

## ПАНДЕМИСКИ ИГРИ И СТРАТЕГИИ

---

*Невена Серафимова*<sup>1</sup>

Светот е исправен пред предизвиците на првата сериозна пандемија во вистински глобално поврзан свет. Најдени во една состојба на неизвесност, со многу непознати и неодговорени прашања, поединци, групи и глобални субјекти се обидуваат да ги најдат потребните одговори и да ги применат неопходните мерки. Не е тешко да разбереме дека преземените дејства подразбираат комплексна организација и координација на неколку нивоа. Државите, областите и регионите се налик на сврзани садови и ако некој од нив ја загуби контролата над ситуацијата, опасноста ќе се пренесе на други места. Така, богатите и развиени земји сфаќаат дека индивидуалните напори не се доволни и дека една навидум стабилна состојба може бргу да се влоши ако се појават сериозни епидемии во соседството, во неразвиени земји или области, или пак во случај на интензивна сообраќајна размена со ризични подрачја. Ова подразбира дека е потребна соработка (кооперативност) и не само координација за решавање на настанатите проблеми.

Среде една, наизглед хаотична ситуација, и науката се обидува да помогне и да одговори на дел од прашањата. Но тоа не е воопшто лесно, земајќи предвид дека сериозните епидемии се ретки настани и едноставно нема доволно податоци од кои ќе се извлечат статистички значајни заклучоци. Голем број од почетните прогнози околу времетраењето и обемот на епидемијата во кои беа применети некои од познатите епидемиолошки модели, се покажаа како неточни. Оттука, се чини, најдобриот увид во моментот може да биде чисто теоретскиот, дополнително поткрепен со постоечки експериментални резултати.

Согледувајќи ја природата на специфичните епидемски појави со кои сме соочени, ќе дојдеме до заклучокот дека теоријата на игри може да биде ефикасен пристап за нивно моделирање. Таа има веќе богата историја на примена во социјалните науки, каде служи како еден вид рамка за опишување на однесувањето на поединците. Кога станува збор за пренесување на инфективни болести, овде ги среќаваме таканаречени „игри на вакцинирање“ и „епидемските игри на социјално дистанцирање“. За

учесниците во ваквите игри главно се смета дека имаат совршена информација за болеста и за ефикасноста на превентивните мерки. Потоа, се претпоставува дека тие ги користат овие информации за максимизирање на сопствената добивка, споредувајќи ги притоа очекуваните трошоци предизвикани од инфекцијата со очекуваните трошоци од преземените превентивни акции.

Постоечката литература која се однесува на употребата на теоријата на игри за моделирање на однесувањето во време на епидемија, може да се класифицира според неколку критериуми: според моделот на популација кој може да биде класичен (во облик на множество) или поврзан (мрежен), според зачестеноста на играта (не се повторува или се повторува) и на крајот, според начинот на усвојување на стратегиите (самостојно учење или имитација). Изборот на модел може да зависи од многу фактори како што се: големината на популацијата, интензитетот на внатрешните интеракции, нивото на постигнатиот имунитетот, достапните мерки за надминување. Додека во раните истражувања повеќе е застапен класичниот модел на индивидуално учење во игри, во последниве години се забележува значителен пораст на мрежните модели на игри на имитација, [3]. Моделите на игри за кои подолу ќе зборуваме спаѓаат во категоријата на класични популациски модели кај кои, со оглед на тенденцијата за повторување, може дополнително да биде вграден и елемент на учење.

## 1. РЕАФИРМИРАЊЕ НА СОЦИЈАЛНИТЕ ДИЛЕМИ

На 6 септември 2018 година, пилотот на авионот кој летал од Дубаи до Њу Јорк, со вкупно 520 патници, до контролата на летање на аеродромот Кенеди во Њу Јорк пријавил дека повеќе лица се жалат на симптоми кои се поврзани со грип: силна кашлица, главоболка, болка во грлото, грозница. Веднаш по слетувањето авионот е ставен во карантин и е извршена контрола на околу 100 патници, од кои десетмина, меѓу кои седум членови на посадата, се хоспитализирани. Причината за ова е јасна: меѓународниот превоз може да доведе до брзо ширење на опасни заразни болести во разни краеве на светот. Но сепак, приземјувањето на авионите, или дури и целосно ограничување на движењето не секогаш е најдобрата стратегија во вакви ситуации, а причината за тоа не се само економските

импликации кои со тоа ќе бидат предизикани. Кога е во прашање здравјето, она што е најдобро за некој поединец може да не биде најдобро за широката популација, и обратно. Ако при одлучувањето не бидат опфатени сите аспекти, одлуките кои ги носат авторитетите во време на епидемија (или пандемија) може не само да не ги дадат очекуваните резултати, туку и да бидат извор на нови проблеми.

Решавањето вакви и слични дилеми, во кои крајниот исход зависи од тоа како сите припадници на некоја група или популација се однесуваат, може да биде помогнато од теоријата на игри. Имено, проблемот настанува поради тоа што одделен играч не може да ја утврди својата оптимална стратегија, без да знае како ќе се однесуваат останатите во групата. Типичниот одговор кој го дава теоријата на игри е познат како *Нешов еквилибриум* и претставува состојба во која секој го остварува својот оптимум, сè додека ниту еден од другите учесници во играта не отстапува од својата стратегија. Речиси и да не постои интеракција која не може да биде опишана како теоретска игра: таков е случајот и со интеракцијата меѓу инфективните агенси и популациите.

