

ТЕХНОЛОГИИ КОЛЛЕКТИВНОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Б.Б. Славин

Представлен обзор литературы по технологиям коллективного интеллекта. Показано, что они существенно отличаются от краудсорсинговых технологий и могут быть рассмотрены как сорсинг эпохи знаний. Предложено описание атрибутов коллективного интеллекта, которые могут применяться для проектирования экспертных сетей и систем управления знаниями на предприятиях. Кратко описаны методы моделирования и измерения коллективного интеллекта. Показана необходимость развития теории и практики технологий коллективного интеллекта.

Ключевые слова: коллективный интеллект, краудсорсинг, коэффициент интеллектуальности, экспертные сети, социальные сети.

ВВЕДЕНИЕ

Понятие коллективного интеллекта в научной литературе стало использоваться с конца XIX в. и связано с исследованиями французских социологов того времени. В работе «О разделении общественного труда» [1] в 1893 г. Э. Дюркгейм писал о двух видах солидарности человека и общества, связанных в первом случае с общими идеями и законами поведения, а во втором — с разделением труда. К пониманию коллективного интеллекта как новой формы организации общества можно отнести и понятие ноосферы В.И. Вернадского [2]. Знаменитый фантаст Г. Уэллс в своих публицистических лекциях, изданных под названием «Всемирный мозг», в конце 1930-х гг. также говорил о важности коллективной интеллектуальной деятельности: «Думаю, что мы пока еще уделяем недостаточно внимания более тесного объединения организаций, занимающихся интеллектуальной деятельностью. Идеи объединения человечества зависят, в конечном счете, от возможности реализации единой умственной работы» [3].

Уэллс фактически предвосхитил проект Википедии, который стал возможен благодаря сетевым возможностям глобальных коммуникаций. Глобальная сеть Интернет перевела вопросы коллективного интеллекта в утилитарное русло. Ф. Хейлиген пишет: «Гораздо важнее поддерживать самоорганизацию в сети информационных потоков и таким образом содействовать повышению коллективного разума, чтобы его интеллектуальные

возможности, как это положено, были больше, чем сумма сознаний пользователей Интернета» [4, с. 92]. Подчас, говоря о понятиях коллективного интеллекта или коллективного разума, многие исследователи подразумевают исключительно существующие глобальные сетевые проекты (см., например, обзорную статью [5]).

Известный футуролог, соучредитель и директор проекта «The Millenium Project», Дж. Гленн, заявивший в 2009 г., что коллективный интеллект станет следующей эпохой для информационных технологий, считает, что системы коллективного интеллекта (CIS) должны состоять из трех элементов: экспертов, программного и аппаратного обеспечения и из данных, информации и знания. В своей работе [6] он пишет: «Можно считать проект Wikipedia, Google, краудсорсинг, сервисы усредненных экспертных оценок, модели интеллектуального роя, а также инструменты predict markets примерами систем коллективного интеллекта, но они не являются примерами CIS по определению, предложенному в этой статье. Они производят информацию и в некоторых случаях групповые решения, но они не включают в полной мере и на систематической основе обратную связь всех трех элементов, не могут обеспечить непрерывного появления новых идей. Они не воспроизводят постоянно интеллект, только на короткое время, тогда как CIS, как и интеллект человека, постоянно возникает и меняется в процессе деятельности, приобретения опыта и влияния окружающей среды».

1. ГЛОБАЛЬНЫЕ СЕТИ И КОЛЛЕКТИВНЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ

Безусловно, интерес к технологиям коллективного интеллекта существенно вырос с появлением коллективных веб-сервисов и таких проектов как Википедия, социальные сети. Успех Википедии заключается не только в возможности привлечения большого числа энтузиастов, но и в четкой модерации контента. Исследования, проведенные американскими учеными из Университета Карнеги — Меллон [7], показали, что эффективность создания сложного контента в Википедии возрастает с повышением компетенций редакторов, осуществляющих модерацию записей, что можно использовать для организации и других глобальных сетевых сообществ.

