

DEVELOPING THE ACMO MODULE SYSTEM IN THE ELLATZITE OPEN-PIT MINE

Ivaylo Ivanov¹, Ivan Vasilev¹, Georgi Petrov¹, Dobriyan Benov²

¹Ellatzite-Med AD, 2086 Mirkovo; E-mail: i.g.ivanov@ellatzite-med.com; i.vasilev@ellatzite-med.com; g.petrov@ellatzite-med.com

²Benovi Engineering Ltd., 1404 Sofia; E-mail: benov@benov.org

ABSTRACT. ACMO stands for the Automated System for Mine Surveying. ACMO Module is a system about structuring, maintenance, organisation, and storage of the engineering information at the *Ellatzite* mine. Through this system, the activities of the inter-related engineering divisions of Mine Planning, Mine Surveying, Geologists, Geo-Technicians, Technological Personnel, and Drilling and Blasting are coordinated. The workplaces are connected and shared in a common server database, where each of them supports and stores, in real time, the digital models for which they are responsible, with the appropriate permissions and editing possibilities. ACMO Module is an open system which provides base for building up and constantly developing a number of specialised software modules in order to optimise working processes of engineers from individual units. Genuine algorithms are used for programming and creating universal instruments (for example: expanding the capabilities of existing CAD tools, adding GIS functions, etc.), as well programs for addressing specific tasks (e.g. optimisation of operational mine surveying, geological and geotechnical works, volume calculation, design of drill and blast activities, transport route analysis, deformation analysis, etc.). ACMO Mobile is a smartphone application that provides access to the base digital models and live information from the management systems related to the mining production: dispatching, planning, drilling, and blasting.

Key words: open pit, ACMO, digital model, CAD, GIS.

РАЗВИТИЕ НА СИСТЕМАТА АСМО МОДУЛ В РУДНИК ЕЛАЦИТЕ

Ивайло Иванов¹, Иван Василев¹, Георги Петров¹, Добриян Бенев²

¹„Елаците-Мед“ АД, 2086 Мирково

²„Бенови Инженеринг“ ЕООД, 1404 София

РЕЗЮМЕ. АСМО е Автоматизирана система за маркшайдерско осигуряване. АСМО Модул е система за структуриране, поддържане, организиране и съхраняване на инженерната информация в рудник „Елаците“. Тя координира дейностите на взаимно свързаните инженерни звена: минно планиране, маркшайдери, геолози, геотехници, минни технолози, управляващи пробивно-взривните и добивните дейности. Работните модули на всички подразделения са свързани и споделени в обща база данни, като всяко от тях в реално време поддържа цифровите модели, за които е отговорно, със съответните права за достъп и редактиране. АСМО Модул е отворена система, в която са създадени и постоянно се развиват редица специализирани софтуерни модули, които оптимизират работните процеси на инженерите от различните звена. По оригинални алгоритми се програмират както универсални инструменти (напр. разширяване на възможностите на стандартните CAD инструменти, добавяне на GIS функции и др.), така и програми за решаването на конкретни специфични задачи (напр. оптимизиране на оперативните маркшайдерски, геоложки и геотехнически работи, определяне на обеми на изнетата минна маса, проектиране на пробивно-взривни работи, анализ на транспортните разстояния, анализ на деформации и др.) Основните цифрови модели, заедно с текуща информация от системите за управление на минното производство – диспечирание, планиране, сондиране и взривяване, могат да бъдат визуализирани в реално време, директно на смартфоните на специалистите, посредством приложението АСМО Мобайл.

Ключови думи: открит рудник, АСМО, числен модел, CAD, GIS.

Въведение

Първата версия на АСМО (Автоматизирана система за маркшайдерско осигуряване) е създадена в периода 1975-1980 г. от екип от български учени по програма и финансиране от Съвета за икономическа взаимопомощ - СИВ. Първоначално програмата работи под операционна система DOS, а след навлизането на персоналните компютри, е създадена втора версия – АСМО 16 (Mazhdrakov et al., 2005).