Појавата и ширењето на SARS-CoV-2 предизвика, како никогаш претходно во историјата, глобални политички акции на ограничување на движењето, наметнување на карантин, самоизолација, социјална дистанца и мерки за самозаштита. И покрај тоа што не е едноставно да се направи емпириска оценка на учинокот на овие мерки, извесно е дека тој учинок е директно поврзан со социо-економската цена на преземените акции, по вид и по обем. Ова ја отвора вратата за моделирање на дејството и придружните ефекти од ширењето на оваа, или некоја друга пандемија, во облик на теоретска игра. Конкретно, игрите кои најдобро ги отсликуваат социјалните интеракции се најчесто таканаречените *социјални дилеми*.

Социјалната дилема произлегува од конфликтот меѓу личната и колективната рационалност, при што групата има заедничка цел (исход) а секој нејзин припадник треба да одлучи дали да го даде својот придонес. Во реалноста, социјалните дилеми се екстремно вообичаени ситуации со коишто постојано се среќаваме. Како модел на интеракција, може да се препознаат според следниве карактеристики:

- Иако за сите е подобро ако сите соработуваат (придонесуваат), за секој поединец е секогаш подобро да не соработува;
- Личниот придонес нема да влијае на конечниот исход.

Основниот проблем кај социјалните дилеми е во тоа што тензијата која се јавува помеѓу она што е краткорочно добро за поединецот (еднократна игра) и долгорочните интереси на групата (повторена игра), може да дојде до израз дури во подоцнежните фази, кога негативното влијание веќе зело замав. Ваквата тензија ја потхранува неповолната позиција на личниот влог, во однос на добивките за групата. Како илустрација, да претпоставиме дека некој одлучил да вложи одредена сума за исплата на националниот долг. Јасно, таа сума може да значи многу за поединецот, но да е незначителна за државата. Значи, не се работи само за некоја претпоставена себичност, туку за фактот што останатите припадници на заедницата добиваат малку од некој поединечен придонес, во споредба со истовремената загуба која ќе ја претрпи оној кој придонесува. Во вакви околности, индивидуалната одлука за *бесплатно возење* т.е. непридонесување но истовремено користење на добивките од она што го прават останатите, се чини рационална.

Од аспект на теоријата на игри, социјалната дилема подразбира општествен модел на интеракција во кој некооперативната добивка на поединецот ја надминува кооперативната добивка во заедницата. Но истовремено, ако поголемиот дел од заедницата не соработува, сите завршуваат со послаб резултат. Предизвикот кој произлегува од различните ситуации кои се познати како социјални дилеми, најчесто е искажан преку некоја од игрите со позитивна сума. Овие игри се специфични по тоа што имаат *вин-вин* исход, каде што ниту една од страните не добива повеќе на сметка на другата. Оттука, рационалниот играч може да игра во своја корист, но и во корист на противникот, избирајќи опција од која и другиот играч ќе профитира. Решенијата со позитивна сума се поверојатни во ситуации кои се под влијание на повеќе различни интереси, [8].

Во стратегиската интеракција со SARS-CoV-2 (или кој било друг пренослив агенс чие што ширење треба да се ограничи), играчи се вирусот од една и популациите од друга страна. Креаторите на политики ги утврдуваат правилата на игра со кои треба да се регулира интензитетот на интеракција. Добивката за вирусот е јасна: тој се обидува да зарази

колку што е можно повеќе единки. Добивката за популациите е посложена, со оглед на тоа дека содржи и здравствени и економски компоненти. Во рамки на комплексните општествени односи, индивидуалното однесување е раководено од личните преференции, кои пак зависат од различни типови на ризици. Иако севкупната реална слика е навистина тешко да се опише во рамки на теоријата, накратко, ќе сметаме дека ширењето на епидемиите е поврзано со индивидуалните економски трошоци предизвикани од мерките на јавното здравје, во комбинација со реалниот ризик од инфекција.

Со оглед на тоа дека доаѓа до повеќекратни интеракции во одреден временски интервал, играта меѓу еден вирус и популацијата може да ја сметаме за *повторена*, т.е. игра која се случува повеќе пати при што правилата, играчите, стратегиите и добивките остануваат исти. Во вакви случаи, се создаваат нови можности за интеракција меѓу учесниците и за прилагодување на нивниот избор на стратегии, бидејќи тие имаат прилика да учат од она што претходно се случувало но и да испраќаат одредени пораки преку изборот на стратегии. Она што притоа е од интерес е состојбата на еквилибриум (т.е. теоретски поткрепениот рационален исход), како и добивките на играчите во една таква ситуација. Што се однесува до стратегиите што се на располагање, тие може да се опишат преку два типа на активности: мерки за контрола на состојбата и мерки за надминување.

**Стратегии за контрола.** Ограничувањето на меѓусебните директни контакти може да ја намали брзината на ширење на одреден вирус во дадена популација. Дел од акциите кои притоа може се преземат, како што се личните заштитни мерки (покривање на устата и носот, личната хигиена и здрави навики, одржување на минимално меѓусебно растојание) имаат мал економски трошок за поединецот и можат лесно да се применат. Но, тоа не е случај со друг тип на акции кои по правило се институционално наметнати. Строгите наредби за останување во домовите и затворање на одредени бизниси предизвикуваат сериозни економски штети, пораст на невработеноста и намалени примања. Во вакви околности, недостатокот на социјална поддршка од страна на државата со која би се ублажил економскиот удар, може да предизвика натамошно ширење на епидемијата во загрозените групи. Во општества во кои

пристапот до социјална помош е ограничен, граѓаните се принудени да балансираат помеѓу наредбите за останување дома и финансиската штета која поради тоа ја претрпуваат, што директно влијае на ефективноста на оваа мерка.