Японские исследователи К. Зетцу и Я. Кийоки сформулировали концепцию развития систем управления знаниями на основе применения технологий коллективного интеллекта в Интернете [8]. Они предложили рассматривать всемирную сеть как инструмент объединения интеллектуальных способностей людей через сетевые базы знаний и социальные сообщества. Информационные технологии (ИТ) и сетевые социальные сообщества можно считать своего рода инфраструктурой коллективного интеллекта. В работе японско-китайской группы ученых [9] особо отмечается «важность информационно-коммуникационных технологий в формировании коллективного интеллекта» ([9], с. 217), и авторы вводят даже понятие «сети знаний», состоящей из трех компонент: медиасети, сети пользователей и сети знаний, а также понятие «knowage», знания, находящегося в вычислительных ресурсах (hardware и software).

Учитывая особую роль ИТ-коммуникаций, технологии коллективного интеллекта можно определить как сетевые информационные системы, позволяющие людям эффективно и без ограничений на расстояние организовывать совместную интеллектуальную деятельность. Надо отметить, что технологии коллективного интеллекта являются одним из важных инструментов управления неявными знаниями, которые еще требуют исследований и внедрений в практику. В 2006 г. при Массачусетском технологическом институте был создан Центр исследований коллективного интеллекта (MIT Center for Collective Intelligence — CCI), в задачу которого входит исследование технологий коллективного разума и возможностей использования их на практике в различных областях бизнеса и общества. По мнению организаторов Центра «коллективный интеллект» может быть использован и как инструмент повышения организационной эффективности и производительности фирм, и как технология работы в команде,

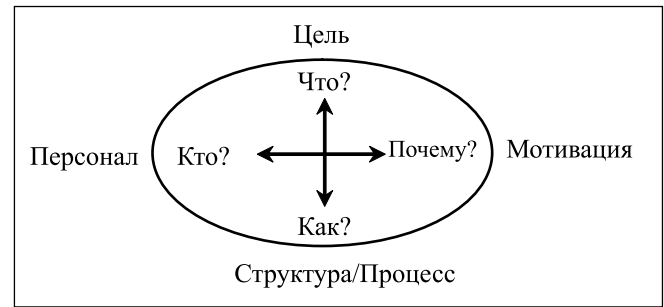


Рис. 1. Элементы строительных блоков или «генов» коллективного интеллекта [10]

и как методология в менеджменте. Исследование коллективного разума предполагает изучение вопросов создания глобальных вычислительных знаний ресурсов для организации сверхчеловеческого интеллекта, изучение возможностей человеческого мозга и новых способов организации коллективной деятельности, изучение возможностей комбинирования искусственного интеллекта и интеллекта человека.

На основе исследования большого числа практических примеров использования технологий коллективного интеллекта в 2009 г. Т. Малоун (директор MIT CCI) с коллегами попытались выявить «геном коллективного разума» [10, 11]. В своей работе «Укрощение толпы: выявление генома коллективного интеллекта» они дали достаточно широкое определение коллективного интеллекта как организации интеллектуальной деятельности групп людей [10, с. 2] и предложили классифицировать элементы, из которых складывается геном по четырем категориям: Кто выполняет задачу? Почему он это делают? Что свершается? Как делается? (рис. 1).

Два «гена» отвечают на вопрос «Кто?»: «Иерархия» и «Сообщество» (crowd). Ген «Иерархия» подразумевает наличие организационной структуры в принятии решений при коллективной работе. Например, несмотря на демократичный принцип разработки свободного программного обеспечения, решения о включении новых модулей в релиз Линукса принимаются Л. Торвальдсом и его помощниками («лейтенантами»). Ген «Сообщество», напротив, предполагает свободное участие людей в реализации проекта, использующего коллективные технологии, свободный «вход» и «выход». «Гены», отвечающие на вопрос «Почему?», — это: «Деньги», «Любовь» и «Слава», обозначающие основные мотивы людей, участвовать в работе сетевых сообществ. На вопрос «Что?» отвечают «гены» «Создаем» и «Решаем», и на вопрос «Как?»: «гены» с названием «Индивидуально» и «Коллективно».