След 2000г. започва разработката на третото поколение АСМО (Маждраков et al., 2012) от „Бенови Инженеринг“ ЕООД.

В първите версии системата използва собствена графична система (Бенов и др., 2012), а от 2010 г. е

интегрирана с CAD системите на Autodesk – AutoCAD, AutoCAD Civil 3D и DWG TrueView, първоначално с версия 2011, а към момента се поддържат всички версии между 2016 и 2022.

Основен идеолог на създаването на АСМО от самото ѝ начало е покойният вече проф. дтн. Методи Маждраков – дългогодишен преподавател в катедра „Маркшайдерство и геодезия“ на МГУ „Св. Ив. Рилски“.

През 2004 г. системата успешно е внедрена в рудник „Елаците“ и оттогава до настоящия момент непрекъснато се усъвършенства и оптимизира съвместно със специалисти от рудника.

Задачата на АСМО е да структурира, организира и да улесни поддържането на инженерната информация в рудника, като в същото време подпомага специалистите с редица постоянно развиващи се модули за оптимизация на

работните процеси на инженерите от различните звена. По оригинални алгоритми се програмират както универсални инструменти, така и програми за решаването на конкретни специфични задачи (Ivanov et al., 2018).

Системата е модулна. Съставена е от „ядро“, което отговаря за контрола на достъпа и управлението на останалите модули, а основен, за всички специалисти, е модулът за координиране на дейностите на взаимно свързаните инженерни звена.

Координиране на дейностите на инженерните звена

Системата координира дейностите на взаимно свързаните инженерни звена – минно планиране, маркшайдери, геолози, геотехници и минни технолози, управляващи пробивно-взривните и добивните дейности. Работните модели на всички подразделения са свързани и споделени чрез SQL база данни и файлов сървър. АСМО управлява достъпа до числените модели, представя информация за актуалното им състояние в реално време и предоставя на специалистите различни възможности за достъп до тях. Моделите са структурирани по звена, в които специалистите могат да създават подходящи според нуждите на звеното групи. Изградена е и система за управление на версиите, която съхранява всяка промяна, имената на специалиста, който я е извършил, датата и часа, описание на промените, както и система за контрол на достъпа до моделите на две нива – звено и потребител. Управлят се както „постоянни“ модели, напр. маркшайдерският модел, така и „временни“ модели, като локални проекти и др.

Информацията, която се представя в реално време включва дата и час на последна промяна, описание на извършените промени, моментно състояние – дали моделът в момента се редактира и от кой специалист и др.

Възможностите за достъп до моделите са няколко, в зависимост от целите:

— Зареждане на модел с цел да се извършват промени. В този случай моделът се „заклучва“ докато специалистът, който извършва промените, не приключи работа. Останалите специалисти все още имат достъп до модела, но могат само да ползват последната му версия.

— Преглед на модела, което позволява зареждането му, без той да се заключва за останалите потребители, като специалистът може да използва данните в модела, да копира обекти или да извършва анализи, като направените промени няма да се отразят в базата от данни.

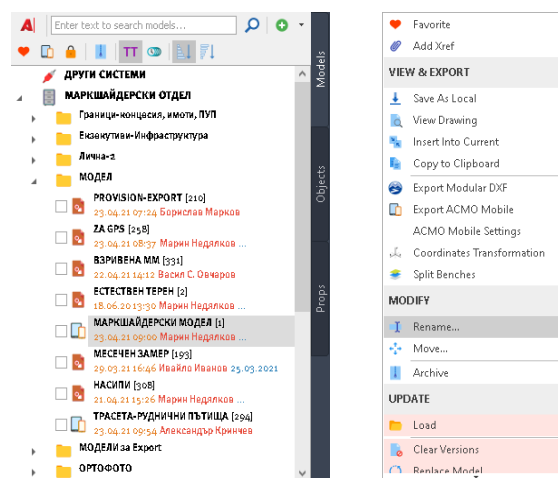
— Използване като подложка. Моделът се добавя като подложка (external reference) в текущия чертеж или нов файл. Като подложка могат да бъдат добавяни едновременно множество чертежи, което позволява съпоставяне на данни от различни звена и модели.

