

УДК 658.52:519.95

Е.С. ЯШИНА, Л.Н. ЛУТАЙ

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина

ФОРМИРОВАНИЕ КАЛЕНДАРНОГО ПЛАНА РАБОТ ПРОЕКТА С УЧЕТОМ ОГРАНИЧЕННОГО РЕСУРСНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Рассматривается задача формирования календарного плана работ проекта с учетом ограниченного ресурсного обеспечения, которая разделяется на две основные подзадачи: формирование расписания основных работ проекта и формирование расписания ремонтно-восстановительных работ с учетом ограниченных ресурсов. Для решения поставленной задачи были использованы: метод случайного поиска, эвристическое правило, основанное на принципе STP – упорядочения. На основании перечисленных подходов были построены алгоритмы, позволяющие решить поставленную задачу и получить эффективные результаты.

Ключевые слова: планирование, ремонтно-восстановительная работа, ресурс, объект, расписание, эвристическое правило, метод случайного поиска, длительность, загруженность.

Введение

Задачи упорядочения носят самый общий характер. Например, задачи упорядочения ремонтно-восстановительных работ, работ по техническому обслуживанию оборудования на производственном предприятии.

В настоящее время не только в производственной сфере, но и в непромышленной сфере существует большое количество различного, сложного оборудования, требующего ремонтов, периодического технического обслуживания. Качественное планирование и оперативность выполнения ремонтно-восстановительных работ обеспечивает высокую эффективность технических средств по их целевому, прямому назначению.

Не менее актуальными являются задачи формирования планов расписаний проектных работ. Эффективные, с точки зрения длительности, расписания проектных работ позволяют существенно сократить финансовые, материальные и трудовые ресурсы проекта. Рассмотрение в комплексе основных работ проекта и ремонтно-восстановительных работ позволяет эффективно моделировать календарные планы проекта [1, 2].

В настоящее время имеется большое количество методов и моделей планирования, однако, ввиду многообразия производственных и непромышленных процессов, а также появления новых форм производственной и организационной деятельности, для многих задач планирования не предложены эффективные и удобные для автоматизации методы. А те подходы, которые всё-таки существуют [3, 4], требуют для своей реализации большого количества

входных параметров и предварительных громоздких расчетов. В частности, в недостаточной мере проработаны задачи формирования расписаний ремонтно-восстановительных работ. Специфика ремонтно-восстановительных работ состоит в том, что отсутствует однозначная последовательность обслуживания технических объектов. Это препятствует применению методов, основанных на анализе сетевых графиков или технологических маршрутов. Вместе с тем своевременное и оперативное проведение ремонтно-восстановительных работ способствует снижению потерь рабочего времени. Во время проведения ремонтно-восстановительных работ оборудование исключается из производственного процесса, что, в свою очередь, влияет на длительность выполнения основных проектных работ.

Большинство методов и моделей планирования производственных процессов нельзя применить для планирования ремонтно-восстановительных работ из-за отсутствия однозначной последовательности обслуживания тех или иных технических объектов.

Составление календарного плана, необходимого для решения поставленной задачи, относится к процедуре под названием календарное планирование при ограниченных ресурсах.

Таким образом, задачи разработки методов, моделей и компьютеризированных инструментальных средств планирования ремонтно-восстановительных работ являются актуальными.

Формулирование проблемы. В процессе изучения задач составления расписаний работ, с учетом распределения ограниченных ресурсов была выявлена одна из актуальных и сложно реализуемых постановок задач, а именно комплексное моделирова-

ние календарных планов проекта. Задача моделирования календарных планов проекта включает в себя две основные подзадачи.

Подзадача формирования расписаний ремонтно-восстановительных работ заключается в составлении расписания работ, с учетом распределения ограниченных ресурсов, необходимых для работ, которые выполняются над объектами, с минимальными затратами во времени. По сути, существует множество объектов, которые могут быть представлены станками, рабочими местами и различными видами оборудования. Над множеством объектов выполняется список работ. Причем, над каждым объектом может выполняться одна или несколько работ в зависимости от требований задачи. Работы над объектами могут выполняться в любом порядке. Данная задача предполагает разработку календарного плана при условии, что работы не могут выполняться одновременно, если они используют один и тот же ресурс или набор ресурсов.