Врската помеѓу мерката на ограничено движење и нејзината социјална поткрепа, изразена преку веројатноста за согласност со целосното затворање, е еден од повеќето елементи кои се користат во моделирањето на ефектите од политиките поврзани со пандемијата предизвикана од SARS-CoV-2. Така, на пример, ефектот од целосно затворање може да се моделира со фактор на несогласување, кој ја рефлектира замореноста од долготрајно останување дома и тенденцијата за излегување, со што се зголемува ширењето на инфекцијата. Но, ефектот на затворање може да произлезе и од лични одлуки за самоизолација. Притоа, врз личните одлуки може да влијае она што се случува во остатокот од популацијата, па оттука имитационата динамика од еволутивната теорија на игри може да послужи како соодветен модел за опишување на процесот на одлучување т.е. изборот на стратегии.

**Стратегии за надминување.** Надминувањето на опасноста од некој инфективен агенс може да се постигне преку негово исчезнување или (поверојатно), преку обезбедување на ефикасен одговор на неговите напади. Јасно, дел од мерките за надминување ги сочинуваат достапните третмани за оние кои ќе развијат симптоми на болест. Сепак, за нови инфекции ефикасните третмани може да се непознати, или пак недостапни за пошироката популација како резултат на ограниченост на количините или на (не)подготвеноста на државите навремено да ги обезбедат. Оттука, земајќи предвид дека спонтаното исчезнување на вирусите е временски непредвидливо, како и некои други докрај неразјаснети особености поврзани со нивната природа и однесување, еден од начините за брзо постигнување на колективен имунитет на популациите (т.н. имунитет на стадо) е достапноста на ефикасна вакцина.

Дилемата околу вакцините произлегува од конфликтот кој постои помеѓу здравствениот бенефит (заштита од болест) и негативните импликации (несакани ефекти, финансиски трошок, страв од инјекции). Значи, секој што размислува дали да се вакцинира или не, треба да ги соочи и измери фактите на двете страни и да донесе некаква одлука.

Грипот, на пример, може да биде смртоносен, така што финансискиот издатоk поврзан со вакцината е мал во споредба со цената на животот и ова најчесто нема да биде пречка во одлуката кај оние кои што сметаат дека се загроени. Но од друга страна, ако речиси сите останати во популацијата се вакцинираат, шансите дека поединецот и неговото семејство ќе дојдат во контакт со инфекцијата се речиси нула и со тоа, поттикот за вакцинирање (и изложување на трошоци од различна природа) исчезнува. Во таква ситуација, невакцинирањето е подобра одлука. Проблемот со ова размислување е во тоа што, ако секој размислува на ваков начин, тогаш никој нема да се заштити. Ова може да доведе до избувнување на заразата и семејството од претходно, но и целата популација, повторно ќе бидат изложени на ризик. Теоријата на игри објаснува дека во вакви ситуации, најдобрата стратегија на поединецот може да биде во конфликт со оптималната стратегија на целата група. Како последица, ширењето на инфекцијата понатаму ќе биде определено од сфаќањата за ризикот поединците, од една страна и однесувањето на групата како целина, од другата страна.

Како резултат од акциите (стратегии) кои ќе бидат преземени, може да се набљудува доминација на одредено однесување во дадена популација. Во оваа смисла, да учиме дека под однесување ги подразбираме последиците од личниот доброволен избор т.е. исклучуваме мерки како затворање на училишта или задолжителна вакцинација, но може да вклучиме организирани мерки како подигнување на свеста или едукативни кампањи за превенција. Индивидуалното однесување е изразено преку одлуката да се преземе (или не) некоја од мерките за контрола (на пример, социјално дистанцирање) или надминување (вакцинирање, стекнување колективен имунитет).

## 2. ТРАГЕДИЈА НА СЛИЧНИТЕ

Една од класичните ситуации во теоријата на игри е поврзана со користење на заеднички ресурс од страна на неколку играчи, при што достапноста на тој ресурс во иднина ќе зависи од севкупниот однос на играчите кон него. Така на пример, дали ќе има доволно храна или лекови во продавниците зависи не само од нашето, туку и од однесувањето на поголем дел од купувачите. Но, ако луѓето се однесуваат панично и

ги исцрпуваат постоечките залихи, тогаш социјалната одговорност на некој поединец е од мало значење.

Според социјалната психологија, постојат два главни мотива за себично однесување: алчност и страв. Кога дејствува од позиција на алчност, поединецот е незаинтересиран за потребите на другите и зема сè што смета дека е од корист. Стравот, од друга страна, е покомплициран, бидејќи кога се во состојба на страв, поединци можеби сакаат да се однесуваат социјално одговорно, но се плашат дека останатите нема да се однесуваат на истиот начин. Така, ако одлучат да се воздржат од купување додека останатите ги празнат полиците, ќе завршат со најлошиот можен исход (т.н. *добивка на наивниот*). Верувањето дека другите дејствуваат себично, честопати може да ги влоши ваквите склоности кај другите.

Истражувањата сугерираат на неколку пристапи со кои може да се охрабри општествено одговорно однесување, што во случајов би значело намалување на акумулацијата на ресурси за лична употреба. Еден од методите може да биде нагласување на чувствата на сродство помеѓу купувачите. Согледувањето на другите како слични на нас обично ја зголемува соработката. Друг метод е потиснување на идејата за панично купување. На пример, помалку написи во весниците во кои се истакнати голи полици ќе ја намали загриженоста околу завршувањето со „добивка на наивниот“. И додека активностите на трупање на залихи може да доведат до уште поголемо трупање, спротивното е исто така точно: делата на дарежливост можат да ги зголемат социјално совесните тенденции и да промовираат соработка.