— Записване на локално копие на модела. Създава се копие на чертежа, което специалистът може да изтегли локално на своя компютър и след това да зареди за редакция.

Функциите, които не са свързани с редакция на чертежите, могат да бъдат ползвани и в среда на DWG TrueView, което позволява достъп до данните на по-широк кръг потребители.

Модули и инструменти

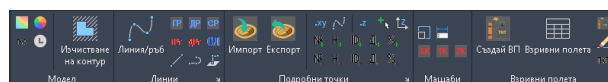
В системата са създадени подходящи автоматизирани инструменти за специфичните нужди на специалистите от всеки отдел (Фиг. 1), които са групирани в модули. По-долу са изброени някои от тях.



Фиг. 1. Инструменти за управление на моделите

АСМО Марк

Модул с инструменти за актуализация на маркшайдерския модел, импорт и експорт на данни (точки, полилинии, кодове и др). Разработени са библиотека от условни знаци (точка горен/долен ръб, теренна точка, сондаж, път и др.), номенклатура на структурните линии – горен, долен и среден ръб, отбивна линия и др. (Фиг. 2), както и инструменти за управление на слоевете. Инструменти за поддържане (в БД) на хоризонтни планове с нанесени ексекутиви на взривените полета и информация за тях.



Фиг. 2. АСМО Марк - инструменти

Изолинии и профили

Модул с инструменти за построяване на изолинии и профили директно от 3D-обекти в AutoCAD (точки, полилинии, блокове и др.) без използване на обектите на Civil 3D.

Профилите се построяват по зададена профилна линия от един или множество модели едновременно. Предвидено е последващо проектиране на различни обекти (точки, блокове, линии, повърхнини) върху вече построени профили. При проектиране на обекти върху профила потребителите имат възможност да избират между перпендикулярно проектиране върху профилната линия или пресичане на профилната равнина и проектирания обект.

Модул за изчисляване на издетите обеми минна маса

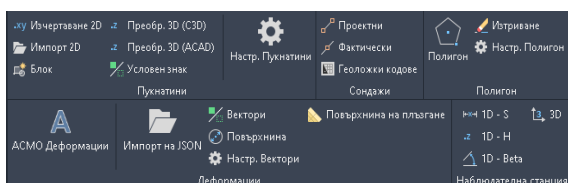
Изчисляване на обеми по метода на вертикалните сечения. Потребителят има възможност да дефинира успоредни и радиални (както и комбинация от двете) вертикални сечения.

АСМО Геология

Програмирани са инструменти за създаване на геоложки полигони със съдържания на мед и петрографски и литоложки разновидности на скалите. Генериране на задание към системите за оперативното управление на производството на Modular Mining – Dispatch® и Provision®.

АСМО Геотехника

АСМО Геотехника представлява модул с инструменти (Фиг. 3), позволяващи изграждането и поддържането на различни чертежи (карти, планове разрези и др.), както и извършването на специализирани анализи.



Фиг. 3. АСМО Геотехника - инструменти

Модулът съдържа групи от инструменти, необходими за визуализация на:

Точкови данни. За целта е разработена библиотека от условни знаци, представляващи аутокадови блокове с привързана към тях атрибутивна информация (геоложки точки; точки на провеждане на полеви анализи; точки на опробване за лабораторни изследвания; проучвателни, мониторингови, отводнителни или др. сондажи; контролни или мониторингови репери за следене на устойчивостта). Входът на данните може да бъде осъществяван с посочване с „мишката“ (когато става въпрос за единичен обект) или чрез импортиране от текстов файл (за групи обекти).

Геоложки структури. Група от инструменти, позволяващи импорт и изчертаване в план или тримерно проектиране (чрез екстраполиране) на различни геоложки структури (тектонски пукнатини, разломи, геоложки граници) с изобразяване на елементите им в пространството или на деформационни нарушения (пукнатини на опън и срязване, свлачищни отстъпи, контур на зона с проява на деформационни процеси и др.).