В общей постановке ставится задача формирования плана проведения комплекса работ, по критерию минимума времени на реализацию всего комплекса работ, при этом делаются допущения, что единицы планирования являются равнозначными [5, 6].

Постановкой подзадачи формирования расписаний проектных работ является составление расписания работ с учетом распределения ограниченных ресурсов, необходимых для работ, которые выполняются над объектами, по критерию минимума длительности выполнения всего комплекса работ. Для совершения каждой работы необходимы определенное количество и определенные виды ресурсов. Работы являются логически связанными между собой. Данная подзадача предполагает разработку календарного плана при условии, что работы не могут выполняться одновременно, если они используют один и тот же ресурс или набор ресурсов.

Для решения поставленной задачи в данном случае использовался табличный метод расчета временных параметров сетевой модели [7].

Поэтому целью нашей работы является координация основных проектных работ с ремонтно-восстановительными для повышения эффективности использования технических ресурсов.

Использование существующих стандартных пакетов являются не целесообразным в рамках особенностей поставленной задачи, так как они не позволяют производить эффективную координацию проектных работ с ремонтно-восстановительными работами [8].

Планирование ремонтно-восстановительных работ и расход различных ресурсов можно регулировать в зависимости от имеющихся резервов вре-

мени для выполнения проектных работ. Но очень часто недостаток ресурсов и проведение незапланированных ремонтно-восстановительных работ могут привести к увеличению длительности проекта.

1. Решение проблемы

Для решения задачи моделирования календарных планов проекта были рассмотрены наиболее целесообразные в рамках поставленной задачи методы решения представленных подзадач.

1.1. Выбор методов решения задачи формирования расписаний ремонтно-восстановительных работ

Огромное множество процедур календарного планирования с ограниченными ресурсами можно разбить на две большие группы на основе используемых методов и их эффективности. К первой группе относятся эвристические, или приближенные процедуры, предназначенные для составления календарных планов, выполнимые с точки зрения наличия ресурсов. Напротив, ко второй группе относятся процедуры, предназначенные для составления наилучших (оптимальных) планов и основанные на использовании линейного программирования, методов перебора и других математических методов. Эти математические методы оптимизации могут применяться для решения значительно менее сложных задач, чем эвристические.

Задача формирования расписаний ремонтно-восстановительных работ является достаточно сложной и трудоемкой, особенно при большом количестве ресурсов, работ и объектов. Для решения задачи формирования расписаний ремонтно-восстановительных работ часто используют метод полного перебора всех возможных вариантов. В рамках данной работы рассматриваемая задача была решена и при помощи эвристических процедур, и с применением одного из методов перебора.

1.1.1. Построение математической модели и разработка алгоритма планирования ремонтно-восстановительных работ с применением эвристической процедуры

Эвристическая процедура представлена эвристическим правилом. Суть этого правила заключается в том, что выполнение работ производится в порядке возрастания их длительностей. Данное эвристическое правило STP-упорядочения (упорядочение по минимуму длительностей работ) описано в работе Р.В. Конвея [9]. Формирование очередности на основании принципа STP-упорядочения производится таким образом:

$$T_1 \leq T_2 \leq \dots \leq T_n, \quad (1)$$

где

$$T_i = \frac{T_i}{M} \quad (2)$$

(для одинаковых машин)

T_i – длительность работы, M – количество машин или

$$T_i = \frac{1}{\sum_{j=1}^M \left(\frac{1}{T_{ij}}\right)} \quad (3)$$

(для не эквивалентных машин).

Данное правило было модифицировано с учетом того, что в каждой работе задействовано несколько видов ресурсов.