*Трагедија на сличните* е познат концепт од економијата (Гарет Хардин, Адам Смит), кој се однесува на ситуација во која поединците исцрпуваат некој заеднички ресурс, доведувајќи со тоа до прекумерно производство и можен целосен недостаток. Кога ги набљудуваме во нивната верзија со повеќе од два играчи, *Затвореничката дилема* и *Играта на гласање* може да се анализираат како посебни случаи на *Трагедијата на слични*. Во *Затвореничката дилема*, на пример, теоретското решение има силна рационална поткрепа бидејќи произлегува како еквилибриум на строго доминантни стратегии (т.е. стратегии кои секогаш даваат подобра добивка од онаа којашто ја обезбедуваат останатите



расположливи стратегии), но е истовремено строго субоптимално (т.е. постои подобар исход за сите). Како резултат на ова, добивката на секој играч во еквилибриумскиот стратегиски профил е пониска од добивката во низа други профили, како што е на пример профилот во кој сите соработуваат, но исто така и во некои мешани стратегиски профили во повторената игра. Значи, постојат начини на игра кај кои добивките се строго преферирани од сите, во однос на добивките во еквилибриум. Ова нè доведува до основната поента на *Затвореничката дилема*, а тоа е дека индивидуалната рационалност води кон колективна рационалност и во случај на постоење на некој единствен контролен механизам, изборот на стратегии би се разликувал од еквилибриумскиот. На некој начин, доаѓаме до одредено обопштување на метафората опишана со *Затвореничката дилема*, на слична ситуација со поголем број играчи.

Во *Трагедиите на слични*, секоја личност може да избере или да придонесе или да се вози бесплатно. Оној кој придонесува има трошок  $c$  за придонес, што може да биде времето кое го поминува во преземање на некоја акција (на пример, да појде на лекар), доживување на одредена непријатност (социјална дистанца, вакцинирање) или некој финансиски издаток (за средства за заштита или друго). Од друга страна, лицето кое се вози бесплатно, не сноси такви трошоци. Интервенциите како вакцинирање, социјална дистанца или изолација, создаваат позитивни надворешни ефекти, т.е. придобивки за оние кои не учествуваат во таа интервенција, бидејќи дејствата на останатите во заедницата го прекинуваат пренесувањето на инфекцијата. На ваков начин се создава расчекор меѓу оптималните лични стратегии со кои се максимизира личниот интерес, и стратегиите кои се корисни за групата бидејќи со нивната примена се минимизира севкупниот здравствен товар врз популацијата.

Да претпоставиме дека одредена не-ривалска, не-исклучувачка добивка се однесува на сите поединци во играта, кога (некои) луѓе придонесуваат за колективното добро. Големината на добивката  $V(m)$  за секој поединец зависи од вкупниот број на „соработници“  $m$ . Претпоставуваме дека  $V(m)$  е растечка и (слабо) конкавна функција во однос на бројот на соработници, што всушност значи дека ќе постигне одредени максимални вредности за некое  $m$ .

Бидејќи добивката е не-ривалска (што значи, вкупниот износ на достапната корист е поделен на сите поединци) и неисклучувачка (никој не може да биде спречен да ужива во неа), добивката  $U(a)$  за секое лице што презема акција  $a$  ќе биде:

$$U(a) = \begin{cases} B(m) - c & \text{ако } a \text{ е „придонесувам“} \\ B(m-1) & \text{ако } a \text{ е „слободно возење“} \end{cases}$$

Ако зголемувањето на вкупната добивка (со оглед на тоа што придонесуваат и  $m-1$  останати) кое е генерирано од придонесот на поединецот е помало од неговиот придонес  $c$ , тогаш за него е индивидуално „оптимално“ да се вози бесплатно. Еквилибриумот се постигнува за најмалото  $\tilde{m}$  така што важи:

$$\frac{dB(\tilde{m}+1)}{dm} < c.$$

Да забележиме дека слободното возење не е нужно доминантна стратегија (т.е. стратегија која секогаш носи поголема добивка во споредба со останатите стратегии). Попрво, нивото на придонеси во Нешов еквилибриум зависи од функцијата на добивка (бенефит)  $B(m)$ . Ако, на пример, првиот играч даде доволно голем придонес:

$$\frac{dB(0)}{dm} > c,$$

тогаш ќе постои некооперативен (т.е. Нешов) еквилибриум во кој барем неколку други играчи ќе придонесуваат.

Ефикасното ниво на придонес, т.е. социјалниот оптимум, е најмалиот број  $m^*$  таков што важи:

$$\frac{dB(m^*+1)}{dm} < \frac{c}{n}.$$

Трошокот од десната страна е поделен со  $n$ , бидејќи бенефитот е поделен помеѓу  $n$  учесници. Ако  $B(m)$  е конкавна функција, тогаш  $m^* > \tilde{m}$ , што е суштината на проблемот на колективна акција: премалку луѓе придонесуваат, или премногу луѓе прекумерно го трошат заедничкиот ресурс.

Суштината на проблемот, од економско-правен аспект, некои го гледаат во недоволно или лошо заштитени сопственички права. Други пак сметаат дека ваквото гледиште е премногу песимистично и дека воведувањето на формални сопственички права може да донесе повеќе негативни од позитивни ефекти. Ова е потврдено и со голем број примери на успешно управување од страна на заедницата, како и низ лабораториски експерименти во кои учесниците покажуваат „условна соработка“ преку личен значаен придонес, заедно со организирање мониторинг и воведување на санкции за прекршувачите, [4]. Аналогно во однос на прашањата поврзани со заштитата на јавното здравје, до израз доаѓа тензијата помеѓу личните права, од една и интересите на групи и заедници, од другата страна.