Анализ «генома» проекта создания Линукса [10]

Пример	Что?	Кто?	Почему?	Как?	
Линукс	Создаем	Новые программные модули	Сообщество	Деньги, Любовь, Слава	Коллегиально
	Решаем	Какой из модулей включать в релиз?	Л. Торвальдс и «лейтенанты»	Любовь, Слава	Индивидуально (по иерархии)

В табл. 1 представлен пример «генома» проекта создания Линукса, собранного из перечисленных выше «генов». По аналогии с проектом Линукса авторы [10] строят «геномы» других сетевых проектов (Википедия, InnoCentive, Threadless и др.), анализируя их особенности, разнообразные схемы принятия решений (консенсус, метод средней точки и др.) и типы коллегиальной работы (собрание, конкурс, сотрудничество и т. п.). Однако, несмотря на оригинальный прием анализа глобальных сетевых проектов, основанный на аналогии с геномом человека, предложенной классификацией «генов» трудно воспользоваться в качестве инструмента повышения эффективности или организации новых проектов, использующих технологии коллективного интеллекта. Немецкий ученый Дж. Леймистер, комментируя работу Малоуна и коллег, также пишет о необходимости изучения практического инструментария и разработки приложений технологий коллективного интеллекта с применением подходов инженерии бизнеса и информационных систем (BISE — Business and Information Systems Engineering) [12, с. 247], и такие работы уже появляются (см., например, [13]).

2. КРАУДСОРСИНГ ИЛИ ТЕХНОЛОГИИ КОЛЛЕКТИВНОГО ИНТЕЛЛЕКТА

В научной литературе можно встретить точку зрения, согласно которой краудсорсинг (и его разновидности в виде технологий открытых инноваций и управления идеями) и технологии коллективного интеллекта мало различаются [14, 15]. Так, немецкие ученые в своей статье, посвященной коллективному интеллекту, заявляют, что «мы будем использовать термины «коллективный разум» и «краудсорсинг» взаимозаменяемо и в смысле «использования большой группы людей для решения конкретной проблемы или сбора полезных идей» [14, с. 681]. Однако краудсорсинг является технологией информационного общества, инструментом самообслуживания людей, и было бы неправильно его приравнивать к системам управления знаниями и коллективным интеллектом.

Т. Грубер так писал о краудсорсинговых проектах: «я бы назвал нынешнее состояние социальной сети как собрание интеллекта. Я думаю, что преждевременно применять термин «коллективный интеллект» к таким системам, потому что они не формируют новых уровней мышления» [16, с. 4]. Говоря о технологиях коллективного интеллекта, необходимо в первую очередь рассматривать возможности увеличения интеллектуальных способностей групповой работы и только затем возможности информационной поддержки благодаря массовости пользователей. В этой связи более адекватным представляется определение систем, использующих технологии коллективного интеллекта как «систем, которые объединяют в группы необходимое число людей, имеющих собственные индивидуальные цели, но организованных таким образом, что общий интеллект и эффективность группы возрастает» [17, с. 219].

Особое значение в использовании технологий коллективного интеллекта имеет их соотношение с технологиями бизнес-анализа (business intelligence) и искусственного интеллекта. Как и в случае с краудсорсингом, некоторые исследователи также не делают различия между этими «интеллектуальными» технологиями. Так, автор книги «Коллективный интеллект в действии» [18] С. Алаг пишет о коллективном интеллекте как о технологии повышения интеллектуальных возможностей человека, включая сюда и коллективные технологии, и технологии интеллектуального анализа данных (Data Mining), и машинное обучение, и т. д., все, что имеет в названии слово интеллект. Впрочем, часто, особенно в публицистических выступлениях, встречается и противоположная точка зрения, что технологии искусственного интеллекта не дополняют, а заменяют интеллектуальные способности человека, создавая предпосылки для создания фантастического мира машин. Недостатки обеих точек зрения заключаются в различной трактовке слова «интеллект» (intelligence). Если же под интеллектом иметь в виду не инструментарий, а мышление, причем в его социальном значении, тогда технологии искусственного интеллекта следует понимать как технологии, помогающие че-