Предвижда се допълнителното програмиране на инструменти, позволяващи проектирането върху равнина/повърхнина на телата от скална маса, заключени между рудничната повърхност и две или три геоложки структури, определяне на площта и обема им, както и възможността на отдолулежащата руднична берма да задържи разрушения скален обем.

Сондажни прободи. Група инструменти, позволяващи построяване на проектни или фактически изпълнени сондажи в 3D среда, чрез различни комбинации на параметрите: координати на устие; линейна дължина; инклинометрия; геотехнически интервални и/или точкови данни; тектонски структури и др.

Деформации. Инструменти за анализ на деформационни процеси, настъпващи в бордовете на открития рудник, на базата на геодезически измервания на групи от

мониторингови репери (Маждраков и др., 2015). Изчисляване на векторите на преместване на наблюдаваните репери и изчертаване на графики на поведението на наблюдаваните репери във времето, както и на хоризонталните и вертикални деформации.

В процес на разработка са инструменти за експорт от базата данни на координатите на мониторинговите репери и визуализацията им в план. Изчертаване на векторите на преместване (за хоризонтално, вертикално и пълно преместване) в предварително зададен мащаб и оцветяването им в различна цветова гама, според диапазона на преместване, както и изчертаване на изолинии според големината на трите вектора.

Геотехнически полигони. Група от инструменти за изчертаване на геотехнически полигони (състоящи се от затворена полилиния и различни растери - щриховки и плътни цветове) в план на база на изменението на инженерно-геоложките свойства на скалите, като: физико-механични и якостно-деформационни характеристики; тектонска и техногенна напуканост; оводненост и др.

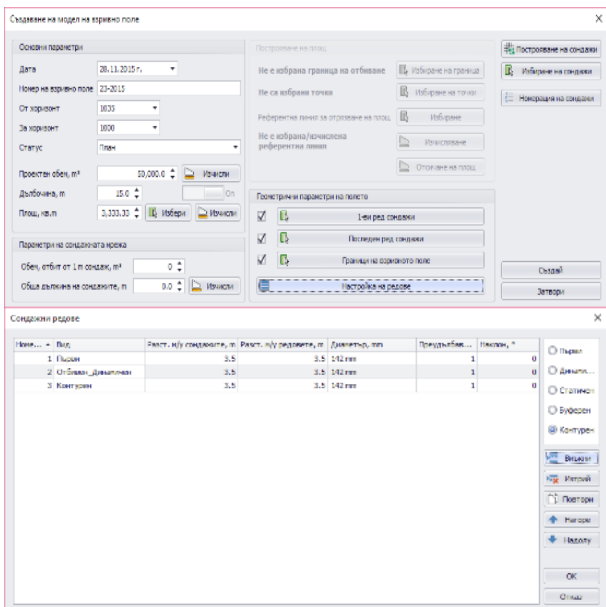
Геотехнически разрези. Група от инструменти, необходими за изчертаване (по предварително зададена профилна линия) на геотехнически разрези, съдържащи: топография; повърхнини на различните етапи от минните дейности (изкопаване и/или насипване); геотехнически тела с различни инженерно-геоложки свойства; тектонски нарушения; ниво на подземните води и др. За целта като входни данни се използва единичен CAD файл (който може да бъде и различен от текущия) или група файлове, съдържащи линии; полилинии; 3D полилинии; 3D фасети и аутокадови блокове.

В процес на разработка е усъвършенстването на модула за построяване на разрези чрез възможността за проектиране и визуализация в равнината им (успоредно или при пресичане) на различни 3D обекти, като: точки; аутокадови блокове; линии; 3D полилинии; сондажи; полигони (solid). Изчертаване на проекцията на 3D векторите (пълно преместване) на реперите в предварително зададен мащаб и оцветяването им в различна цветова гама, според диапазона на преместване. Определяне на параметрите на пукнатината на опън (H90) и изчертаването ѝ в разреза.