### 3. ИГРАТА НА НАЈСЛАБА АЛКА

Во литературата, пандемиите често пати се поврзуваат со *играта на најслаба алка*, која овозможува опис на специфични проблеми поврзани со јавните добра, [5]: оној што најмалку придонесува го одредува вкупниот резултат за сите. На пример, во [1] се разгледани стратегии за искоренување на сипаници и други заразни болести, при што е земена статична игра (еднократна интеракција) со чисти стратегии и симетрични играчи (сите земји имаат исти стратегии и функции на добивка). Секоја земја избира ниво на вакцинација, со знаење дека постои критично ниво над кое во нејзините граници, болеста ќе биде елиминирана. Но, во оваа игра може подеднакво да бидат користени и стратегии за контрола, земајќи ги предвид, на пример, достапноста и сигурноста на ефикасни вакцини.

Нека функцијата на добивка на играчот  $i \in N$  е дадена со  $\Pi_i(Q, q_i) = B_i(Q) - C_i(q_i)$ , каде што  $Q = \min_{i \in N} \{q_i\}$  го означува нивото на обезбедено јавно добро, еднакво на минималното ниво на обезбедување над множеството од сите играчи и  $q_i$  го означува индивидуалното ниво на обезбедување (учинок, придонес) на играчот  $i$ . Во нашиот контекст, јавното добро е интензитетот и квалитетот на контролата на вирусот. Бенефитите  $B_i(Q)$  зависат од најмалиот придонес, а трошоците  $C_i(q_i)$

зависат од индивидуалниот придонес на  $i$ . Општо теоретски, се смета дека бенефитите (добивките од играта) се конкавни, а трошоците стриктно конвексни функции, така што функцијата на добивка да е стриктно конкавна, со единствен внатрешен максимум од аспект на играчот  $i$ . Овој максимум, кој го означуваме со  $q_i^A = \max \Pi_i(Q, q_i)$ ,  $i \in N$ , може да го набљудуваме како оптимално ниво на обезбедување во состојба на *автархија* (неограничено централизирано владеење) т.е. изедначување на максималната добивка со минималниот трошок,  $B_i'(q_i^A) = C_i'(q_i^A)$ . Општо земено, ако функциите на добивка и на трошок се различни за различни држави, нивоата на обезбедување на автархијата најверојатно ќе бидат различни. Оттука, државите може да ги подредиме согласно нивното ниво на автархија:

$$q_{\min}^A = q_1^A \leq q_2^A \leq \dots \leq q_n^A.$$

Ќе го дефинираме концептот на решение на играта на најслаба алка, повторно како Нешов еквилибриум: стратегиски профил во кој ниту еден од играчите не е еднострано поттикнат да ја промени сопствената стратегија, бидејќи со тоа би имал стриктно помала добивка.

Да го означиме со  $Q_{-i, \min}$  минималното ниво на обезбедување за сите играчи освен  $i$ . Тогаш, оптималниот одговор на  $i$  е да одговори на  $Q_{-i, \min}$  сè додека е исполнето  $Q_{-i, \min} \leq q_i^A$ . Со оглед на тоа дека добивките се конкавни, секое ниво на обезбедување под  $Q_{-i, \min}$  ќе имплицира пониска  $Q_{-i, \min}$  добивка за  $i$ . Истото важи за било кое ниво на обезбедување над  $Q_{-i, \min}$  бидејќи тоа ќе содржи само дополнителни трошоци, но без дополнителен бенефит за  $i$ . Од друга страна, за секое ниво  $Q_{-i, \min}$  над нивото на автархија ( $Q_{-i, \min} > q_i^A$ ),  $i$  ќе се држи до  $q_i^A$  бидејќи не може да биде приморан да придонесе повеќе од тоа. Значи, играчот  $i$  одговара на сите нивоа на обезбедување до нивото  $q_i^A$ . Според тоа, сите нивоа на обезбедување за кои  $q_i = q_j$  за сите  $i, j \in N$  од нула па до  $q_{\min}^A$ , се Нешов еквилибриум. Имајќи ја предвид конкавноста на функциите на добивка, Парето-оптимален Нешов еквилибриум (каде никој не може да

добие стриктно повеќе со промена на стратегијата, без притоа да ги загрози добивките на останатите), ќе се добие кога сите играчи ќе се изедначат со  $q_{\min}^A$ . Имено,  $q_{\min}^A = q^* = q_i^* = q_j^*$ , за сите  $i, j \in N$ ,  $i \neq j$ .

Во случај на симетрична игра, каде сите играчи ги имаат истите функции на бенефит и трошоци, важи  $q_i^A = q_j^A$  за сите  $i, j \in N$ ,  $i \neq j$ . Во овој посебен случај, Парето-оптималниот Нешов еквилибриум е идентичен со социјалниот оптимум. Оттука, во отсуство на било какви идни компликации, за постигнување на оваа еквилибриумска состојба нема потреба од соработка, туку е потребна само координација. Со оглед на тоа дека во ситуации на пандемија интересите на инволвираните страни се совпаѓаат, ова би требало да е лесно. Но она што е на пример интересно, е дека експерименталните докази не го поткрепуваат овој заклучок, [2].

Кога сакаме да опишеме некоја реална ситуација, сепак, потребно е да вклучиме претпоставка за асиметрија и тогаш координацијата нема да биде доволна. Имено, ако играчите ги посматраат бенефитите на различен начин и се соочуваат со различни трошоци, тогаш и нивните нивоа на автархија ќе бидат различни. Со други зборови, тие ќе имаат различни преференци во однос на оптималното ниво на обезбедување и тогаш, дури и ако оптимистички претпоставиме дека сите ќе се усогласат околу Парето-оптималниот Нешов еквилибриум, ова нема повеќе да биде социјалниот оптимум. Може да се покаже дека социјално-оптималното ниво на обезбедување се наоѓа помеѓу минималното и максималното ниво на автархично обезбедување, земени над сите играчи и оваа разлика може да е многу голема. Според тоа, потребна е соработка, а не само координација за да се надминат, или барем да се ублажат загубите на глобалната благосостојба кои се создадени од некооперативното однесување на играчите.