Принцип STP-упорядочения применяется для формирования упорядоченного списка работ. Для этого суммируются все длительности выполнения работы над всеми объектами, относящимися к каждой работе.

$$T_i = \sum_{j=1}^J T_{O_{ij}}. \quad (4)$$

Среди полученных сумм находим минимальную сумму.

$$\min T_O = \min \{T_{O_i}\}. \quad (5)$$

Таким образом, работа с минимальной длительностью назначается первой в упорядоченном списке работ.

Далее рассматривается список оставшихся неупорядоченных работ и среди них снова выбирается работа с минимальной длительностью. Этот процесс упорядочения работ производится до тех пор, пока в исходном неупорядоченном списке не останется ни одной работы. Установление порядка выполнения работы зависит от того, пересекается ли множество задействованных ресурсов для выполнения данной работы с множеством ресурсов, необходимых для уже упорядоченных работ. Если такое пересечение множеств ресурсов существует, то мы устанавливаем рассматриваемую работу за работой из упорядоченного списка с максимальной длительностью. Номер работы в упорядоченном списке зависит от сроков начала и окончания каждой конкретной работы.

Разработанный алгоритм метода упорядочения работ представлен на рис. 1.

Использованы следующие обозначения:

$P = \{P_1, P_2, \dots, P_n\}$ – множество работ в исходном наборе данных;

$R = \{R_1, R_2, \dots\}$ – множество ресурсов, необходимых для выполнения работ;

$O = \{O_1, O_2, \dots\}$ – множество объектов, над которыми работы выполняются;

V – количество итераций;

P' – упорядоченное множество работ;

P_i – текущая работа;

$R(P_k)$ – ресурсы, необходимые для выполнения k -й работы;

T_i – длительность i -й работы; t_{1i}, t_{2i} – время начала и окончания упорядоченной работы;

m – индекс работы, с максимальной длительностью выполнения над объектами, для которой множество необходимых ресурсов пересекается с множеством необходимых ресурсов для текущей рассматриваемой работы;

G, L – длительность и номер оптимального расписания;

$Q(P)_z$ – длительность расписания на z -й итерации.

1.1.2. Построение математической модели и разработка алгоритма планирования ремонтно-восстановительных работ с применением метода случайного поиска

Поставленная подзадача была решена с использованием метода случайного поиска. Характерной чертой этого метода является то, что в процесс поиска вводятся элементы случайности. Метод случайного поиска состоит из двух основных этапов.

1. Выбирается работа из исходного списка работ P_i , независимо от того, какие ресурсы необходимы для ее выполнения.

2. Выбранная работа помещается в упорядоченный список, который до этого момента был пуст, и назначается первой.

3. Из исходного списка оставшихся неупорядоченных работ выбирается работа P_j и упорядочивается.

Установление порядка выполнения работы зависит от того, пересекается ли множество задействованных ресурсов для выполнения данной работы с множеством ресурсов, необходимых для уже упорядоченных работ $R(P_j) \cap \{R(P'_k)\dots\}$. Если такое пересечение множеств ресурсов выполняется, то мы устанавливаем рассматриваемую работу за работой из упорядоченного списка с минимальной длительностью. Если же такого пересечения множеств ресурсов не происходит, то рассматриваемую работу можно назначать первой. Таким образом, процесс упорядочения работ происходит до тех пор, пока все работы в исходном списке работ не будут рассмотрены и упорядочены $P=0$. Номер работы в упорядоченном списке зависит от сроков начала и окончания каждой конкретной работы.

