tool of Management. New York: Ronald Press.
- Osanelo, M., & Rahmanpour, M. (2017). Optimizing short-term production plan using a portfolio optimization model. REM-International engineering journal.
- Smith, M. L. (1998). Optimizing short-term production schedules in surface mining: Integrating mine modeling software with AMPL/CPLEX. International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment, 149-155.
- Upadhyay, S. P., & Hooman, A.-N. (2016). Short-term Production Planning in Open Pit Mines. Edmonton: Mining Optimization Laboratory (MOL).
- Workbook, H. M. (2023). Activity-Based Scheduling with Activity Scheduler.