#### 4. ЕКСПЕРИМЕНТИ И РЕЗУЛТАТИ

Дилемите кои се наметнати од играта на најслаба алка се испитувани низ неколку експерименти, во кои најчесто се користат претпоставки за поедноставување на функција на добивка (линеарност) и нивото на обезбедување (дискретност). Во Табела 1 се прикажани резултатите од

експериментот опишан во [9], во кој се разгледуваат седум нивоа на обезбедување, т.е. преземени мерки за зголемена безбедност и се соодветно дадени добивките на еден играч (во нашиов случај, држава или регион), согласно нивото на обезбедување кое го избрал (одговара на редиците во табелата) и минималното избрано ниво меѓу сите играчи (дадени во соодветна колона).

Стратегија претставува изборот на *ниво на придонес*, односно во случајов, избор на број. Во нашиот контекст на пандемии, ова имплицира сумирање на различните степени на интензитет и квалитет на контрола на вирусот, во множество од дискретни акции. На пример, ако играчот избере најголем број 7 (прва редица) и притоа сите играчи изберат 7 (прва колона), тој ќе заработи 130. Меѓутоа, ако е најмалиот избран број од другите е 6 (втора колона), тој ќе заработи само 110. Повторно во нашиот контекст, дури и ако земјата  $i$  одбере максимално можно ниво на контрола на вирусот, ако другите земји не ја следат истата стратегија, постои ризик инфекцијата на крајот да влијае на  $i$ , и ова влијание ќе биде поголемо колку што е помал најмалиот број избран од страна на другите земји.

Избран број	Најмалиот број избран од останатите						
	7	6	5	4	3	2	1
7	130	110	90	70	50	30	10
6		120	100	80	60	40	20
5			110	90	70	50	30
4				100	80	60	40
3					90	70	50
2						80	60
1							70

Табела 1. Стратегии и добивки во играта на најслаба алка, [9].

Целокупниот Нешов еквилибриум лежи на дијагоналата во Табела 1, а Парето-оптималниот Нешов еквилибриум е сите играчи да изберат 7. Во дадена редица, сите записи десно од дијагоналниот влез подразбираат помала добивка на  $i$ , бидејќи другите играчи избираат помал број.

Колку е поголема разликата помеѓу сопствениот број и минималниот број на сите останати, толку поголема ќе биде загубата. Според тоа, ризикот од загуба на  $i$  ќе се зголемува со бројот кој ќе го избере и притоа, единствена добивка која може да ја обезбеди е 70, во случај да го избере најниското ниво на придонес 1.

Направени се и дополнителни експерименти за добивките од Табела 1, при што е анализиран не само минималниот број како што е опишано погоре, туку и просечната вредност на избраните нивоа, што може да се смета како претставување на просечниот степен на координација. Резултатите од овие експерименти ги потврдиле претходните анализи, а дел од заклучоците во врска со стратегиите и однесувањето во услови на глобална опасност од ширење на инфективни болести, се следните, [2]:

– Во повторената игра на најслаба алка, просечниот и минималниот број опаѓаат со бројот на играни рунди.

– Со повторување на играта, просечните броеви се приближуваат до вредности под 2, а минималните броеви брзо се приближуваат до вредностите близу 1.

Што се однесува до координацијата на Парето супериорни исходи, таа не е лесна и едноставна како што предвидува теоријата, која поаѓа од претпоставката дека играчите не грешат. Кога се работи за справување со опасноста од глобално ширење на пандемии, неколку експериментални студии покажале дека ефектите од ова можат да бидат ублажени од активности како, на пример, изолација од соседните држави, воведување на финансиски стимулации, намалување на трошоците за вложениот напор или користење на совети од играчи кои играле во претходните рунди. Во однос на нивната важност за кризата со SARS-CoV-2, исклучувањето на соседите е веројатно најрелевантната стратегија. Имено, утврдено е дека кога на играчите им е дадена можност да ги исклучат оние кои се најслаба алка од групата со која го делат јавното добро, може да се постигне првиот најдобар исход, [7]. Многу земји, вклучувајќи ја и Европската унија како меѓународен субјект, го ограничија или го суспендираа патувањето од други земји. Сепак, се поставува прашањето колку ќе биде ефективна таквата стратегија на долг рок, во нашиот глобално поврзан свет. Натаму, советите од играчи кои претходно ја играле играта може да имаат улога на почетокот на пандемијата, бидејќи

регионите кои биле погодени подоцна може да учат од искуството на регионите каде претходно се појавил вирусот. Во актуелната ситуација, овој елемент беше делумно суспендиран од недостатокот на меѓународна координација и соработка, бидејќи многу земји ги затворија своите граници и воведоа ограничување на извозот на здравствената опрема и заштитни средства. Во однос на воведувањето на финансиски стимулации или намалување на трошоците за вложениот напор, ова се чини остварливо само во рамки на некој вид на институционализирана меѓународна соработка. Но, за да може да се спроведува стабилно и одржливо во текот на времето, привремената и ад хок соработка нема да е доволна, туку потребен е ангажман на соодветни меѓународни институции.