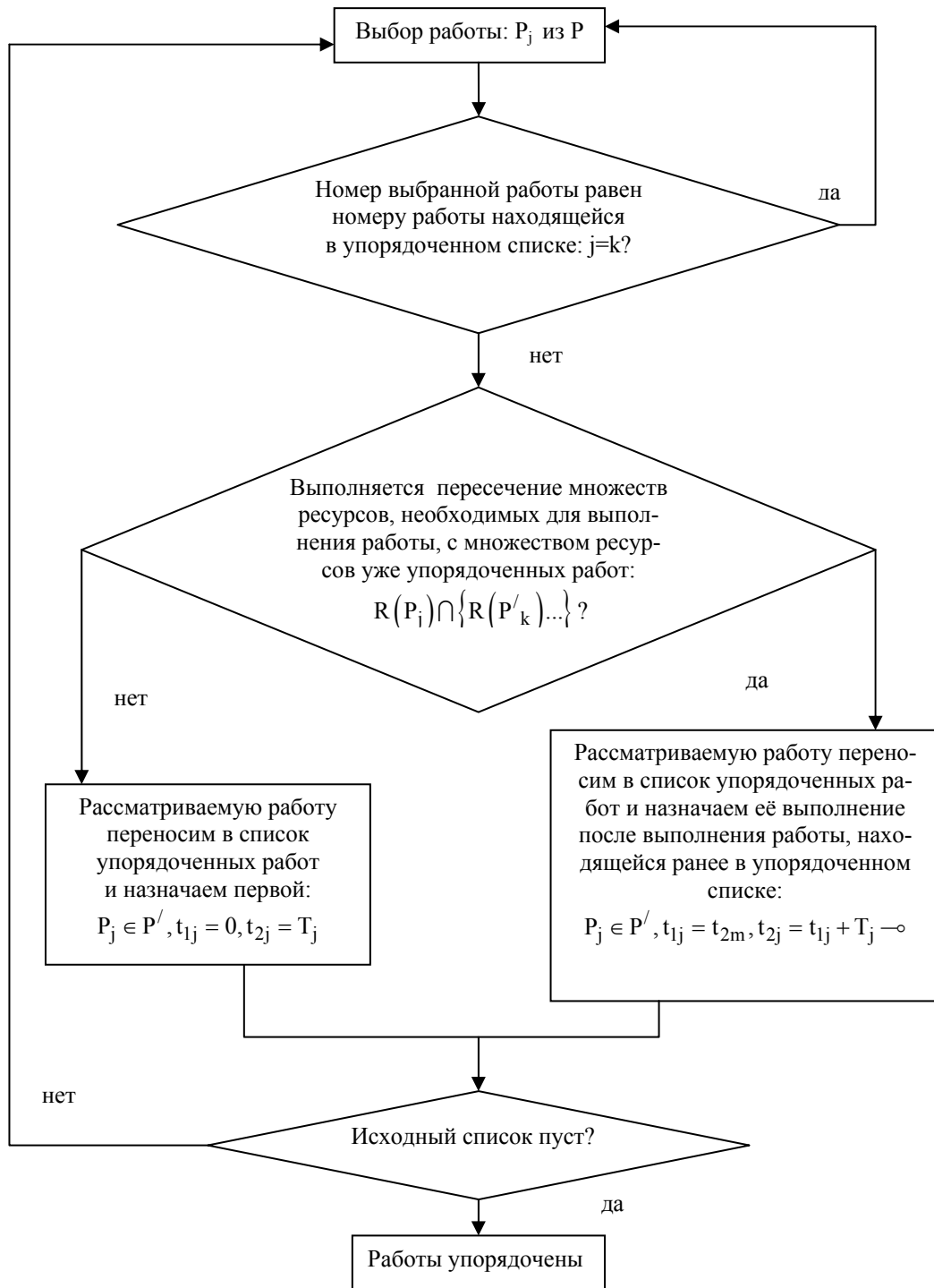


Рис. 1. Схема решения задачи упорядочения

В результате получаем согласованный по ресурсам график выполнения работ.

На данный момент был рассмотрен первый этап метода случайного поиска, и можно сделать вывод, что расписание, полученное случайным выбором работ и упорядочиванием их, не обязательно может быть оптимальным. Но метод случайного поиска не уступает методам с применением эвристических процедур.

4. На втором этапе реализации метода случай-

ного поиска создается множество расписаний, полученных случайным выбором работ.

5. Первое полученное расписание вначале считается эталонным $Q(P')_1$.

6. Эталонное расписание сравнивается с другими расписаниями $Q(P')_z$ и находится расписание с оптимальной длительностью. На этом действие алгоритма завершается.