АСМО ВП

Модул за проектиране на взривни полета. Основа на проекта е хоризонталното сечение, което преминава през средата на стъпалото.

Подходът предполага две обстоятелства – постоянна височина на полето и еднородни физико-механични свойства на скалите в обхвата на взривното поле. Границите за оконтуряването на ВП са наличната взривена маса, положението на стъпалото в края на отчетния период и проектната граница на полето. За основа се използва численият модел на стъпалата на открития рудник, което дава възможност за достатъчно точно изчисляване на площта (Маждраков и др., 2010). Проектирането се осъществява чрез интерактивна процедура (Фиг. 4), с която в диалогов режим специалистът може да въведе всички параметри и системата да изчертае автоматично проекта на взривното поле.



Фиг. 4. Построяване на взривно поле

АСМО Минно планиране

Модулът включва следните инструменти:

Оптимален брой на автосамосвалите за един багер.

Планира се оптималният брой автосамосвали, които да работят със съответния багер. Техният брой зависи от времето за изпълнение на един курс. Това време се определя от два вида показатели – такива, които не зависят от броя на автосамосвалите, и такива, които зависят. За оценка на устойчивостта на решението се прилага методът на стохастичното моделиране Монте Карло (Benov, 2016; Mazhdakov et. al., 2018). За оценката на решението се предлага показателят сумарно време за работа на автосамосвалите на празен ход.

Автоматизирано изчисляване на проектни средни транспортни разстояния за извоз на руда и откривка.

По предварително зададени пътна мрежа от пътни отсечки и кръстовища, товарни и разтоварни пунктове, полигони с обемите за изземване, програмата автоматично намира и изобразява най-краткия път от багера до разтоварния пункт, като графично и таблично изобразява:

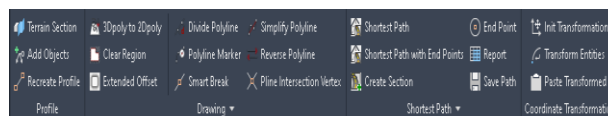
- пътните отсечки със съответните дължини;
- общата дължина на съответния маршрут.

Също така програмата автоматично изчислява средното транспортно разстояние за извоз на руда и откривка по хоризонти и общо за проекта.

АСМО CAD

Модулът съдържа допълнителни инструменти, които могат да бъдат използвани от широк кръг специалисти. Някои от тези инструменти представляват надграждане на съществуващи в AutoCAD инструменти. Такива са, например, наборът от редица функции за редактиране на полилинии (Фиг. 5), като: добавяне на върхове през еднакво разстояние или на пресечните точки на две полилинии; изчертаване на точки по върховете на полилиния; опростяване на полилиния чрез редуциране на върховете по метода на Дъглас-Пюкер; построяване на изпъкнала обвивка по алгоритъм „сканиране на Грегъм“ и др.

Други представляват комплексни модули, които могат да се комбинират според нуждите на специалистите за решаване на по-сложни или трудоемки задачи (Benov, 2016).



Фиг. 5. CAD инструменти

Допълнителни свойства на обекти. Това са параметри (атрибути) към обекти от модела (линии, полилинии, точки, блокове) или към самия модел, които се задават от потребителя. Параметрите могат да бъдат от различен тип: константа (напр. свободен текст или числова стойност) или формула. Тези параметри позволяват съхраняване на допълнителна атрибутивна информация към обектите, която може да бъде използвана за изчисляване на най-различни стойности. Например, такъв параметър, добавен към линия или полилиния, може да включва формула, в която участва дължината и/или площта на обекта и друг параметър константа. Разбира се, при редакция на обекта, изчисленият резултат от формулата се актуализира динамично. Допълнителните свойства се съхраняват в модела и могат да бъдат използвани за генериране на справки (например в Excel), които да спестят ръчното извеждане на необходимите данни от модела и последващата им обработка. Разработени са и функции за търсене на обекти по допълнителни свойства, размножаване (копиране) на свойства между различни обекти и др.