Со цел да се објасни неуспехот во координацијата кај симетричните добивки во експериментите, може да се разгледа *еквибриум на квантален одговор* (QRE) што е всушност Нешов еквибриум во мешани стратегии засновани на функцијата за веројатен избор [6]. Идејата е дека одлуките се случајни (стохастички), сите акции имаат позитивна веројатност и притоа веројатноста за избор на неоптимални акции е обратно пропорционална на можната загуба. Оттука, играчите претпоставуваат дека и тие и останатите може да направат грешки, кои можат да бидат незначително мали но со ненулта веројатност, додека веројатноста за „скапи“ грешки е помала од онаа за „евтини“ грешки. Чувствителноста на играчите на грешки се мери со таканаречен „параметар на грешка“  $\lambda$ : поголемите вредности на  $\lambda$  имплицираат поголема чувствителност на грешки и ги прават не-оптималните избори помалку веројатни. Кога  $\lambda = 0$ , изборот се прави целосно случајно, а за  $\lambda \rightarrow \infty$  изборот е совршено рационален.

Главната идеја зад QRE е да се заменат прекумерно прецизните функции за најдобар одговор од Нешовиот еквибриум, со „измазнети“ најдобри одговори кои се непрекинати и растечки во однос на очекуваните добивки. Со други зборови, QRE воведува *подобра* наместо најдобра реакција (одговор) од страна на играчите: тие имаат поголема веројатност да изберат стратегии со повисоки очекувани добивки, но не секогаш ја избираат стратегијата со највисока очекувана добивка. Покрај тоа, играчите сфаќаат дека и другите го прават истото, односно очекуваат непредвидливост (шум) во нивното однесување. На ваков начин, се



дозволува секоја стратегија да биде играна и со тоа, можни се сите (дури и нерационални) исходи.

## 5. НЕКОИ ТЕОРЕТСКИ РЕШЕНИЈА: ДОГОВОРИ, КОАЛИЦИИ

Проблемите кои се производ на играта на најслаба алка може да се надминат преку склучување на договори и нивно почитување. Да претпоставиме дека играчите имаат можност да се приклучат на одреден договор и дека се асиметрични (бидејќи во спротивно, договорите се непотребни во свет без грешки). Во првата фаза, тие одлучуваат дали да се приклучат на договорот или да останат надвор од него. Ова доведува до коалициска структура  $C = \{S, k, \dots, m\}$  во која постои коалиција  $S$  од некое подмножество од сите играчи и дополнително, некои самостојни играчи, во случај кога  $S$  не е големата коалиција (составена од сите играчи). Во втората фаза играчите ги избираат своите нивоа на придонес.

Се претпоставува дека коалицијата дејствува како еден играч па оттука, обезбедувањето ќе следи од максимизирањето на агрегираната добивка над сите членови на коалицијата, што води до условот од прв ред:

$$\sum_{i \in S} B_i'(q_S^A) = \sum_{i \in S} C_i'(q_S^A).$$

Нивоата на оние кои не се членови на коалицијата се исти како и без договорот. Како и претходно, сите нивоа на обезбедување т.ш.  $q_S = q_k = \dots = q_m$ , од нула до најниското ниво на автархија  $q_{\min}^A = \min\{q_S^A, q_k^A, \dots, q_m^A\}$ , се Нешови еквилибриуми, при што Парето-оптималниот еквилибриум се добива кога коалицијата  $S$  се формира согласно  $q_{\min}^A = q^*(S) = q_S^* = q_k^* = \dots = q_m^*$ .

Да претпоставиме дека сите играчи, вклучително и  $S$ , можат да се координираат на овој Парето-оптимален Нешов еквилибриум. Соодветните добивки ќе бидат  $\Pi_1(q^*(S)), \Pi_2(q^*(S)), \dots, \Pi_n(q^*(S))$ . Коалицијата  $S$  ќе биде стабилна ако истовремено важи:

$$\begin{aligned} \Pi_i(q^*(S)) &\geq \Pi_i(q^*(S) \setminus \{i\}), \quad \forall i \in S, \text{ внатрешна стабилност и} \\ \Pi_j(q^*(S)) &\geq \Pi_j(q^*(S) \setminus \{i\}), \quad \forall j \notin S, \text{ надворешна стабилност.} \end{aligned}$$

Ова значи дека ниту еден учесник во договорот нема да биде поттикнат да ја напушти коалицијата  $S$  (внатрешна стабилност), и ниту еден член нема да биде поттикнат да се приклучи кон  $S$  (надворешна стабилност). Јасно, коалицијата  $S$  ќе има смисла ако го вклучува членот со најмало ниво на обезбедување во автархија, кое погоре го означивме со  $q_1^A$ . (Да се присетиме дека овој играч може да стави вето на било кое ниво на обезбедување над  $q_1^A$ ). Ова го нарекуваме *ефективна коалиција*. Нивото на обезбедување на една ваква ефективна коалиција  $q^*(S)$  ќе биде или нејзиното ниво  $q_S^A$ , или најмалото ниво меѓу „аутсајдерите“  $q_k^A$  што, во секој случај, имплицира дека еквилибриумското ниво е над нивото на првиот играч т.е.  $q_1^A < q^*(S)$ . Оттука, добивката на првиот играч во коалицијата  $S$  е подобра од онаа која би се добила ако тој не учествува, кога неговото ниво ќе го определи еквилибриумот,  $q^* = q_1^A$ . Бидејќи коалиција која не е профитабилна за сите играчи не е внатрешно стабилна, ниту една коалиција нема да биде стабилна во отсуство на трансфери на личната добивка.