Все описанные выше алгоритмы и модели были реализованы программно. Была произведена се-

рия расчетов на примере задачи составления расписания ремонтно-восстановительных работ, исходные данные для которой взяты из конкурсной документации тендера на проведение ремонтно-восстановительных работ на электроподстанции. Было осуществлено 50 расчетных экспериментов с различными значениями длительностей работ и раз-

личными требованиями к обеспечению ресурсами. На рис. 2 показана гистограмма с результатами экспериментов. Белые столбцы показывают частоту попадания, длительности полученного расписания по методу случайного поиска, в определенный диапазон. Серые столбцы отображают результаты, полученные на основании эвристического правила.

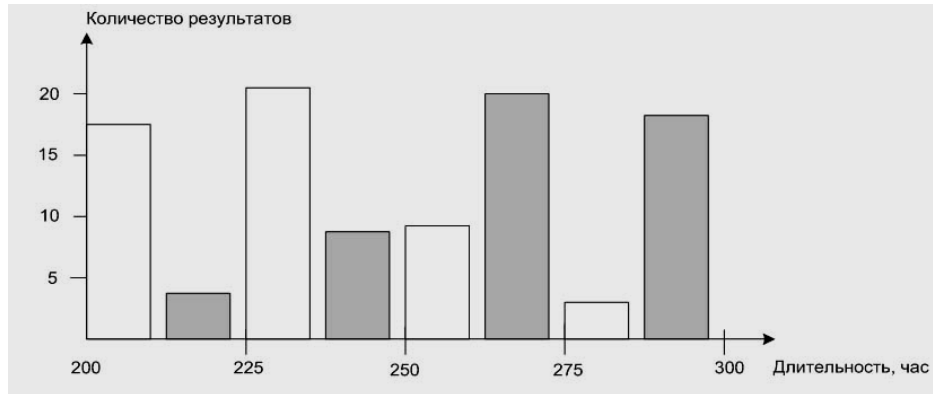


Рис. 2. Обработка результатов экспериментов

На основании проделанной работы можно сделать вывод, что расписание, полученное при помощи метода случайного поиска, является более эффективным с точки зрения длительности в 38 случаях, чем расписание, полученное на основании использования модификации эвристической процедуры.

Подсистема формирования календарного плана проекта позволяет получить эффективный план проектных работ и временные параметры с учетом распределения ограниченных ресурсов.

Заключение

Для решения поставленной задачи с её основными функциональными подзадачами были получены математическая модель и алгоритмы для составления расписаний ремонтно-восстановительных работ, на основании использования метода случайного поиска и модификации эвристической процедуры, а также алгоритм составления расписания проектных работ.

Координация проектных работ с ремонтно-восстановительными работами осуществляется путем перераспределения ограниченных ресурсов.

Для выполнения проектных работ и ремонтно-восстановительных работ используются, в большинстве случаев, одни и те же виды ресурсов, которые, в свою очередь, являются ограниченными. Расходы ресурсов влияют на сроки осуществления проекта и дают основу для более рационального перепланирования проекта, с учетом ресурсных ограничений.

Для координации проектных работ с ремонтно-восстановительными работами используются мето-

ды регулирования потребления ресурсов, они обеспечивают распределение ресурсов во времени. Основная идея управления ресурсами состоит в маневрировании ресурсами и сдвиге сроков работ в пределах имеющихся резервов для обеспечения лучшего распределения потребляемых ресурсов.

Имеющийся резерв времени для каждой проектной работы определяется путем использования табличного метода расчета временных параметров.