при построении генома коллективного интеллекта: «Кто?», «Что?», «Как?» и «Почему?» использует данную технологию (табл. 2). В случае краудсорсинга основным участником становятся обычные люди или клиенты, а предметом использования — информация, которой люди либо делятся с другими, либо получают в результате данного сервиса. В технологии коллективного интеллекта участниками являются профессионалы, эксперты, которые либо создают новое знание, либо используют его в своей деятельности. Уже из этих отличительных особенностей видно, что проект Википедии является краудсорсинговым проектом, а не коллективным интеллектом. И наоборот, проект разработки Линукса является проектом коллективного интеллекта, а не краудсорсинговым проектом.

Основным инструментом работы в краудсорсинговых проектах является единый сетевой информационный ресурс и индивидуальная работа с ним через «личный кабинет». В случае использования технологии коллективного интеллекта сетевой ресурс служит лишь вспомогательной коммуникационной площадкой для организации коллективной работы, который легко может быть заменен обычной электронной почтой. Наиболее четко различие между технологиями проявляется в мотивации пользователей. В табл. 2 указаны лишь основные мотивации, которые, конечно же, дополняются другими. В случае инсорсинга основной мотивацией является зарплата сотрудников (хотя и дополнительные мотивации тоже имеются). При аутсорсинге основная мотивация состоит в прибыли аутсорсинговой компании, что делает эту технологию более эффективной в условиях тиражируемости услуги, чем инсорсинг. В случае краудсорсинга мотивацией пользователей служит либо их потребность в доступе к информации (например, в случае банковского электронного самообслуживания), либо социальный успех. Безусловно, и владение информацией, и социальный успех



Рис. 4. Атрибуты коллективного интеллекта

могут быть и будут монетизированы пользователем, но уже опосредованно, через работу с информацией. Основная же мотивация участника проектов коллективного интеллекта заключается в потребности в коллективной знаниевой деятельности, а оплата, признание и прочие виды мотивации (см. более подробно в работе [20]) вторичны.

Различия между моделями сорсинга позволяют выявить основные атрибуты коллективного интеллекта, представленные на рис. 4. Коллективный интеллект можно представить в виде системы коллективного интеллекта (левая часть рисунка) и пользователей этой системы. Система коллективного интеллекта должна включать в себя, как и краудсорсинговые платформы, сетевой инструмент коммуникаций (для организации коллектив-

Таблица 2

Геном сорсинга

	Инсорсинг	Аутсорсинг	Краудсорсинг, самообслуживание	Коллективный интеллект
Кто? Персонал	Сотрудники предприятия	Сотрудники фирм-партнеров	Клиенты, население	Эксперты
Что? Цель	Выполняют часть работы	Оказывают услуги	Получают или дают информацию	Создают и используют знание
Как? Процесс	В рамках бизнес-процесса	В рамках рыночных договоренностей	Интернет-самообслуживание	Коллективная работа
Почему? Мотивация	Зарплата	Прибыль	Необходимость в информации, слава	Удовлетворение в творчестве комплексных механизмов



ной работы пользователей); иметь общие для всех задачи и цели (не все краудсорсинговые проекты имеют общие цели); определять индивидуальные компетенции (это отличает коллективный интеллект от краудсорсинговых проектов); поддерживать появление или внедрение знания. Последний атрибут систем коллективного интеллекта также отличает их от краудсорсинга. В частности, технология модерации проекта Википедии не только не поддерживает появление нового знания, а наоборот — все, что не подтверждается более старыми и авторитетными источниками, запрещает к публикации. Википедия служит инструментом хранения и передачи знаний, но не их производства или использования.