Допълнителните свойства намират приложение в множество задачи в отделните звена. Например, за целите на минното планиране, при изготвяне на месечен или десетдневен план, се създават проектни полигони, в които, като свойства (атрибути) са зададени: номер на хоризонта и багера, съдържание на мед, видове скали, формула за изчисляване на обема, предвиден за добив за периода и др.

Други приложения на допълнителните свойства са: за отчитане на наличната взривена минна маса по хоризонти, изчисляване на заетите от добива площи от съответните имоти в концесионната площ, изчисляване на проектни и фактически транспортни разстояния от товарен до разтоварен пункт.

Както беше споменато, след като специалистът приключи работата по изчертаването и редакциите на обектите (полилиниите), автоматично се генерират проектни и отчетни таблици.

АСМО GIS

Модулът ГИС включва инструменти като:

Трансформация на координати. Позволява да се трансформират цели модели или части от тях, като предоставя възможност на специалистите да заредят модел от базата от данни директно в избрана от тях координатна система или да копират обекти между модели в различни координатни системи (Маждраков и др., 2014). За улеснение при работа с модели в различни координатни системи, системата позволява настройка в базата от данни на параметрите за преход между използваните системи и създаване на свойство към модела (вж. по-горе), което да

указва конкретната координатна система. По този начин системата автоматично ще трансформира модела/модулите в необходимата координатна система при налагането им един върху друг или при копиране на обекти от един модел в друг.

Анализ на полигони. Откриване и изчисляване на припокритата площ от основен контур (полигон) с множество други контури (границы на имоти, взривни полета и т.н.)

Сравняване на две полилинии. Изследва се взаимното положение на две полилинии (например проектен и фактически ръб на стъпало) чрез задаване на граници (интервали) на отклонение, като спрямо зададените интервали отклоненията се оценяват процентно и се визуализират на модела.

АСМО Мобайл

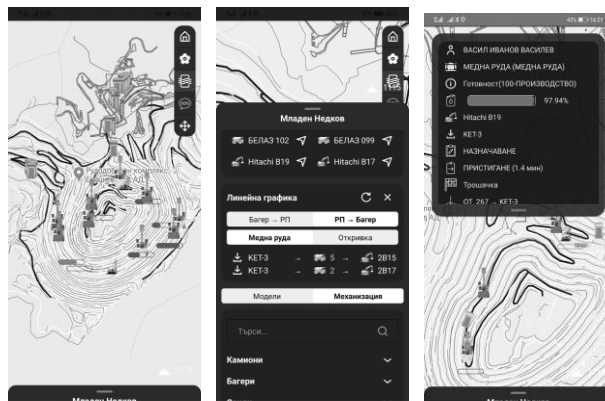
В XXI век всички ние сме оборудвани със смартфони, притежаващи такива функции, че да можем лесно да извършваме почти цялата работа и комуникация, която по принцип правим на персоналния си компютър. Тези устройства са подходяща информационна система за всички служители, работещи на терен. За да предоставим цялата текуща информация на мобилния телефон, комбинираме данните от автоматизираното управление на минното производство, минното планиране, сондирането, наблюдението на работната среда, маркшайдерските и геоложките дейности, и други (Недков, 2020).

Поради голямото количество от данни, които могат да бъдат използвани в приложението, интерфейсът му предлага възможност за избор на наблюдаваните обекти.

Мобилното приложение (Фиг. 6) използва данните за позициониране, които апаратът предоставя от вътрешния си GPS приемник, като позиционира и фокусира приложението директно в локацията, където се намира потребителят. Чрез използване на реалната позиция на телефона се активират или деактивират информационни услуги, част от приложението.

Позволява се зареждане на моделите от системата като слоеве върху картата, а чрез използване на данните от автоматизираната система за управление на минното производство на Modular Mining – Dispatch®, в реално време се изобразяват местоположенията на машините. Освен базовото позициониране, за всяка една машина се извежда и допълнителна информация за оператора ѝ, текущото назначение, скоростта, извършените курсове за смяната и други.