Теоретската анализа во [2] сугерира дека соработката помеѓу симетричните (идентични) земји е ирелевантна за играта со најслаба алка. Во контекст SARS-COV-2, ова би значело дека регионалната соработка, како на пример соработката во рамките на ЕУ, не е особено важна, иако одредени експериментални испитувања сугерираат дека дури и меѓу симетричните играчи, кооперативноста на институциите може значително да влијае на исходот. Некои од заклучоците во врска со важни прашања поврзани со коалициониот модел, се следни.

1. Постои ефективна стабилна коалиција, иако на општо ниво не е можно точно да се предвиди која коалиција ќе биде стабилна. Интуитивно, секоја коалиција со два играчи, вклучително и земјата со најмало ниво на обезбедување на автархија, е внатрешно стабилна. Вишокот е секогаш строго позитивен и отстапувањето ќе доведе до почетна ситуација во која и на двете земји им е полошо. Таквата коалиција може и да не е надворешно стабилна. Меѓутоа, ако не е, тогаш некоја поголема коалиција на крајот ќе биде и внатрешно и надворешно стабилна. Оттука,

заклучокот е дека соработката во борбата против глобални пандемски опасности е генерално изводлива.

2. Кога распределбата на автархиските нивоа на обезбедување во коалицијата  $S$  е позитивно искосена, таа ја фаворизира стабилноста. Ова значи дека распределбите со многу играчи чие ниво на автархија е близу до просекот во  $S$ , при што еден или двајца играчи се со вредност далеку над овој просек, се погодни за стабилноста. Играчите кои се далеку над просекот им „плаќаат“ нето трансфери на останатите за да останат во групата. Така, силните асиметрии не се пречка, туку предност за стабилноста. Во однос на глобалната анти-пандемска борба, се чини дека ова ја фаворизира соработката во класичен геополитички контекст север – југ каде постои голема асиметрија помеѓу двете групи, со многу поголем број земји на југот.

3. Големата коалиција која ги вклучува сите играчи, исто така може да биде стабилна и тоа може да биде постигнато од само еден надворешен фактор. Интуицијата за ова е слична како и претходно: вишокот е позитивен и во ваква исклучително искосена распределба, ако еден играч го напушти договорот тогаш сите играчи се враќаат во ситуација без никаков договор. Оттука, имплицитната казна ќе биде доволно силна. Со оглед на тоа што поради утврдената шема на трансфери сите играчи добиваат „фер“ дел од вишокот, ниту една земја нема поттик да ја напушти големата коалиција. Повторно, екстремната асиметрија е погодна за стабилноста. Значи, дури и глобален меѓудржавен договор би можел да биде потенцијално стабилен.

4. Во однос на поврзаноста на стабилноста со добивките од соработката, општо земено, оние распределби кои ја фаворизираат стабилноста подразбираат ниски кооперативни добивки, и обратно. Во нашиот контекст, и покрај тоа што добивките од соработката на глобално ниво не изгледаат огромни, добивките на ниво на одделни земји во развој може сè уште да бидат големи и да спасат многу животи. Особено, во контекст на играта со најслаба алка, теоретските резултати не им даваат предност на помалите во однос на поголемите договори, попрво обратното може да биде точно. Оттука, наместо да се бараат изговори за развивање само на локална или регионална соработка, работењето на глобална соработка може да се покаже како полесно и поефикасно.

5. Дали квалитативниот заклучок ќе опстане и ако играчите не успеат совршено да се координираат на Парето-оптималниот Нешов еквилибриум во ваква игра со договори? Повторно, одговорот во [2] е потврден, договорите можат да направат разлика, иако дозволувањето на одредена несовершенство во координацијата може да доведе до споредбено намалена социјална добросостојба. Значи, дури и во помалку од совршен свет, квалитативниот заклучок дека соработката може да доведе до подобар исход, продолжува да важи.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] S. Barrett, *Coordination vs Voluntarism And Enforcement in Sustaining International Environmental Cooperation*, Proc Natl Acad Sci 113(51) (2016), 14515–14522.
- [2] A. Caparros, M. Finus, *The Corona-Pandemic: A Game-Theoretic Perspective on Regional and Global Governance*, Environmental and Resource Economics 76 (2020), 913–927.
- [3] S.L. Chang, M. Piraveenan, P. Pattison, M. Prokopenko, *Game theoretic modelling of infectious disease dynamics and intervention methods: a review*, Journal of Biological Dynamics, 14:1 (2020), 57–89.
- [4] F. K. Diekert, *The Tragedy of the Commons from a Game-Theoretic Perspective*, Sustainability, MDPI, Open Access 4(8)(2012), 1–11.
- [5] J. Hirshleifer, *From Weakest-Link to Best-Shot: The Voluntary Provision of Public Goods*, Public Choice, 41(3) (1983), 371–386.
- [6] R. McKelvey, T.R. Palfrey, *Quantal response equilibria for extensive form games*, Experimental Economics 1 (1998), 9–41.
- [7] A. Riedl, I.M.T. Rohde, M. Strobel, *Efficient coordination in weakest-link games*, The Review of Economic Studies 83(2) (2016), 737–767
- [8] Н. Серафимова, *Затвореничка дилема: контекст, предизвици, варијации*, Научно-популарни трудови од Вториот семинар „Математика и примени“, Математички омнибус 3 (2018), 85–102.

- [9] J.B. Van Huyck, R.C. Battalio, R.O. Beil, *Tacit coordination games, strategic uncertainty, and coordination failure*, *American Economic Review* 80(1) (1990), 234–248.

<sup>1</sup> Воена Академија „Генерал Михаило Апостолски“,  
Васко Карангелески бб, 1000 Скопје, Р. Северна Македонија  
*e-mail*: nevena.serafimova@gmail.com

Примен: 22.5.2021

Поправен: 26.9.2021

Одобен: 28.9.2021

Објавен на интернет: 29.9.2021