Существенные различия в атрибутике имеются и со стороны пользователей систем коллективного интеллекта. В отличие от краудсорсинговых проектов, где возможно даже анонимное участие, в системах коллективного интеллекта участие персонифицировано. Более того, пользователь систем коллективного интеллекта должен брать на себя определенные обязательства (так в экспертных сетях пользователь подписывает соглашение, препятствующее распространению инсайдерской информации [21]) в отличие от «свободного входа» и «свободного выхода» в краудсорсинговых проектах [22]. Но при этом пользователи систем коллективного интеллекта не являются ни наемными работниками, ни бизнесменами, как в случае инсорсинга или аутсорсинга. Пользователи систем коллективного интеллекта — это избранные люди, профессионалы в своем деле, прошедшие определенный отбор для участия в отличие от демократичных процедур в краудсорсинговых проектах. Еще одно отличие пользователей систем коллективного интеллекта — это их деятельность, заключающаяся исключительно в творческой и интеллектуальной работе.

4. МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ИЗМЕРЕНИЯ КОЛЛЕКТИВНОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Несмотря на то, что понятие коллективного интеллекта используется очень широко, работ по построению математических моделей и измерению коллективного интеллекта очень немного. В качестве одних из первых работ в области расчета коллективного коэффициента интеллектуальности (Collective Intelligence Quotient — CIQ) стоит упомянуть работы польского ученого Т. Цзубы (см. например, [23]), который использовал квази-хаотическую компьютерную модель, применяемую в биологии и социологии. Подобно тому, как броуновская частица движется благодаря хаотическим столкновениям с ней молекул, так и задачи, которые не могут быть решены одним челове-

ком, будут решаться группой людей даже в условиях их случайных коллабораций: «Мы говорим, что коллективный интеллект возникает в результате взаимодействия и сосуществования, если есть хотя бы одна проблема, которая может быть решена индивидом только при поддержке группы, либо совместно» [23, с. 492]. Статистическое моделирование решения групповых задач позволяет показывать возможности коллективного интеллекта, однако коэффициент интеллекта, рассчитанный таким образом, никак не связан с традиционным расчетом IQ (Intelligence Quotient) для индивида. Цзуба сам заявляет: «Парадоксально, но оценка коллективного интеллекта социальных структур получается проще оценки IQ одного существа» [23, с. 490]. Однако применяемый Цзубой подход интересен лишь с иллюстративной точки зрения, поскольку никак не опирается на моделирование интеллекта индивида. Фактически, предложенная модель описывает любой групповой процесс, связанный или не связанный с интеллектом.

Математическое описание коллективных процессов, которые могут использоваться для моделирования интеллектуальной деятельности, можно найти в книге Д. Вулперта «Теория коллективного интеллекта» [24]. Автор вводит функции полезности для членов коллектива и всего коллектива в целом и ищет условия, при которых частный интерес не противоречит, а наоборот способствует реализации интереса коллективного. По аналогии с методами теории игр, Вулперт вводит функции, переменные которых вполне абстрактны, и могут описывать как связи, параметры, так и самих участников коллективной деятельности. Аналогичные методы, названные им COIN (COllective INtelligence), Вулперт с коллегами применял и ранее для описания различных схем коллективного взаимодействия (см., например, работу [25]).

Голландский ученый М. Шют предпринял попытку [26] описать общий подход к моделированию коллективного интеллекта (CI). Он предложил учитывать в моделях следующие свойства CI: мультиагентность, свойства пчелиного роя, сложность, адаптивность и самоорганизуемость, и использовать имитационное моделирование, позволяющее проводить численные эксперименты подобно тому, как это делается в эволюционных (Evolutionary Methods) и коэволюционных (Co-evolution) алгоритмах оптимизации популяций [27]; в обучающих (Learning Classifier Systems) алгоритмах [28]; в нейроэволюционных (Neuro-Evolution) алгоритмах, использующих технологии нейронных сетей [29]; в алгоритмах COIN, описанных выше; в алгоритмах, описывающих движение роя (Particle Swarm Optimisation) — см., например, работу [30], и др.