Литература

1. Обжерин Ю.Е. Календарное техническое обслуживание систем с произвольной структурой / Ю.Е. Обжерин, А.И. Песчанский // *Кибернетика и системный анализ*. – 2007. – №2. – С. 69-86.
2. Орехов Э.Ю. Вероятностные алгоритмы составления расписания для одностадийной системы с независимыми параллельными машинами / Э.Ю. Орехов // *Информационные технологии*. – 2007. – №4. – С. 39-44.
3. Крылов П.В. Разработка методов усовершенствования поточно-производства капитального ремонта магистральных газопроводов: автореф. дисс. на соиск. учен. степени канд. техн. наук: 25.00.19 [Электронный ресурс] / Крылов Павел Валерьевич; ВНИИГАЗ. – М., 2007. – 22 с. – Режим доступа: http://www.vniigaz.ru/ru/education/diss_sovet/511.001.02/Krylov_PV.doc.
4. Погодаев А.К. Оптимизация календарного плана ремонтно-восстановительных работ жилых зданий [Электронный ресурс] / А.К. Погодаев, М.В. Маракушин // *Информационные технологии в современном мире*. – 2007. – С. 52-58. – Режим дос-

туна: http://www.volsu.ru/s_conf/tez_htm/019.htm.

5. Федоренко Л.Н. Методы управления распределением ресурсов / Л.Н. Федоренко // Интегрированные компьютерные технологии в машиностроении ИКТМ-2006: тез. докл. Междунар. научно-тех. конф. 2006 г. – X., 2006. – С. 15-16.

6. Федоренко Л.Н. Методы управления ремонтно-восстановительных работ в условиях ограниченных ресурсов / Л.Н. Федоренко // В кн.: Тезисы докл. / MIS CS – 2007: тез. докл. Междунар. научно-тех. конф. 2007 г. – X., 2007. – С. 11-12.

7. Ахьюджа Х. Сетевые методы управления в проектировании и производстве / Х. Ахьюджа: Пер. с англ. – М.: МИР - М, 1979. – 638 с.

8. Лутай Л.Н. Разработка подсистемы формирования расписания ремонтно-восстановительных работ / Л.Н. Лутай // Интегрированные компьютерные технологии в машиностроении ИКТМ-2007: тез. докл. Междунар. научно-тех. конф. 2007 г. – X., «ХАИ», 2007. – С. 230-231.

9. Конвей Р.В. Теория расписаний / Р.В. Конвей, В.Л. Максвелл, Л.В. Миллер. – М.: НАУКА, 1975. – 357 с.

Поступила в редакцию 12.11.2008

Рецензент: д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой систем автоматизированного проектирования Е.А. Дружинин, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

ФОРМУВАННЯ КАЛЕНДАРНОГО ПЛАНУ РОБІТ ПРОЕКТУ З УРАХУВАННЯМ ОБМЕЖЕНОГО РЕСУРСНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

О.С. Яшина, Л.М. Лутай

Розглядається задача формування календарного плану робіт проекту з урахуванням обмеженого ресурсного забезпечення, котра розподіляється на дві основні підзадачі: формування розкладу основних робіт проекту і формування розкладу ремонтно-відновлювальних робіт з урахуванням обмежених ресурсів. Для вирішення поставленої задачі були використані: метод раптового пошуку, евристичне правило, що базується на принципі STP-упорядкування. На основі указаних методів були побудовані алгоритми, що дозволяють вирішити поставлену задачу і отримати ефективні результати.

Ключові слова: планування, ремонтно-відновлювальна робота, ресурс, об'єкт, розклад, евристичне правило, метод раптового пошуку, тривалість.

FORMATION OF THE PLANNED SCHEDULE OF WORKS OF THE PROJECT TAKING INTO ACCOUNT THE LIMITED RESOURCE MAINTENANCE

E.C. Yashina, L.M. Lutaj

The problem of formation of the planned schedule of works of the project taking into account the limited resource maintenance which is divided on two basic subtasks is considered: formation of the schedule of the basic works of the project and formation of the schedule of repair-regenerative works taking into account the limited resources. For the task in view decision have been used: a method of casual search, the heuristic rule based on principle STP - streamlinings. On the basis of the listed methods the algorithms have been constructed, allowing to solve a task in view and to receive effective results.

Key words: planning, repair-regenerative work, a resource, object, the schedule, heuristic rules, a method of casual search, duration, congestion.

Яшина Елена Сергеевна – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры информационных управляющих систем, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.

Лутай Людмила Николаевна – аспирант кафедры информационных управляющих систем, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: Lutau_L_N@ukr.net.