Приложението прави връзка с моделите от АСМО, системата за управление на добива от Modular Mining – Dispatch®, системата за прецизна навигация на багери и сонди, системата за измерване на качеството на въздуха, дава възможност за изпращане на централизирани съобщения до потребителите на приложението, има вградена функция за навигация в рамките на рудника и функция SOS. Достъпно е за операционни системи Android и iOS.



Фиг. 6. АСМО Мобайл

Заклучение

Във времето АСМО се превърна в основна система, която масово се използва от инженерите в рудника, управляващи процесите на минното производство. Това се обуславя най-вече от факта, че тази система е създадена конкретно за целите и начина на работа на инженерния персонал в рудник „Елаците“. На практика броят на работните места е неограничен. В момента броят на специалистите, които поддържат и използват информацията в моделите на системата, е от порядъка на сто.

Системата е от „отворен“ тип и постоянно се развива посредством програмирането на нови софтуерни модули и инструменти за моделиране и отчетност на процесите. АСМО Модул захранва с входна информация, както и обратно използва данни от софтуера за стратегическо минно планиране HxGN Mine Plan3D. Също така АСМО ежедневно осигурява необходимите входни данни за системите за оперативно управление на минното производство на Modular Mining – Dispatch® и ProVision®. Системата позволява лесен и бърз достъп на ръководния състав до актуалната информация в моделите.

Представена е добра практика на еволюцията на разработване и внедряване на собствена информационна система, базирана на широк комерсиален софтуер, осигуряваща конкретните професионални нужди при експлоатацията на открит рудник „Елаците“.

Литература

- Benov D. 2016. The Manhattan Project, the first electronic computer and the Monte Carlo method. *Monte Carlo Methods and Applications*, 22, № 1, 73-79.
- Ivanov I., G. Royalski, D. Benov. 2018. АСМО Module - An Information System for Structuring, Maintaining, Organising, and Storing Engineering Information in Open Pit "Ellatzite". *25th World Mining Congress*.
- Mazhdakov M., D. Benov. 2005. Automated system for markshader insurance (ASMI). *5th International Scientific Conference - SGEM2005*, 443-446.

- Mazhdrakov M., D. Benov, N. Valkanov. 2018. The Monte Carlo Method. Engineering Applications, АСМО Academic Press.
- Бенов Д. 2016. Създаване на числен модел на терена с използване на уеб картографски услуги за целите на проектирането на транспортни шумозащитни екрани. *Геомедия*.
- Бенов Д., М. Недков, И. Иванов. 2012. Специализирана САД система за условията на откритите рудници (MineCAD). *Трета национална научно-техническа конференция с международно участие “Технологии и практики при подземен добив и минно строителство”*, 231-234.
- Маждраков М., Д. Бенов, Г. Трапов. 2013. САДMin. Автоматизирано планиране на развитието на минните работи в откритите рудници. *Университетско издателство “Св. Иван Рилски”*, 206.
- Маждраков М., Д. Бенов. 2010. Алгоритъм и програма за разделяне на площи. *Геомедия*, 30-31.
- Маждраков М., Д. Бенов, В. Шишков, И. Иванов. 2014. Определяне на оптималния брой на автосамосвалите натоварвани от един багер в откритите рудници. *Четвърта национална научно-техническа конференция с международно участие “Технологии и практики при подземен добив и минно строителство”*, 84-87.
- Маждраков М., И. Иванова. 2014. *Геодезия 1. Обща геодезия*. 2 изд., Епископ Константин Преславски, 337.
- Маждраков М., И. Иванов, И. Василев, Д. Бенов. 2015. Методи за изследване на деформации в бордовете на открит рудник „Елаците“. *XIII Национална конференция с международно участие по открит и подводен добив на полезни изкопаеми*.
- Недков М. 2020. АСМО Mobile - Мобилно приложение за проследяване на производствените процеси в рудник „Елаците“ в реално време. *Национална научно-техническа конференция с международно участие „Автоматизация в минната индустрия и металургията“ БУЛКАМК*, 20.