Интересное исследование, не связанное, правда, с построением какой-либо модели, в области измерения коллективного IQ пользователей краудсорсинговой платформы было проведено группой ученых из Кембриджа [31]. Исследователи поставили перед собой задачу определения IQ сообществ пользователей сетевой коллаборационной платформы «Amazon's Mechanical Turk», которые решали задачи за вознаграждение. Для решения были приготовлены тестовые наборы, близкие по форме к стандартным тестам IQ, что позволило сравнить изменение коллективного IQ как при работе одного, так и при работе нескольких участников. В данной работе, благодаря возможностям краудсорсинговой платформы, исследовалась зависимость эффективности решения тестов не только от числа участников, но и от схемы вознаграждения за решение задач и от репутации участников.

Было показано, что коллективный IQ (называемый в статье, правда, Crowd IQ) растет с ростом числа участников, при этом отбор пользователей, имеющих более высокую репутацию, повышает число решений тестовых наборов в единицу времени. Интересно, что зависимость от мотивации оказалась немонокотонной, она практически не менялась при низкой и высокой оплате за работу. Однако использование коммерческой краудсорсинговой платформы с реальными пользователями для проведения тестов, несмотря на удобство и дополнительные возможности, имело и недостаток, поскольку не позволяла авторам более детально изучить зависимость коллективного IQ от состава участников. Несмотря на это, полученные результаты, безусловно, интересны для понимания возможностей коллективного интеллекта, пусть даже и неорганизованного сообщества.

Важные результаты в области моделирования и изучения технологий коллективного интеллекта получены в работе [32]. Для описания математической модели расчета коллективного IQ авторы вводят понятие актора, участника тестов, который в системах коллективного интеллекта выступает как в роли решателя задач, так и в роли оценщика чужих решений. Развиваемый метод эволюционного согласования подразумевает такую организацию работ акторов, которая приводит к существенному увеличению эффективности работы группы благодаря определению более компетентных участников и перераспределению роли в групповой работе. По сути дела, эволюционное согласование, применяемое в качестве методики решения тестов, позволяет в процессе тестирования интеллектуальной деятельности выявлять компетенции членов группы, чтобы более эффективно использовать индивидуальный интеллект для решения групповых задач.

Измерять коллективный IQ можно аналогично измерению индивидуального IQ (см. например, работу [33]), только с учетом того, что тесты будут решаться группой. Важное условие групповой работы решения тестов заключается в возможности комбинировать (распределять) задачи между участниками.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучение коллективного интеллекта, как уже говорилось, началось с исследования психологии групп и толпы. Но именно психологическая составляющая коллективного интеллекта пока еще меньше всего исследована. Чаще всего изучение психологии групп касается изучения роли лидеров, различных вариантов консенсуса в решении тех или иных задач [34, 35], исследований же коллектива как целого очень мало. В этой связи интересна работа А. Вулли с коллегами (при участии Т. Малоуна) по исследованию корреляции эффективности групповой работы и интеллектуальных способностей испытуемых [36, 37]. Было показано, что эффективность групповой работы возрастает с увеличением компетентности членов группы, но при этом наличие ярких лидеров отнюдь не увеличивает, а даже снижает производительность групповой работы по сравнению с группой более-менее равных по компетенциям испытуемых. Авторы предложили рассматривать коллективный интеллект состоящим из двух составляющих: «снизу — вверх», которая как раз описывает влияние членов группы на эффективность, и «сверху — вниз», описывающая влияние коллектива в целом на работу его членов. Именно вторая составляющая, включающая в себя атмосферу сетевой коллективной работы и возможности сетевого брейнсторминга [38], до сих пор наименее изучена.

Развитие социальных сетей, которые стали уже неотъемлемой частью не только повседневной жизни современного человека, но и экономики, потребовало серьезных исследований и моделирования сетевых взаимосвязей с использованием метрик отношений между пользователями сетей. Такими метриками могут быть, например, уровни доверия или влияния (см. например, книгу [39]). Вместе с тем, наряду с социальными сетями получают распространение экспертные сети и сообщества (см., например, статью [21]), доверие и влияние в которых в основном связано с компетенциями их членов. В случае сетевых экспертных сообществ необходимо уметь моделировать групповое взаимодействие экспертов, учитывающее их компетентностные возможности и максимизирующее совокупные показатели интеллекта.



ЛИТЕРАТУРА

1. Дюркгейм Э. О разделении общественного труда. — М.: Канон, 1996. — 430 с.
2. Вернадский В.И. Биосфера и ноосфера. — М.: Айрис-пресс, 2004. — 576 с.
3. Wells H.G. World Brain. South Australia: University of Adelaide, 1938. — URL: https://ebooks.adelaide.edu.au/w/wells/hg/world_brain/ (дата обращения: 30.08.2016).
4. Хейлиген Ф. Концепция глобального мозга / В кн.: Рождение коллективного разума: О новых законах сетевого социума и сетевой экономики и об их влиянии на поведение человека. — М.: Ленанд, 2014. — С. 288.
5. Weiss A. The Power of Collective Intelligence // *Collective Intelligence*. — September 2005. — P. 17–23.
6. Glenn J. Collective intelligence systems and an application by The Millennium Project for the Egyptian Academy of Scientific Research and Technology // *Technological Forecasting and Social Change*. — 2015. — Vol. 97, August. — P. 7–14.
7. Kittur A., Lee B., Kraut R.E. Coordination in Collective Intelligence: The Role of Team Structure and Task Interdependence / *Studying Wikipedia*. Boston, 2009. — Vol. CHI 2009, April 4–9. — P. 1490–1504.
8. Zeissu K., Kiyoki Y. Towards Knowledge Management Based on Harnessing Collective Intelligence on the Web / *EKAUW* 2006. Berlin, 2006. — Vol. LNAI 4248. — P. 350–357.
9. Luo S., Xia H., Yoshida T., Wang Z. Toward collective intelligence of online communities: a primitive conceptual model // *J Syst Sci Syst.* — 2009. — Vol. 18, N 2. — P. 203–221.
10. Malone T.W., Laubacher R., Dellarocas C. Harnessing Crowds: Mapping the Genome of Collective Intelligence, MIT Center for Collective Intelligence Massachusetts Institute of Technology. — Cambridge, MA, Working Paper No. 2009-001, 2009.
11. Male S.A., Bush M.B., Chapman E.S. Perceptions of competency deficiencies in engineering graduates // *Australasian Journal of Engineering Education*. — 2010. — Vol. 16, N 1. — P. 55–68.
12. Leimeister J.M. Collective Intelligence // *Business & Information Systems Engineering*. — 2010. — N 4. — P. 245–248.
13. Gregg D.G. Designing for collective intelligence // *Communications of ACM*. — 2010. — Vol. 53, N 4. — P. 134–138.
14. Buecheler T., Sieg J., Fuchslin R., Pfeifer R. Alife XXII Conference // *Crowdsourcing, Open Innovation and Collective Intelligence in the Scientific Method: A Research Agenda and Operational Framework*. — Odense, Denmark, 2010. — P. 679–686.
15. Bothos E., Apostolou D., Mentzas G. Collective intelligence for idea management with Internet-based information aggregation markets // *Internet Research*. — 2009. — Vol. 19, N 1. — P. 26–41.
16. Gruber T. Collective knowledge systems: Where the Social Web meets the Semantic Web // *Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web*. — 2008. — Vol. 6. — P. 4–13.
17. Lykourantzou I., Vergados D., Kapetanios E., Loumos V. Collective Intelligence Systems: Classification // *Journal of emerging technologies in web intelligence*. — 2011. — Vol. 3, N 3. — P. 217–226.
18. Alag S. *Collective Intelligence in Action*. — Manning Publications, 2009. — 424 p.
19. Славин Б.Б. Взаимосвязь этапов развития информационных технологий и экономики // *Информационное общество*. — 2015. — № 6. — С. 4–13.
20. Максимова Е.В. Мотивация экспертов к работе в профессиональной сети // В кн.: Рождение коллективного разума. — М.: ЛЕНАНД, 2013. — С. 230–244.
21. Славин Б. Современные экспертные сети // *Открытые системы*. — 2014. — № 7. — С. 30–33.
22. Geerts S. *Discovering Crowdsourcing. Theory, Classification and Directions for use*. — Eindhoven: TUE. Department Industrial Engineering and Innovation Sciences, 2009. — 117 p.
23. Szuba T. A formal definition of the phenomenon of collective intelligence and its IQ measure // *Future Generation Computer Systems*. — 2001. — N 17. — P. 489–500.
24. Wolpert D.H. *Theory of Collective Intelligence*. — Moffett Field, CA: NASA Ames Research Center, 2003. — 64 p.
25. Turner K., Wolpert D. *Collective Intelligence and Braess' Paradox*. — Moffett Field, CA: AAAI-00 Proceedings, 2000. — 6 p.
26. Schut M.C. On model design for simulation of collective intelligence // *Information Sciences*. — 2010. — N 180. — P. 132–155.
27. Eiben A., Schut M., Toma T. Comparing communication protocols in evolving agent societies: cell phones versus shouting // *Evolvability and Interaction: Evolutionary Substrates of Communication Signalling and Perception in the Dynamics of Social Complexity*. — 2003. — Vol. TR-393. — P. 22–28.
28. Butz M. *Rule-Based Evolutionary Online Learning Systems*. — Springer, 2006. — 277 p.
29. Stanley K., Bryant B., Miikkulainen R. Real-time neuro-evolution in the nro video game // *IEEE Transactions Evolutionary Computation*. — 2005. — Vol. 9, N 6. — P. 653–668.
30. Engelbrecht A. *Fundamentals of Computational Swarm Intelligence*. — Wiley, 2005. — 672 p.
31. Kosinski M., Bachrach Y., Kasneci G., Van-Gael J., Graepel T. Crowd IQ: measuring the intelligence of crowdsourcing platforms // *Association for Computing Machinery*. — 2012. — June 22. — P. 151–160.
32. Протасов В., Потанова З., Осунчук О. Сертификация экспертов и определение относительной цены задачи в зависимости от ее сложности // Тр. XX Байкальской всерос. конф. «Информационные и математические технологии в науке и управлении». — Иркутск, 2015. — Т. 2. — С. 164–175.
33. Flynn J.R. Searching for justice: The Discovery of IQ Gains Over Time // *American Psychologist*. — 1999. — Vol. 54, N 1. — P. 5–20.
34. Dyer J., Ioannou C., Morrell L., et al. Consensus decision making in human crowds // *Animal Behaviour*. 2008. — Vol. 75. — P. 461–470.
35. Dyer J., Johansson A., Helbing D., et al. Leadership, consensus decision making and collective behaviour in humans // *Phil. Trans. R. Soc. B*. — 2009. — Vol. 364. — P. 781–789.
36. Woolley A., Chabris C., Pentland A., et al. Evidence for a Collective Intelligence Factor in the Performance of Human Groups // *Science*. — October 2010. — N 330. — P. 686–688.
37. Woolley A., Aggarwa I., Malone T. Collective Intelligence and Group Performance // *Current Directions in Psychological Science*. — 2015. — Vol. 24, N 6. — P. 420–424.
38. Raikov A.N. Holistic Discourse in the Network Cognitive Modeling // *Journal of Mathematics and System Science*. — 2013. — N 3. — P. 519–530.
39. Губанов Д.А., Новиков Д.А., Чхартишвили А.Г. Социальные сети: модели информационного влияния, управления и противоборства. — М.: Изд-во физ.-мат. лит., 2010. — 228 с.

Статья представлена к публикации членом редколлегии А.А. Дорофеевым.

Славин Борис Борисович — канд. физ.-мат. наук, науч. руководитель факультета прикладной математики и информационных технологий, Финансовый университет при Правительстве РФ, г. Москва, bbslavin@gmail.com.